

СПРАВОЧНИК ПО СВАРКЕ

С ПО ПРАВОЧНИК СВАРКЕ

Под редакцией
инж. Е. В. СОКОЛОВА

ТОМ
2



ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
Москва 1962

Справочник содержит основные сведения по всем видам сварки и резки, представляющие общий интерес для различных отраслей народного хозяйства.

Во втором томе приводятся данные о материалах для сварки и резки, освещаются основы технологии автоматической и полуавтоматической сварки под флюсом, электрошлаковой сварки, ручной дуговой, контактной, газовой, газопрессовой и термитной сварки. В справочнике сообщаются также сведения по сварке в среде защитных газов, газовой и электрической резке, описываются новые способы сварки (ультразвуком, электронным лучем и др.), даются необходимые сведения о контроле качества сварных соединений.

Справочник предназначен для инженеров и техников, работающих в области сварочного производства на заводах, в проектных и исследовательских организациях. Он может быть полезен также для преподавателей и студентов вузов.

АВТОРЫ ТОМА:

Баранов М. И., инж.; Бринберг И. Л., канд. техн. наук; Васильев К. В., канд. техн. наук; Васильева В. А., канд. техн. наук; Владимирский Т. А., проф., д-р техн. наук; Гельман А. С., проф., д-р, техн. наук; Грабов И. Н., инж., д-р техн. наук; Гревцов Н. В., инж.; Гузов С. Г., инж.; Дьяченко В. В., канд. техн. наук; Евсеев Г. Б., канд. техн. наук; Ерохин А. А., канд. техн. наук; Клебанов Г. Н., канд. техн. наук; Кочергин Д. А., инж.; Кулагин И. Д., канд. техн. наук; Любавский К. В., проф., д-р техн. наук; Мельбард С. Н., инж.; Мешкова О. В., канд. техн. наук; Назаров С. Т., канд. техн. наук; Николаев А. В., инж.; Новожилов Н. М., канд. техн. наук; Петров А. В., канд. техн. наук; Поляков Д. А., инж.; Пугин А. И., канд. техн. наук; Рахманов А. Д., инж.; Рымкевич А. И., инж.; Силин Л. Л., канд. техн. наук; Спектор О. Ш., инж.; Стрижевский И. И., канд. хим. наук; Тархов Н. А., инж.; Тимофеев М. М., канд. техн. наук; Хренов К. К., чл.-корр. АН СССР, акад. АН УССР проф., д-р техн. наук; Цегельский В. Л., инж.; Яровинский Л. М., канд. техн. наук.

НАУЧНЫЕ РЕДАКТОРЫ:

ГЕЛЬМАН А. С., проф., д-р техн. наук (гл. XIII); ЕРОХИН А. А., канд. техн. наук (гл. IV); КОНДРАТОВИЧ В. М., инж. (гл. V и VI); ЛЕМАРИНЬЕ К. Н., инж. (гл. X и XI); САНЧУК Я. Э., канд. техн. наук (гл. XIV), СКАКУН Г. Ф., канд. техн. наук (гл. VII); СОКОЛОВ Е. В., инж. (гл. I, II, IX и XII); ШОРШОРОВ М. Х., канд. техн. наук (гл. III и VIII).

Редактор издательства инж. **К. Н. Иванова**

Редакция справочной литературы
Зав. редакцией инж. **Г. А. МОЛЮКОВ**

ОГЛАВЛЕНИЕ

Раздел I. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СВАРКИ И РЕЗКИ

Глава I. Металлические электроды для ручной электродуговой сварки и наплавки	Стр.
Общие сведения об электродах (канд. техн. наук <i>Ерохин А. А.</i>)	1
Классификация электродов	1
ГОСТы на электроды	1
Основные факторы, определяющие свойства электродов	1
Характеристики электродов	1
Расчет расхода электродов, электродных материалов и электроэнергии	16
Литература	21
Характеристика основных марок электродов (канд. техн. наук <i>Яковинский Л. М.</i>)	25
Общие сведения	25
Электроды для сварки конструкционных сталей	26
Электроды для сварки легированных сталей с особыми свойствами	38
Электроды для наплавки	56
Литература	61
Производство электродов (инж. <i>Рахманов А. Д.</i> , и инж. <i>Тархов Н. А.</i>)	62
Материалы для изготовления электродов	62
Технологический процесс изготовления электродов	70
Санитарно-гигиенические условия труда	124
Литература	124
Глава II. Электродная проволока и флюсы для автоматической и полуавтоматической электродуговой сварки сталей под флюсом (проф., д-р техн. наук <i>Любавский Н. В.</i>, канд. техн. наук <i>Тимофеев М. М.</i>)	125
Марки электродной проволоки	125
Классификация и назначение флюсов	125
Плавенные флюсы	129
Керамические флюсы	134
Сырье для изготовления флюсов	135
Производство флюсов	135
Производство плавенных флюсов	135
Производство керамических флюсов	140
Литература	140
Глава III. Материалы для газопламенной сварки и резки (инж. <i>Гузов С. Г.</i>, инж. <i>Спектор О. Ш.</i>, канд. хим. наук <i>Сталковский И. И.</i>)	141
Свойства газообразного и жидкого кислорода	141
Свойства горючих	142
Использование горючих-заменителей ацетилена	144
Основные расчетные характеристики газов-заменителей ацетилена	144
Коэффициент замены ацетиена	146
Рабочее соотношение кислорода и горючего в смеси	146
Относительная скорость распространения пламени	146
Жидкие горючие	147
Ацетилен	149
Получение ацетилена из карбида кальция	150
Другие способы получения ацетилена	150
Химическая очистка ацетилена	151
Присадочные материалы для газовой сварки	151
Флюсы для газовой сварки	154
Флюсы для кислородно-флюсовой резки	158
Состав флюсов и области их применения	159
Литература	162

Раздел II. ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ И РЕЗКИ

Глава IV. Ручная дуговая сварка (инж. <i>Цесельский В. Л.</i>)	Стр.
Сварка металлическим (плавящимся) электродом	163
Зажигание и поддержание дуги	163
Техника манипулирования электродом	163
Основные типы и конструктивные элементы швов сварных соединений	164
Особенности выполнения различных типов сварных швов	167
Особенности выполнения швов в разных пространственных положениях	177
Влияние магнитных полей на сварочную дугу	179
Режимы ручной дуговой сварки	181
Способы уменьшения деформаций и напряжений при сварке	182
Способы повышения производительности	183
Ванная сварка	186
Сварка лекачим электродом	187
Сварка угольным электродом (без защиты)	188
Литература	191
Глава V. Автоматическая и полуавтоматическая дуговая сварка под флюсом (канд. техн. наук <i>Бринберг И. Л.</i>, инж. <i>Грабов И. Н.</i>, проф., д-р техн. наук <i>Любавский К. В.</i>)	192
Общие сведения	192
Параметры режима и их влияние на форму шва	194
Сварочный ток и диаметр электродной проволоки	195
Напряжение дуги	197
Скорость сварки	198
Марка применяемого флюса, его состояние и грануляция	198
Наклон электрода и изделия	199
«Вылет» электрода из мундштука	201
Род тока и полярность	201
Конструктивная форма соединения и величина зазоров	201
Влияние внешних возмущений на размеры сварного шва	201
Техника сварки под флюсом	206
Виды сварных соединений и швов	206
Режимы и особенности выполнения отдельных видов сварных соединений	208
Некоторые разновидности сварки под флюсом	227
Планговая полуавтоматическая сварка	227
Сварка электродозаклепки	229
Сварка точками	232
Сварка вертикальных швов	233
Сварка угловых швов кольцевых соединений наклонным электродом	236
Двухдуговая сварка и сварка последовательными дугами	237
Сварка под флюсом с применением железного порошка	238
Наплавка	238
Автоматическая сварка кольцевых швов	239
Сварка с намагничивающимся флюсом	241
Дефекты в швах, выполненных под флюсом	241
Механические свойства сварных швов при автоматической сварке под флюсом	248
Малоуглеродистые стали	248
Низколегированные стали	251
Литература	253
Глава VI. Электрошлаковая сварка (канд. техн. наук <i>Бринберг И. Л.</i>, инж. <i>Мельбард С. Н.</i>, инж. <i>Рыжкович А. И.</i>)	255
Общие сведения	255
Преимущества и область применения электрошлаковой сварки	255
Основы процесса	255
Техника сварки	259
Деформации и внутренние напряжения при электрошлаковой сварке	260
Выбор режима	260
Флюсы	263
Структура швов, выполненных электрошлаковой сваркой	267
Механические свойства сварных соединений	268
Особенности процесса электрошлаковой сварки с точки зрения техники безопасности	270
Литература	270
Глава VII. Контактная электросварка (д-р техн. наук проф. <i>Гельман А. С.</i>)	272
Классификация и область применения	272
Стыковая сварка	274
Сварка сопропиклением	274
Сварка оплавлением	275

	Стр.
Точечная сварка	285
Параметры точечной сварки	288
Особенности сварки импульсом постоянного тока и запасенной энергией	294
Техника точечной сварки	295
Рельефная и Т-образная сварка	298
Роликовая (шовная) сварка	299
Рекомендуемые параметры режима роликовой сварки	300
Техника роликовой сварки	301
Роликово-стыковая сварка	303
Литература	304
Глава VIII. Газопламенная сварка и резка	305
Газовая сварка (канд. техн. наук <i>Евсеев Г. Б.</i>)	305
Сварочное пламя и его взаимодействие с металлом	305
Типы сварных соединений при газовой сварке	308
Техника сварки	308
Литература	311
Газопрессовая сварка (д-р техн. наук проф. <i>Владимирский Т. А.</i>)	311
Общие сведения	311
Механизм соединения	313
Основные параметры	314
Механические характеристики и структура сварных соединений	316
Техника сварки	318
Контроль качества сварки	319
Технико-экономические показатели сварки	320
Литература	320
Кислородная резка (инж. <i>Гузов С. Г.</i> и инж. <i>Спектор О. Ш.</i>)	320
Общие сведения	320
Влияние основных легирующих элементов стали на ее способность подвергаться резке	322
Структурные изменения при кислородной резке конструкционных и инструментальных сталей	323
Предварительный и сопутствующий подогрев	325
Классификация конструкционных и инструментальных сталей по их способности подвергаться кислородной резке	326
Классификация высокохромистых сталей по их способности подвергаться кислородной резке	326
Основы технологии разделительной кислородной резки стали толщиной до 200 мм	328
Классификация видов разделительной кислородной резки	333
Подготовка металла к резке	338
Начало резки	339
Деформации металла при резке и их устранение	339
Многорезаковая резка	340
Пакетная резка	340
Скоростная кислородная резка	341
Резка стали большой толщины кислородом низкого давления	343
Технологические особенности резки стали больших толщин	343
Кислородная резка горячей стали	347
Кислородная резка слитков из кипящей стали	351
Кислородно-флюсовая резка	352
Поверхностная кислородная резка	357
Литература	362
Глава IX. Термитная сварка (канд. техн. наук <i>Тимофеев М. М.</i>)	363
Термит и термитная сталь	363
Оборудование для термитной сварки	366
Сварка способом промежуточного литья	367
Сварка впритык	369
Сварка комбинированным способом	370
Сварка чугуна	370
Литература	371
Глава X. Дуговая сварка в среде защитных газов	372
Общие сведения (канд. техн. наук <i>Петров А. В.</i>)	372
Оборудование для дуговой сварки в среде защитных газов (инж. <i>Баранов М. И.</i>)	375
Источники тока и схемы питания дуги при сварке неплавящимся электродом	375
Источники тока и схемы питания дуги при сварке плавящимся электродом	377
Горелки для ручной сварки неплавящимся электродом	385
Полуавтоматы для сварки плавящимся электродом	390
Полуавтоматы для сварки неплавящимся (вольфрамовым) электродом	394
Автоматы для дуговой сварки в среде защитных газов	396
Специализированные установки для автоматической сварки	408
Литература	418

	Стр.
(Технология дуговой сварки в среде инертных газов (канд. техн. наук <i>Петров А. В.</i>)	418
Материалы для сварки в среде инертных газов	418
Сварка неплавящимся электродом	429
Сварка плавящимся электродом	436
Автоматическая сварка неповоротных стыков труб в среде инертных газов	447
Сварка стали в различных пространственных положениях	449
Литература	453
Сварка в углекислом газе (канд. техн. наук <i>Новосилов Н. М.</i>)	453
Общие сведения	453
Материалы	454
Параметры режима сварки	456
Техника и режимы сварки	458
Свойства швов	466
Разновидности сварки в углекислом газе	466
Возможные дефекты швов и их причины	472
Техника безопасности	472
Литература	473
Атомно-водородная сварка (инж. <i>Кочергин Д. А.</i>)	473
Общие сведения	475
Оборудование для атомно-водородной сварки	482
Газы, применяемые при атомно-водородной сварке	483
Электроды	483
Присадочная проволока	483
Виды сварных соединений	484
Техника и режимы атомно-водородной сварки	485
Литература	485
Особенности сварки различных материалов в среде инертных газов	486
Сварка малоуглеродистой и низколегированной конструкционной стали (канд. техн. наук <i>Петров А. В.</i>)	486
Сварка нержавеющей и жаропрочных сплавов (канд. техн. наук <i>Петров А. В.</i>)	489
Сварка алюминиевых сплавов (канд. техн. наук <i>Мешкова О. В.</i>)	522
Литература	522
Сварка магниевых сплавов (канд. техн. наук <i>Мешкова О. В.</i>)	522
Сварка циркония, тантала, ниобия и молибдена (канд. техн. наук <i>Дьяченко В. В.</i>)	530
Литература	541
Сварка титана и его сплавов (инж. <i>Поляков Д. А.</i>)	542
Литература	553
Глава XI. Электрическая резка металлов (канд. техн. наук <i>Васильев К. В.</i>)	554
Дуговая электрическая резка	554
Воздушно-дуговая резка	557
Резка проникающей дугой	561
Кислородно-дуговая резка	566
Литература	569
Глава XII. Сварка и резка металлов под водой (чл.-корр. АН СССР акад. АН УССР, проф., д-р техн. наук <i>Хренов К. К.</i>)	570
Сварка под водой	570
Резка под водой	573
Электрическая дуговая резка	573
Газокислородная резка	575
Электрокислородная резка	577
Организация работ при подводной сварке и резке	579
Литература	580
Глава XIII. Новые виды сварки	581
Холодная сварка давлением (канд. техн. наук <i>Силин Л. Л.</i>)	581
Общие сведения	581
Технология холодной сварки	582
Прочность соединений	584
Оборудование	586
Литература	587
Сварка трением (канд. техн. наук <i>Васильева В. А.</i> и канд. техн. наук <i>Пушин А. И.</i>)	588
Общие сведения	588
Параметры процесса	589
Технология сварки трением	590
Оборудование	591
Преимущества сварки трением	594
Применение сварки трением	595
Литература	595
Вибродуговая наплавка (канд. техн. наук <i>Васильева В. А.</i> и канд. техн. наук <i>Пушин А. И.</i>)	596

Сущность процесса	597
Технология вибродуговой наплавки	599
Литература	602
Сварка токами высокой частоты (канд. техн. наук Пугин А. И.)	602
Сварка продольных швов груб	603
Армирование твердыми сплавами шарошек буровых долот	605
Преимущества сварки токами высокой частоты	606
Литература	606
Сварка ультразвуком (канд. техн. наук Силин Л. Л.)	606
Общие сведения	606
Преимущества сварки ультразвуком	608
Области применения	608
Параметры режима сварки ультразвуком. Прочность соединений	608
Оборудование для сварки ультразвуком	611
Литература	613
Сварка атомным лучом в вакууме (канд. техн. наук Клебанов Г. Н.)	613
Литература	614
Диффузионная сварка в вакууме (инж. Гревцов Н. В.)	615
Литература	616
Обработка материалов дуговой плазменной струей (канд. техн. наук Кулагин И. Д. и инж. Николаев А. В.)	616
Литература	616
Глава XIV. Контроль качества сварных соединений (канд. техн. наук Назаров С. Т.)	628
Контроль сварных соединений внешним осмотром	631
Внешний осмотр заготовок и сборки под сварку	632
Внешний осмотр в процессе сварки	632
Внешний осмотр и замеры готового сварного соединения	633
Испытание швов на непроницаемость	633
Испытание керосином	633
Испытание газом	633
Определение неплотностей вакууммированием	634
Гидравлические испытания	634
Люминесцентный метод	634
Контроль методом красок	635
Контроль сварных соединений рентгеновскими и гамма-лучами	635
Рентгеновские и гамма-аппараты	636
Техника контроля рентгеновскими и гамма-лучами	639
Ультразвуковая дефектоскопия сварных швов	647
Получение ультразвуковых волн	647
Методика ультразвукового контроля сварных швов	648
Ультразвуковой контроль качества контактной точечной и шовной сварки	651
Магнитные методы контроля сварных соединений	653
Способы намагничивания	653
Контроль методом магнитного порошка	653
Индукционный метод	654
Испытание механических свойств металла шва и сварного соединения	655
Металлографические исследования сварных соединений	661
Макроанализ	661
Микроанализ	662
Контроль швов засверловкой	663
Химический анализ и коррозионные испытания сварных швов	663
Литература	665

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СВАРКИ И РЕЗКИ

ГЛАВА I

МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ЭЛЕКТРОДЫ ДЛЯ РУЧНОЙ
ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКИ И НАПЛАВКИ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРОДАХ

Классификация электродов

Электроды могут быть классифицированы по следующим основным признакам

1. По назначению: для сварки стали, чугуна, алюминия, для наплавочных работ и т. п. Каждая из этих групп может в свою очередь подразделяться на подгруппы.
2. По технологическим особенностям: для нижней и потолочной сварки для сварки с глубоким проплавлением и т. п.
3. По типу покрытия: целлюлозные, рутиловые и др.
4. По способу нанесения покрытия: окунаемым или опрессовкой.

ГОСТы на электроды

ГОСТ 9467-60 содержит требования к электродам для сварки углеродистых и легированных конструкционных сталей (табл. 1) и для сварки легированных теплоустойчивых сталей (табл. 2). Внутри этих групп электроды подразделяются на типы по механическим свойствам металла шва и наплавленного металла, а электроды для сварки теплоустойчивых сталей, кроме того, — по химическому составу наплавленного металла.

Размеры общие технические требования, правила приемки и методы испытания электродов регламентируются ГОСТом 9466-60, который устанавливает также содержание паспорта на электроды, требования к внешнему виду покрытия, concentricности нанесения его, механической прочности и влагостойкости покрытия, общие для различных типов электродов.

Основные факторы, определяющие свойства электродов

К основным факторам, определяющим свойства электродов, относятся: состав и диаметр электродного стержня, состав и относительный вес покрытия

Электродный стержень

Состав применяемой электродной проволоки зависит от назначения электрода (требуемого химического состава и свойств наплавленного металла) для стали он регламентируется ГОСТом 2246-60 (табл. 3).

В качестве электродных стержней применяются также другие материалы. Для сварки чугуна, например, — литые чугунные прутки по ГОСТу 2671-44 и др., прутки из меди и монельметалла; для сварки меди — медная проволока марки М2, М3; для сварки алюминиевых сплавов — проволока марки АК АД и др., для наплавочных работ — прутки из сормита, стеллита и других сплавов.

2 Металлические электроды для ручной электродуговой сварки и наплавки

1. Электроды для сварки углеродистых и легированных конструкционных сталей по ГОСТу 9467-60

Тип электродов	Механические свойства металла шва или наплавленного металла при применении электродов диаметром более 2,5 мм			Механические свойства сварного соединения при применении электродов диаметром 2,5 мм и менее		Содержание серы и фосфора в металле шва или наплавленном металле		Основное назначение электродов
	Предел прочности при растяжении в кг/мм ²	Относительное удлинение в %	Ударная вязкость в кг/м/см ²	Предел прочности при растяжении в кг/мм ²	Угол загиба в град.	S в %	P в %	
Не менее						Не более		
Э-34	34	—	—	34	30	0,05	0,05	Для сварки малоуглеродистых и низколегированных сталей
Э-42	42	18	8	42	120			
Э-42А		22	14		180	0,04	0,04	
Э-46	46	18	8	46	120	0,05	0,05	
Э-46А		22	14		150	0,04	0,04	
Э-50	50	16	6	50	90	0,05	0,05	Для сварки среднеуглеродистых и низколегированных сталей
Э-50А		20	13		150			
Э-55	55		12	55	140	0,04	0,04	
Э-60	60	16	6	—	—			
Э-60А		18	10	—	—			
Э-70	70	12	6	—	—			
Э-85	85		5	—	—			
Э-100	100	10		—	—			
Э-125	125	6	4	—	—			
Э-145	145	5		—	—			

Примечания: 1. Электроды для сварки легированных сталей повышенной прочности диаметром 2,5 мм и менее испытываются так же, как и электроды диаметром более 2,5 мм.
2. По соглашению сторон допускается испытывать электроды диаметром 3 мм для сварки малоуглеродистых, среднеуглеродистых и низколегированных сталей так же, как и электроды диаметром 2,5 мм.
3. Для электродов типов Э-85, Э-100, Э-121, Э-145 нормы механических свойств указаны после термической обработки соответственно паспорту на электроды.

Общие сведения об электродах

2. Электроды для сварки легированных теплоустойчивых сталей по ГОСТу 9467-60

Тип электродов	Механические свойства при 20°			Химический состав в %								
	Временное сопротивление в кг/мм ²	Относительное удлинение в %	Ударная вязкость в кг·м/см ²	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Nb	не более	
											S	P
Э-М	50	18	8	0,06—0,12	Не более 0,35	0,4—0,8	—	0,40—0,70	—	—	0,05	0,05
Э-МХ		0,3—0,6					—		—	0,04	0,04	
Э-ХМ		0,7—1,0		—	—							
Э-ХМФ		0,8—1,2		—	—							
Э-ХМФБ	55	14	6	0,15—0,45	0,5—0,9	0,15—0,45	1,0—1,4	0,7—1,0	0,15—0,40	0,10—0,25	0,04	0,04
Э-Х2МФБ							2,4—3,0		0,25—0,50	0,35—0,65		
Э-Х5МФ							4,5—5,0		0,40—0,70	0,10—0,35		

Примечание. Нормы механических свойств указаны после термической обработки соответственно паспорту электродов.

Примечание. Нормы механических свойств указаны после термической обработки соответственно паспорту электродов.

3. Проволока стальная сварочная по ГОСТу 2246-60

Тип стали	Марка проволоки	Химический состав в %								Прочие элементы	
		C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P			Прочие элементы
Углеродистая	Св-08										
	Св-08А	≤ 0,40	0,35—0,60		≤ 0,15	≤ 0,30	0,04	0,04			
	Св-08ГА		0,80—1,10	≤ 0,03	≤ 0,10	≤ 0,25	0,03	0,03			
	Св-10ГА		1,10—1,40								
	Св-10Г2	≤ 0,12	1,50—1,90			≤ 0,30	0,04	0,04			
Легированная	Св-08ГС	≤ 0,10	1,40—1,70	0,60—0,85	≤ 0,20	≤ 0,25					Al ≤ 0,05
	Св-08Г2С	≤ 0,11	1,8—2,10	0,70—0,95		≤ 0,30					
	Св-12ГС	≤ 0,14	0,80—1,10	0,60—0,90		≤ 0,25					
	Св-10ХГ2С	0,06—0,12	1,7—2,1	0,7—0,95	0,7—1,00	≤ 0,25					
	Св-10ГСМТ	0,08—0,14	1,00—1,30	0,40—0,70	≤ 0,30	≤ 0,30	0,03	0,03			Al ≤ 0,05 Mo 0,20—0,40 Ti 0,05—0,12
	Св-12Г2Х	0,10—0,15	1,80—1,90	≤ 0,30	1,2—1,5	≤ 0,25					
	Св-08ХНМ	≤ 0,10	0,50—0,80		0,70—0,90	0,80—1,20					
	Св-10НМ	≤ 0,12	0,40—0,70	0,12—0,35	≤ 0,20	1,00—1,50					
	Св-08ХН2М	≤ 0,10	0,55—0,85		0,70—1,00	1,40—1,80					
											Mo 0,25—0,45 Mo 0,40—0,55 Mo 0,20—0,40

Тип стали	Марка проволоки	Химический состав в %								Прочие элементы	
		C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P			Прочие элементы
Легированная	Св-18ХГСА		0,80—1,10	0,90—1,20							
	Св-18ХМА	0,15—0,22		0,12—0,35	0,80—1,10		0,025	0,03			Mo 0,15—0,30
	Св-10ХМ	≤ 0,12			0,45—0,65						
	Св-10МХ										
	Св-08ХГ2СМ	≤ 0,10	1,40—1,80	0,60—0,90	0,80—1,10						Mo 0,40—0,60
	Св-10ХМТФ	0,07—0,12	0,40—0,70	≤ 0,35	1,4—1,8						Mo 0,40—0,60; Ti 0,05—0,12; Va 0,05—0,35
	Св-08ХГСМФ		1,20—1,60	0,60—0,90	0,95—1,25		0,03	0,03			Mo 0,50—0,70; Va 0,20—0,40
	Св-08ХМФ				1,00—1,40						Mo 0,60—0,80 Va 0,15—0,35
	Св-08ХМФБ	≤ 0,10	0,40—0,70	0,12—0,35	1,10—1,50						Mo 0,70—0,90 Va 0,15—0,35 Nb 0,10—0,35
	Св-08ХЗГ2СМ		2,0—2,5	0,45—0,75	2,00—3,00	≤ 0,30					Mo 0,30—0,50
	Св-13Х2МТФ	0,10—0,15	0,40—0,70	≤ 0,35	1,7—2,2						Mo 0,40—0,60; Ti 0,05—0,12; Va 0,15—0,35

Тип стали	Марка прокатки	Химический состав в %								Прочие элементы	
		C	Mn	Si	Cr	Ni	S	P не более			
Легиро- ванная	Св-08Х3МФБ	≤ 0,10			2,20—2,60		0,03		Mo 0,60—0,80 Va 0,15—0,35 Nb 0,20—0,50		
	Св-10Х5М	≤ 0,12	0,40—0,70	0,12—0,35	4,00—6,00			Mo 0,40—0,60			
	Св-06Н3А	≤ 0,08		≤ 0,30	≤ 0,30	3,00—3,50		0,025	—		
Высоко- легиро- ванная	Св-10Х11МФН	0,08—0,15		0,25—0,55	10,50—12,00	0,60—0,90	0,03	Mo 0,60—0,90 Va 0,25—0,50			
	Св-10Х11ВМФН	0,08—0,13	0,35—0,65	0,30—0,60	10,50—12,00	0,80—1,10		Mo 1,00—1,30 Va 0,25—0,50 W 1,00—1,40			
	Св-06Х14	≤ 0,08	0,30—0,70	0,30—0,70	13,0—15,0	0,60		—			
	Св-10Х13	0,08—0,15			12,0—14,0						
	Св-8Х14ГТ	≤ 0,10	0,90—1,30	0,25—0,65	13,0—15,0			Ti 0,6—1,0			
	Св-10Х17Т	≤ 0,12	≤ 0,7	≤ 0,8	16,0—18,0			0,035	Ti ≤ 0,5		
Св-13Х25Т	≤ 0,15	≤ 0,8	≤ 1,0	23,0—27,0							
	Св-02Х19Н9	≤ 0,04	1,00—2,00	0,50—1,00	18,0—20,0	8,0—10,0	—	—			
	Св-04Х19Н9	≤ 0,06					0,018	—			

Тип стали	Марка проволоки	Химический состав в %							
		C	Mn	Si	Cr	Ni	S не более	P Прочие элементы	
Высоко- легиро- ванная	Св-04X19H9C2	≤ 0,06	1,00—2,00	2,00—2,75	18,0—20,0	8,0—10,0	0,018	0,025	
	Св-06X19H9T	≤ 0,08	0,40—1,00					Ti 0,50—1,00	
	Св-05X19H9Ф3C2	≤ 0,07	1,30—1,80					0,030	Va 2,20—2,70
	Св-07X18H9T10	≤ 0,09	≤ 2,00	≤ 0,80				0,015	Ti 1,0—1,40 Al 0,6—0,95
	Св-08X19H9Ф2C2	≤ 0,10	1,0—2,0	1,3—1,8	18,0—20,0	0,025	Va 1,8—2,4		
	Св-08X19H10B	0,05—0,10	1,20—1,70	≤ 0,70	18,5—20,5	9,0—10,5	0,025	Nb 1,20—1,50 Отношение хром — ≤ 2,05 никель	
	Св-04X19H11M3	≤ 0,06		≤ 0,60	18,0—20,0	10,0—12,0	0,029	Mo 2,0—3,0	
	Св-10X16H25M6	0,08—0,12	1,00—2,00		15,0—17,5	24,0—27,0	0,025	Mo 5,50—70; N 0,1—0,2	
	Св-06X19H10M3T	≤ 0,08		0,30—0,80	18,0—20,0	9,0—11,0	0,030	Mo 2,0—3,0; Ti 0,50—0,80	
	Св-08X19H12M3	0,06—0,10	1,0—1,7	0,30—0,70	18,5—20,5	11,5—13,0		Mo 2,3—2,8	
Св-30X15H35B3G3T	0,26—0,32	0,50—1,00	≤ 0,20	14,0—16,0	34,0—36,0	0,15	0,25 W 2,50—3,00; Ti 0,60—1,00 Nb 2,80—3,30;		

Тип стали	Марка проволоки	Химический состав в %							S		P	Ni	Cr	Si	Mn	C	Прочие элементы
Высоко- легиро- ванная	Св-10Х20Н15	≤ 0,12	≤ 0,8	19,0—22,0	14,0—16,0	0,025	0,018	0,035	0,025	—	—	—	—	—	—	—	—
	Св-07Х25Н13	≤ 0,09	0,50—1,00	23,0—26,0	12,0—14,0	0,025	0,018	0,035	0,025	—	—	—	—	—	—	—	—
	Св-13Х25Н18	≤ 0,15	≤ 0,50	24,0—27,0	17,0—20,0	0,025	0,018	0,035	0,025	—	—	—	—	—	—	—	—
	Св-08Х20Н10Г6	0,10	0,20—0,70	20,0—22,0	9,0—11,0	0,025	0,018	0,035	0,025	—	—	—	—	—	—	—	—
	Св-08Х20Н19Г7Г	0,10	0,50—1,00	18,0—22,0	8,0—10,0	0,025	0,018	0,035	0,025	—	—	—	—	—	—	—	—
	Св-25Х25Н16Г7	0,20—0,28	≤ 0,30	24,0—27,0	15,0—17,0	0,025	0,018	0,035	0,025	—	—	—	—	—	—	—	—
	Св-08Х25Н5ТМФ	≤ 0,10	≤ 0,80	24,0—26,5	4,80—5,70	0,025	0,018	0,035	0,025	—	—	—	—	—	—	—	—
	Св-08Н50	≤ 0,10	≤ 0,50	≤ 0,30	48,0—53,0	0,025	0,018	0,035	0,025	—	—	—	—	—	—	—	—

Примечания: 1. В проволоке марки Св-08 и Св-08А алюминий не допускается.
2. По согласию сторон допускается поставка проволоки и из стали марки Св-08 с содержанием фосфора не более 0,03%.
3. Содержание меди в стали для всех марок не должно превышать 0,25%. По требованию потребителя проволока должна поставляться с содержанием меди не более 0,20%.
4. По согласию сторон проволока должна поставляться с ограниченным содержанием элементов, не указанных в табл. 2 (алюминий, мышьяк и др.).

При одном и том же химическом составе электрода (проволоки и покрытия) диаметр стержня оказывает существенное влияние на технологическую применимость электрода, так как определяет диапазон допустимых значений сварочного тока и, следовательно, нагрев свариваемого изделия, размеры и жидкотекучесть сварочной ванны и т. п. В практике ручной дуговой сварки применяется преимущественно проволока диаметром 2—10 мм. Проволока диаметром 1,5—2,5 мм и отчасти 3 мм предназначена для специфической группы электродов, применяемых при сварке тонкостенных изделий и конструкций с толщиной свариваемых элементов 1—3 мм; проволока диаметром 8—12 мм предназначена для другой, крайней группы электродов, применяемых при сварке главным образом толстостенных элементов в нижнем положении с большой скоростью. Наиболее универсальной является электродная проволока диаметром 4—5 мм.

При сварке в потолочном положении применяются, как правило, электроды с проволокой диаметром не более 4 мм.

Для повышения производительности следует применять электроды диаметром, максимально возможным в данных условиях сварки.

Диаметры стальной сварочной проволоки и допускаемые отклонения по ГОСТу 2246-60 приведены в табл. 4.

4. Проволока стальная сварочная. Сортамент, ГОСТ 2246-60

Номинальный диаметр проволоки в мм	Допускаемые отклонения для диаметра проволоки в мм		Номинальный диаметр проволоки в мм	Допускаемые отклонения для диаметра проволоки в мм	
	нормальной точности	повышенной точности		нормальной точности	повышенной точности
0,3	—0,050	—	4,0	—0,13	—0,08
0,5	—0,060	—	5,0	—0,13	—0,08
0,8	—0,070	—	6,0	—0,13	—0,08
1,0 1,2 1,6 2,0	—0,120	—0,06	8,0	—0,20	—0,10
2,5 3,0	—0,120	—0,06	10,0 12,0	—0,24	—0,12

Примечание. Для проволоки с травленной поверхностью допускаемые отклонения по диаметру устанавливаются на 50% больше указанных в табл. 4. Овальность проволоки не должна превышать половины допуска на диаметр.

Длина электрода зависит от диаметра стержня. Для электродов со стержнем из углеродистой или легированной проволоки ГОСТом 9466-60 рекомендуется следующее соотношение размеров:

Диаметр стержня
в мм
1,6—2,0
2,5—3,0
4,0
≥ 5,0

Длина электрода
в мм
225 или 250
350
400 или 450
450

В случае применения высоколегированной проволоки, учитывая ее меньшую электропроводность, ГОСТ предусматривает меньшую длину электродов:

Диаметр стержня в мм	Длина электрода в мм
2,5—3,0	250
4,0	350
≥5,0	350 или 450

Допускаемые отклонения по длине электродов должны составлять ± 3 мм при изготовлении электродов опрессовкой и ± 7 мм при изготовлении ручным способом. По согласованию сторон допускается изготовление электродов с другими размерами.

Пок р ы т и е

Назначение покрытия

Покр ы т и я предназначены для стабилизации дуги, защиты расплавленного металла и его легирования.

Стабилизация дуги. При сварке голый проволокой горение дуги неустойчиво. На переменном токе сварка голый проволокой вообще невозможна. Для повышения стабильности дуги на стержень тонким слоем наносятся специальные покрытия, содержащие обычно соединения щелочных или щелочно-земельных металлов.

По сравнению с голыми электродами электроды со стабилизирующим покрытием не улучшают качества металла шва.

Примером стабилизирующих покрытий могут служить меловое, АН-1 и ВИАМ-25.

Защита металла. Металл, наплавляемый голыми электродами, обладает низкими механическими свойствами вследствие значительного его окисления и насыщения азотом воздуха в процессе сварки. Для защиты металла от воздуха на электрод наносятся покрытия, образующие при расплавлении шлаки и газы. Показателем эффективности защиты может служить содержание азота в шве.

Окисление может происходить также за счет кислорода покрытия, так как практически все промышленные покрытия содержат компоненты, способные при сварке окислять металл (окислы железа, карбонаты и др.). Указанные компоненты вводятся в покрытие для того, чтобы обеспечить требуемые технологические свойства электродов.

В качестве раскислителей в покрытия вводятся ферромарганец, ферросилиций, алюминий, ферротитан и др.

Защитные покрытия наносятся слоем значительной толщины и заметно улучшают качество наплавленного металла по сравнению с голыми электродами и электродами со стабилизирующими покрытиями (табл. 5).

Примером защитных покрытий могут служить покрытия ОММ-5, ЦМ-7, УОНИ-13 и др.

Защитное покрытие должно обладать стабилизирующими свойствами и удовлетворять другим требованиям, предъявляемым к электродным покрытиям.

Легирование наплавляемого металла. Для получения металла шва с определенными механическими свойствами (прочность, вязкость, стойкость против коррозии и т. п.) в него нередко вводятся специальные элементы (марганец, хром, кремний, молибден, ванадий, ниобий и др.). Легирование металла шва этими элементами осуществляется через проволоку, через покрытие или комбинацией указанных двух способов. Легирование через покрытие несколько уступает легированию через проволоку в отношении постоянства химического состава металла, но является весьма гибким методом, позволяющим простыми средствами получить почти любой требуемый состав наплавленного металла. Поэтому легирование через покрытие получило значительное применение.

5. Влияние защитного покрытия на механические свойства и химический состав наплавленного металла и металла шва при сварке стали МСт. 3

Электрод	Механические свойства			Химический состав наплавленного металла в %				
	Наплавленный металл (образцы гартия)	σ_B в кг/мм ²	δ в %	Металл шва σ_k в кг/мм ²	C	Mn	Si	N
Проволока Св-08А без покрытия или с тонким (стабилизирующим) покрытием	30—45	4—10	≤ 2	0,02—0,05	0,10—0,20	Следы	0,15—0,25	0,01—0,02
Проволока Св-08А с защитным покрытием рудно-кислотного типа (ОММ-5, ЦМ7 и др.)	40—50	20—30	8—14	Около 0,1	0,6—0,9	Около 0,1	0,03—0,06	0,01—0,025
Проволока Св-08А с защитным покрытием фтористо-кальцевого типа (УОНИ-13/55, ЦУ-1 и др.)	40—55	25—30	15—30	Около 0,1	0,7—1,2	0,2—0,4	0,01—0,025	0,01—0,02

Легирующие покрытия так же, как и защитные, наносятся толстым слоем и должны одновременно защищать металл от окисления и насыщения азотом, а также обеспечивать стабильное горение дуги. Между защитными и легирующими покрытиями не всегда можно провести четкую границу. Признаком, отличающим легирующее покрытие от защитного, служит заметное увеличение содержания специальных элементов в наплавке по сравнению с их содержанием в электродном стержне. Примером типичных легирующих покрытий могут служить покрытия ОЗН-300, Т-590, ЦИ-4М и др.

Требования, предъявляемые к электродным покрытиям

Тонкие покрытия, стабилизируя дугу, относительно мало влияют на другие стороны сварочного процесса, за исключением скорости расплавления электрода. Покрытия же, наносимые толстым слоем, оказывают существенное воздействие на весь процесс сварки; поэтому к ним, кроме основного требования (защита и легирование металла), предъявляются следующие дополнительные:

- 1) покрытие должно обеспечивать стабильное горение дуги и спокойное без чрезмерного разбрызгивания плавление электрода;
- 2) физические свойства шлаков, образующихся при плавлении электрода (вязкость, удельный вес, температура плавления и т. п.), должны обеспечивать хорошее формирование шва и удобное оперирование электродом;
- 3) шлак после остывания должен легко удаляться с поверхности шва;
- 4) между шлаками, газами и металлом не должно протекать реакций, вызывающих образование пор в швах;
- 5) материалы покрытия должны удовлетворительно измельчаться, не реагировать с жидким стеклом или между собой в замесе, затрудняя его приготвление, должны быть сравнительно дешевыми;
- 6) обмазочная масса должна обладать технологическими свойствами, не затрудняющими производственный процесс изготовления электродов;
- 7) состав покрытий должен обеспечивать удовлетворительные санитарно-гигиенические условия труда при изготовлении и применении электродов.

Классификация покрытий

Деление покрытий на стабилизирующие, защитные и легирующие носит весьма общий характер.

Большинство защитных и легирующих отечественных покрытий электродов для сварки сталей по характеру металлургического воздействия на металл шва можно отнести к одному из следующих основных типов [1], [2]:

- 1) рудно-кислосое; 2) фтористо-кальциевое; 3) рутиловое; 4) газозащитное.
- Покрытия первого типа насыщают наплавляемый металл кислородом и водородом в большей степени, чем покрытия второго типа (см. табл. 5). Поэтому при сварке малоуглеродистой стали ударная вязкость металла шва не превышает 12—14 кг/м², а после старения снижается на 60—70%. Швы более склонны к образованию трещин, особенно при повышенном содержании углерода. При введении активных раскислителей (например, кремния, алюминия) в проволоку или в покрытие наблюдается склонность к пористости. По указанным причинам покрытия первого типа не применяются для сварки углеродистых и легированных сталей, а также в сочетании с проволокой из спокойной стали.

Покрытия второго типа дают наплавленный металл с меньшим содержанием кислорода и водорода. Швы менее склонны к старению и образованию трещин и характеризуются высокой ударной вязкостью; но при сварке длинной дугой, при сварке по ржавчине или окалине и при повышенной влажности покрытия наблюдается склонность шва к пористости.

Применение покрытий второго типа повышает коэффициент усвоения марганца, хрома и молибдена [3].

Вследствие наличия в покрытиях второго типа плавикового шпата они, как правило, пригодны лишь для сварки на постоянном токе. Сварка на переменном токе возможна только при введении в покрытие поташа или калиевого жидкого стекла.

Ко второму типу относятся почти все покрытия электродов для сварки низко- и высоколегированных сталей и специальных сплавов, а также электродов для наплавочных работ.

Покрытия третьего типа характеризуются стабильным горением дуги и небольшой проплавляющей способностью; поэтому они особенно пригодны для сварки тонкостенных изделий и изделий с большими зазорами в стыках.

Покрытия четвертого типа (ОМА-2 и др.) при плавлении дают относительно небольшое количество шлаков, что облегчает оперирование электродом при сварке вертикальных, потолочных и труднодоступных швов. Высокое содержание восстановительных газов (водорода) обеспечивает хорошее качество металла шва, но в то же время вызывает склонность к образованию пор.

Особую группу составляют покрытия с железным порошком, существенно повышающие производительность электродов. Железный порошок вводится в покрытия различных типов (руднокислые, рутиловые, органические, фтористокальциевые) чаще всего в количестве 30—50%. При сварке такими электродами вес наплавленного металла составляет 120—200% от веса расплавленного электродного стержня.

Одновременно с повышением коэффициента наплавки указанные покрытия вследствие большой их толщины часто позволяют повысить предельно допустимый ток. В результате производительность наплавки возрастает весьма значительно.

Покрытия классифицируются также по основности (кислотности) образующихся при их плавлении шлаков, по технологической применимости электрода (покрытия для постоянного и переменного тока, для нижней и потолочной сварки, для сварки тонколистовых изделий и т. п.) и по другим признакам.

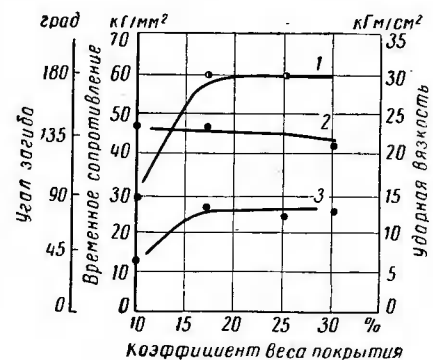
Количество покрытия на электроде

Количество покрытия на электроде оказывает большое влияние на состав и свойства наплавленного металла.

Уменьшение относительного веса покрытия ниже определенного (для каждой марки электрода) предела вызывает резкое снижение эффективности защиты и, как следствие, ухудшение качества сварного шва (фиг. 1). При чрезмерном увеличении толщины покрытия образуется излишнее количество шлака и затрудняется оперирование электродом, что может привести к ухудшению качества швов.

В случае применения легирующего покрытия состав наплавленного металла закономерно изменяется с изменением толщины покрытия. Поэтому при легировании через покрытие допуски на толщину покрытия должны быть особенно жесткими.

Увеличение количества покрытия на электроде приводит к удлинению дуги (вследствие увеличения трубочки из нерасплавленного покрытия на конце электрода) и к соответствующему повышению напряжения дуги и ее мощности при постоянной величине тока; позволяет повысить токовую нагрузку на электрод за счет аккумуляции тепла в покрытиях; сказывается на характеристиках плавления покрытия.



Фиг. 1. Зависимость механических свойств металла шва от коэффициента веса покрытия руднокислого типа: 1 — угол загиба; 2 — временное сопротивление; 3 — ударная вязкость (А. А. Ерохин и М. С. Кушников).

6. Вес 1 пог. см электродной проволоки

0. Вес 1 пог. см электродной проволоки

Электроды диаметром 1,9—2,1 мм				Электроды диаметром 2,9—3,1 мм				Электроды диаметром 3,9—4,1 мм				Электроды диаметром 4,9—5,1 мм			
Диаметр проволо- ки в мм	Вес Г/см	Диаметр проволо- ки в мм	Вес Г/см	Диаметр проволо- ки в мм	Вес Г/см	Диаметр проволо- ки в мм	Вес Г/см	Диаметр проволо- ки в мм	Вес Г/см	Диаметр проволо- ки в мм	Вес Г/см	Диаметр проволо- ки в мм	Вес Г/см	Диаметр проволо- ки в мм	Вес Г/см
1,90	0,22	2,01	0,25	2,9	0,52	3,01	0,56	3,9	0,94	4,01	0,99	4,90	1,48	5,01	1,55
1,91		2,02		2,91		3,02		3,91		4,02		4,91		5,02	
1,92	0,23	2,03	0,26	2,92	0,53	3,03	0,57	3,92	0,95	4,03	1,00	4,92	1,49	5,03	1,56
1,93		2,04		2,93		3,04		3,93		4,04		4,93		5,04	
1,94		2,05		2,94		3,05		3,94		4,05		4,94		5,05	
1,95		2,06		2,95		3,06		3,95		4,06		4,95	1,51	5,06	1,58
1,96	0,24	2,07		2,96	0,54	3,07	0,58	3,96	0,97	4,07	1,02	4,96	1,52	5,07	
1,97		2,08		2,97		3,08		3,97		4,08		4,97		5,08	
1,98		2,09	0,27	2,98		3,09		3,98	0,98	4,09	1,03	4,98	1,53	5,09	
1,99		2,10		2,99	0,55	3,10	0,59	3,99		4,10		4,99		1,535	
2,00	0,25			3,00				4,00	0,99		1,04	5,00	1,54		

Влияние количества покрытия на технологические свойства электрода хорошо иллюстрируется сопоставлением свойств электродов ЦМ-7 и ЦМ-7С, имеющих при одном и том же составе покрытия разный относительный его вес.

Способы определения. Количество покрытия на электроде оценивается коэффициентом веса K , представляющим собой отношение веса покрытия к весу металла стержня на длине обмазанной части электрода

$$K = \frac{G_n}{G_m},$$

где G_n — вес покрытия на электроде;
 G_m — вес металла стержня на длине обмазанной части электрода.

Коэффициент веса покрытия определяется по формуле

$$K = \frac{G_s - m l_s}{m l_0},$$

где G_s и l_s — вес электрода в Г и длина в см;
 l_0 — длина обмазанной части электрода в см;
 m — вес 1 пог. см электродной проволоки в Г/см.

Значения m для стальной электродной проволоки приведены в табл. 6. Количество покрытия на электроде иногда характеризуется отношением веса покрытия к весу всего стержня электрода:

$$K_1 = \frac{G_s - m l_s}{m l_s}.$$

Вес стальных стержней в зависимости от их длины и диаметра указан в табл. 7.

При длине необмазанной части электрода ~30 мм и длине электрода 250—450 мм можно в среднем принять

$$K_1 = 0,9 K.$$

7. Вес стальных стержней в Г

Длина стержня в мм	Диаметр стержня в мм									
	1,6	2,0	2,5	3	4	5	6	8	10	12
	-0,06 *				-0,08 *			-0,10 *		-0,12 *
225	3,55— —3,3	5,56— —5,25	8,67— —8,27	12,47— —11,97	—	—	—	—	—	—
250	3,94— —3,65	6,17— —5,82	9,64— —9,2	13,85— —13,3	—	—	—	—	—	—
300	—	7,3— —6,88	11,52— —11,0	16,62— —15,87	29,6— —28,4	—	—	—	—	—
350	—	—	13,47— —12,83	19,4— —18,6	34,5— —33,1	54,0— —52,4	77,6— —75,5	138— —134,5	216— —211	310,3— —302,0
400	—	—	—	—	39,43— —37,9	61,7— —59,9	88,8— —86,5	158— —154	246,2— —240,3	354,4— —347,8
450	—	—	—	—	44,4— —42,6	69,3— —67,2	99,8— —97,2	177,5— —173	277— —270,2	399,0— —391,0

Отклонения для проволоки повышенной точности.

Величина K_1 обычно применяется при подсчетах расхода электродных материалов.

Количество покрытия может быть также оценено по толщине слоя покрытия δ в мм

$$\delta = \frac{D-d}{2},$$

где D и d — диаметры в мм соответственно электрода с покрытием и электродного стержня или по соотношению между $\frac{D}{a}$ и K , определяемому равенством

$$\left(\frac{D}{d}\right)^2 = 1 + K \frac{\gamma_{ст}}{\gamma_{пок}},$$

где $\gamma_{ст}$ — удельный вес металла стержня;

$\gamma_{пок}$ — удельный вес покрытия.

Характеристики электродов

Свойства металла шва и наплавленного металла

Важнейшей характеристикой электродов, определяющей их назначение и области применения, являются механические свойства наплавленного ими металла и сварного соединения. В некоторых случаях принимаются во внимание и такие свойства швов, как коррозионная стойкость, крипоустойчивость, устойчивость против старения и т. п. Электроды для наплавочных работ характеризуются главным образом твердостью наплавленного металла и некоторыми специальными его свойствами — износоустойчивостью, режущими свойствами и т. п.

Минимальные требования к механическим свойствам швов регламентируются ГОСТом 9467-60 (см. табл. 1 и 2). Испытания, проводимые изготовителями электродов для получения сертификатных данных, показывают, что для электродов одной и той же марки механические свойства швов могут в известных пределах колебаться.

При оценке и сопоставлении электродов по свойствам сварного соединения не следует забывать, что эти свойства зависят не только от электрода, но и от основного (свариваемого) металла, доля которого в шве при различных условиях сварки (типах соединения, режимах) может быть различной. Поэтому следует различать свойства и химический состав металла шва и наплавленного металла, состоящего только из металла электрода. Для примерной оценки доли основного металла в шве в табл. 8 приводятся некоторые экспериментальные данные.

8. Доля основного металла в шве при ручной дуговой сварке стали типа хромансиль аустенитными электродами [3]

Тип соединения	Толщина металла в мм	Доля основного металла в шве %
Сварка в стык без разделки кромок	2	0,4—0,5
	4	
Сварка в стык с V-образной разделкой кромок	4	0,25—0,5
	6	0,2—0,4

Продолжение табл. 8

Тип соединения	Толщина металла в мм	Доля основного металла в шве %
Сварка в тавр	2—4	0,3—0,4
	6	0,2—0,3
Наплавка	10—12	
		0,4—0,6*

* При форсировании режима наплавки.

ГОСТ 9467-60 устанавливает лишь основные требования к механическим свойствам и химическому составу металла шва и наплавленного металла для отдельных типов электродов. Свойства же различных марок электродов, в том числе и специальных (устойчивость против старения, сопротивление коррозии, механические свойства при низких или повышенных температурах, склонность к образованию трещин, склонность к образованию пор и др., а также технологические свойства электродов), регламентируются паспортами, составляемыми на каждую выпускаемую марку электродов.

Технологические характеристики электродов

Наряду с качеством металла шва и наплавленного металла, получаемых при сварке данным электродом, важное значение имеют и технологические свойства электрода — производительность, пригодность для сварки в различных пространственных положениях, род тока, форма шва и др. Они являются сложной функцией многих переменных и в большинстве случаев поддаются только качественной оценке.

Однако некоторые характеристики электродов, определяющие их технологическое поведение, могут оцениваться и количественно; к числу таких характеристик относятся, например, характеристики плавления электрода, номинальное напряжение дуги, стабилизирующая способность.

Номинальное напряжение дуги является важной характеристикой электрода. Опыт показывает, что у разных типов электродов дуга при нормальной ее длине горит при разном собственном данному типу напряжении [4], называемом номинальным напряжением дуги. Значения номинального напряжения для электродов некоторых марок при нормальной длине дуги * приведены в табл. 9.

Значительные отклонения напряжения дуги от номинального при нормальном ведении процесса свидетельствуют о наличии каких-либо изменений (нарушений) в составе покрытия, повышенной влажности его и т. п. Так, например, увлажнение покрытия ЦМ-7С приводит к возрастанию номинального напряжения с 30 до 40 в.

Электроды, характеризуемые более высоким номинальным напряжением дуги, обычно дают более широкие и пологие наплавки и при одинаковом токе и скорости сварки оказывают большее тепловое воздействие на свариваемую деталь.

* Длина дуги, характерная для данной марки электрода.

9. Технологические характеристики некоторых марок электродов

Марка электрода	Род тока, полярность	Коэффициент веса покрытия K в %	Номинальное напряжение дуги U_n в В	Коэффициент расплавления α_p в $Г/а-ч$	Коэффициент потерь ψ в %	Коэффициент наплавки α_n в $Г/а-ч$	Удельный расход энергии W в $квт-ч/кг$
Голые	Постоянный, прямая	—	15—20	12—15***	10—15	10—14	1,5
Меловые	Переменный	2—4	13—17	6,5—7,5	15—20	5,5—6,5	2,5
ВИАМ 25 (пров. Св-08)	Постоянный, прямая	3—5	12—16	5—6	15—20	4—5	3,1
ОММ-5	Переменный	30—40	20—25	8,5—9,5		7—8	3,5
МЭЗ-0,4	Постоянный, прямая	35—40	20—25	8—10	15—25	6—8	3,4
ЦМ-7		30—40	22—25	9—10		7—8	3,2
ЦМ-7С		50—60	27—33	12—13		10—11	2,8
УОНИ-13/55	Постоянный, обратная	30—40	22—26	9—10	0—10****	8,5—9,5	2,7
НИ-3		25—35	22—26	10	0	10	2,4
ЦЛ-2		25—30	24—28	10,5—11,5	6—12	9—11	2,6
НИ-1		20—30	20—24	11—12	5	10—11	2,1
НИ-5		30—50	24—28	12—13	0 ÷ (—5)	12—14	2,0

* Определены при наплавке. При сварке втавр или с разделкой кромок должны корректироваться.

** Средние значения в расчете на наплавленный металл.

*** Сильно зависит от состояния поверхности электрода и при очень хорошей чистоте проволоки возрастает до 20 $Г/а-ч$.

**** По данным К. В. Петрань, имеет ступенчатое значение.

Коэффициент расплавления α_p представляет собой удельную (отнесенную к 1 а сварочного тока) производительность процесса расплавления электрода:

$$\alpha_p = \frac{G_p}{It} \text{ Г/а-ч,}$$

где G_p — вес расплавленного за время t электродного металла в $Г$;

I — сварочный ток в а;

t — время плавления электрода (горения дуги) в час.

Коэффициент расплавления зависит от состава проволоки и покрытия, относительного веса покрытия, рода тока и полярности. При сварке на прямой полярности большим значением номинального напряжения соответствуют, как правило, большие значения α_p . Однако изменения напряжения, вызванные удлинением дуги, на α_p практически не отражаются.

Принимают, что α_p не зависит от режима сварки.

Коэффициент потерь ψ характеризует потери металла электрода на испарение, разбрызгивание и окисление:

$$\psi = \frac{G_p - G_n}{G_p} 100\%,$$

где G_p — вес расплавленного электродного металла;
 G_n — вес наплавленного металла

В некоторых случаях потери электродного металла могут в той или иной мере компенсироваться переходом в шов металла из покрытия (например, за счет ферросплавов или металлического железа, введенных в покрытие, или за счет восстановления металла из окислов). Если переход металла в шов из покрытия превышает его потери из проволоки, то коэффициенту потерь приписывают условно отрицательное значение.

Коэффициент потерь зависит как от состава проволоки и покрытия и относительного веса покрытия, так и от режима сварки и типа соединения. Обычно ψ возрастает при значительном увеличении плотности тока и длины дуги. При сварке втавр и с разделкой кромок ψ несколько меньше, чем при наплавке.

В случае применения электродов с покрытиями, содержащими железный порошок или в большом количестве легирующие присадки, целесообразно взамен ψ применять коэффициент Ψ , представляющий отношение действительных потерь металла (разность между расплавленным металлом стержня G_{cm} плюс металл присадок в покрытии и наплавленным металлом G_n) ко всему расплавленному металлу

$$\Psi = 1 - \frac{G_n}{G_{cm} \left(1 + \frac{m}{100} K \right)},$$

где m — % металлических добавок в покрытие готового электрода.

Коэффициент наплавки α_n представляет собой удельную производительность процесса наплавки

$$\alpha_n = \frac{G_n}{It},$$

где G_n — количество наплавленного за время t металла в $Г$.

Коэффициент наплавки связан с α_p и ψ (Ψ) выражениями

$$\alpha_n = \alpha_p (1 - \psi),$$

$$\alpha_n = \alpha_p (1 - \Psi) \left(1 + \frac{m}{100} K \right).$$

При сварке втавр и с разделкой кромок табличные значения α_n также нуждаются в корректировке, как и значения ψ . Корректирующий множитель при этом зависит от величины ψ .

ψ в %	10	15	20	25
Множитель для корректировки α_n	1.04	1.06	1.09	1.12

Средние значения характеристик расплавления электродов (α_p , α_n , ψ) полученные на основе испытаний большого числа электродов разных марок и партий по единой методике [5], приведены в табл. 9. Следует отметить, что электроды одной марки, изготовленные на различных заводах иногда заметно отличаются по характеристикам плавления.

Максимально допустимый ток. Максимально допустимый для данного диаметра электрода ток $I_{\max}$ является важной характеристикой электрода и зависит от состава металла стержня и покрытия, толщины покрытия, длины стержня. $I_{\max}$ оказывает большое влияние на производительность сварки, так как вместе с α_n определяет производительность процесса наплавки (табл. 10).

10. Максимальная производительность процесса наплавки для различных электродов* (рассчитана на нагрев электрода к концу плавки не выше 700°)

Марка электрода	Род тока, полярность	α_n в Г/а-ч	$I_{\max}$ в а	Производительность наплавки $\alpha_n I_{\max} \cdot 10^{-3}$ в кг/час
Меловые	Переменный	6,5	192	1,25
	Постоянный, прямая	6	177	1,06
ОММ-5	Постоянный	7,5	224	1,68
УОНИ-13	Постоянный, обратная	9	230	2,06
ЦМ-7	Переменный	11	280	3,08

* Электроды диаметром 5 мм, длиной 450 мм.

От $I_{\max}$ зависит также максимально возможная глубина проплавления изделия.

Стабилизирующая способность покрытия. Для количественной оценки влияния различных материалов, применяемых для электродных покрытий, на стабильность дуги К. К. Хренов предложил технологическую пробу, заключающуюся в определении «разрывной длины дуги» [6]. Испытуемый материал наносится в виде покрытия на электрод или насыпается на пластину. Электрод неподвижно закрепляется на расстоянии 1—2 мм от пластины. Угольным стержнем зажигается дуга. По мере плавления электрода дуга непрерывно удлиняется, пока не происходит ее обрыв. Расстояние между торцом электрода и пластиной в момент обрыва дуги принимается за числовую характеристику ионизирующей способности электрода (покрытия). Этот способ дает только сравнительную оценку стабилизирующей способности, так как разрывная длина дуги зависит также от диаметра электрода, характеристики и установки источника тока и других факторов.

Фиг. 2. Сравнительная оценка ионизирующей способности различных карбонатов по разрывной длине дуги l_p (К. К. Хренов).

На фиг. 2 приведены данные по разрывной длине дуги для карбонатов, наиболее часто применяемых в электродных покрытиях. Однако прямой связи между значением разрывной длины дуги и технологическим поведением электрода (например, пригодностью его для сварки на переменном токе) нет.

Для сравнительной оценки стабильности горения дуги пользуются иногда осциллограммами тока и напряжения. Предложен также способ количественной оценки стабильности дуги по минимальной величине напряжения холостого хода, при которой еще возможно поддержание устойчивого горения дуги.

Расчет расхода электродов, электродных материалов и электроэнергии

Расход электродной проволоки G_{np} подсчитывается по формуле

$$G_{np} = \frac{G_n}{\alpha_s} = \lambda \frac{G_n}{1 - \psi},$$

где G_n — количество металла, которое необходимо наплавить для получения шва заданного сечения, в кг;

α_s — коэффициент использования стержня электрода;

ψ — коэффициент потерь;

λ — отношение длины стержня электрода к длине расплавляемой его части.

Количество наплавленного металла определяется по формуле

$$G_n = \gamma F_n L \cdot 10^{-6} \text{ кг},$$

где γ — удельный вес наплавленного металла в Г/см³;

F_n — площадь наплавки в мм²;

L — длина шва в мм.

Удельный вес наплавленного металла при сварке голыми или топокрытыми электродами принимается 7,5 Г/см³, при сварке толстопкрытыми электродами — 7,8 Г/см³.

Площадь наплавки. F_n — часть площади поперечного сечения шва, заполняемая электродным металлом, подсчитывается по сумме площадей элементарных геометрических фигур, на которые она может быть разбита; при этом необходимые размеры берутся из чертежа или технологических документов, регламентирующих форму подготовки кромок, зазоры между свариваемыми элементами при сборке и размеры шва.

Коэффициент потерь ψ берется в зависимости от марки электрода (см. табл. 9);

Коэффициент λ берется в пределах 1,1—1,25 в зависимости от длины электрода (табл. 11).

11. Значения коэффициента λ для электродов стандартной длины

Диаметр электрода в мм	Электроды из малоуглеродистой и среднеуглеродистой проволоки			Электроды из высокоуглеродистой проволоки		
	Длина электрода l_s в мм	Длина расплавляемой части электрода l_p в мм	$\lambda = \frac{l_s}{l_p}$	Длина электрода l_s в мм	Длина расплавляемой части электрода l_p в мм	$\lambda = \frac{l_s}{l_p}$
2	300	250	1,20	250	200	1,25
2,5—3	350	300	1,17	300	250	1,20
4 и выше	450	400	1,12	400	350	1,14

Примечание. При определении λ длина огарка принималась равной 50 мм; если по условиям работы она может быть уменьшена, значения λ должны быть соответственно скорректированы.

Расход покрытых электродов $G_{эл}$ определяется по известному расходу проволоки $G_{пр}$ или наплавленного металла G_n .

$$G_{эл} = G_{пр} (1 + K_1) = G_{пр} (1 + 0,9 K);$$

$$G_{эл} = (1 + K_1) \frac{\lambda G_n}{1 - \psi} = (1 + 0,9 K) \frac{\lambda G_n}{1 - \psi},$$

где K — коэффициент веса покрытия;

K_1 — отношение веса покрытия к весу всего электродного стержня (см. стр. 15).

При производственных подсчетах расхода покрытых электродов и электродной проволоки можно пользоваться укрупненными расходными нормативами, отнесенными к 1 кг наплавленного металла (табл. 12). Такие нормативы составляются с учетом потерь электродов при транспортировке и т. п.

12. Расход электродной проволоки и электродов на 1 кг наплавленного металла (укрупненные данные)

Марка электрода	Принятые значения		Коэффициент использования металла стержня α_s	Расход электродной проволоки на 1 кг наплавленного металла в кг	Расход покрытых электродов на 1 кг наплавленного металла в кг
	К в %	ψ в %			
ВИАМ-25	0,05	0,18	0,70	1,45	1,5
ВИ-10-6	0,26	0,15	0,76	1,35	1,65
ОММ-5	0,35	0,18	0,73	1,40	1,8
ЦМ-7С	0,60				2,2
ЦЛ-2	0,35	0,8			1,8

Расход электродных материалов. Вес проволоки $G_{пр}$ и вес покрытия $G_{пок}$ в любом заданном весе готовых (покрытых) электродов определяются из выражений:

$$G_{пр} = \frac{G_{эл}}{1 + 0,9 K};$$

$$G_{пок} = \frac{KG_{эл}}{1,1 + K}.$$

Однако при расчете расхода материалов, требующихся для изготовления электродов, необходимо учитывать также неизбежные в процессе изготовления электродов потери материалов (потери проволоки при рубке, потери материалов покрытия при их измельчении, просеве, сушке и т. п.).

Потери электродной проволоки в зависимости от условий производства принимаются равными 0,5—1,5% от веса проволоки в готовых электродах. Потери материалов (примерные значения) указаны в табл. 13.

13. Потери материалов при изготовлении электродных покрытий (примерные значения)

Наименование материала	Потери в %	Наименование материала	Потери в %
Гематит	15	Магnezит	20
Гранит		Песок кварцевый	15
Двуокись титана	10	Полевой шпат	20
Жидкое стекло (считая на сухой силикат)	20	Плавиковый шпат	
Каолин		Поташ	10
Кварц	10	Селитра калиевая	15
Крахмал		Титановый концентрат	
Марганцевая руда (двуокись марганца)	15	Углекислый барий	20
Мел	30	Феррромарганец	15
Мрамор	20	Ферромолибден	
		Ферросилиций	
		Ферротитан	20

Расход электроэнергии P при сварке рассчитывается на деталь или на 1 м шва по формуле

$$P = \frac{\beta W G_n}{\eta_{с.у}},$$

где G_n — количество металла в кг, которое необходимо наплавить для получения 1 м шва данного сечения или для сварки данной детали;

W — удельный расход электроэнергии (на 1 кг наплавленного металла) в кет-ч/кг;

$\eta_{с.у}$ — к. п. д. сварочной установки;

β — коэффициент, учитывающий относительное увеличение удельного расхода энергии в связи с потерями энергии при холостом ходе сварочной установки.

К. п. д. сварочной установки при приближенных расчетах принимают в среднем равным 0,8 — для сварочных трансформаторов; 0,5 — для сварочных однопостовых аппаратов постоянного тока; 0,4 — для сварочных многопостовых аппаратов постоянного тока.

При более точных расчетах следует брать значение к. п. д. соответствующей установки применительно к заданным условиям работы.

Коэффициент β зависит от типа сварочного аппарата, режима сварки и коэффициента использования сварочного поста K_n

$$\beta = 1 + \frac{(1 - K_n) \eta_{с.у}}{K_n} \cdot \frac{P_0}{U_0 \cdot I} \cdot 10^3,$$

где K_n — коэффициент использования сварочного поста;
 P_0 — мощность холостого хода сварочного аппарата в *квт*;
 I — сварочный ток в *а*;
 U_0 — напряжение дуги в *в*.

Значения β для соответствующего режима сварки (мощность дуги) вычисляются или по приведенной выше формуле, или берутся из табл. 14.

14. Ориентировочные значения β
 (при коэффициенте использования поста 0,7)

Тип сварочного аппарата	Принятые средние значения		Диапазон мощности ($U_0 \cdot I_0$) в <i>квт</i>	β
	К п. л. сварочной установки	Мощность холостого хода P_0 в <i>квт</i>		
Сварочные трансформаторы	0,8	0,25	До 0,75	1,2
			0,75—1,0	1,1
			1,0—2,5	1,05
			2,5—3,5	1,03
			3,5—10	1,02
Сварочные агрегаты постоянного тока, односторонние	0,5	2,5	До 0,75	1,85
			0,75—1,0	1,6
			1—2	1,35
			2—4	1,2
			4—6	1,1
			6—10	1,05

Для многопостовых агрегатов (и для автоматических установок), где обычно отсутствует холостой ход, коэффициент β принимается равным единице. Удельный расход электроэнергии W определяется основными технологическими характеристиками электрода: номинальным напряжением дуги U_n (в) и коэффициентом наплавки a_n (*г/а·ч*).

$$W = \frac{U_n}{a_n} \text{ кет-ч/кг}.$$

Для разных марок электродов W имеет разные значения (см. табл. 9). При ориентировочных подсчетах допускается применение следующих укрупненных значений общего расхода электроэнергии на 1 *кг* наплавленного металла $\frac{\beta W}{\eta_{с.у}}$: при ручной сварке на постоянном токе 6,5 *кет-ч/кг*; при ручной сварке на переменном токе 4,5 *кет-ч/кг*; при автоматической сварке под флюсом на переменном токе 3—3,5 *кет-ч/кг*.

* Коэффициентом использования сварочного поста называется отношение времени горения дуги к общему времени работы сварочного поста.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алов А. А., Электроды для дуговой сварки и наплавки, Машгиз, 1947.
2. Яровинский Л. М., Баженов В. В., Электроды ЦНИИТМАШ для сварки сталей и наплавки, Машгиз, 1954.
3. Ерохин А. А., О расчете покрытий электродов для дуговой сварки, «Сварочное производство» № 1, 1959.
4. Ерохин А. А., Напряжение на дуге как характеристика типа (марки) электрода, «Автогенное дело» № 2, 1949.
5. Ерохин А. А., Методика определения основных измерителей процесса расплавления электрода при дуговой электросварке, «Автогенное дело» № 10, 1948.
6. Хренов К. К., Электрическая сварочная дуга, Машгиз, 1949.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСНОВНЫХ МАРОК ЭЛЕКТРОДОВ ДЛЯ СВАРКИ СТАЛЕЙ И НАПЛАВКИ

Общие сведения

В разных отраслях народного хозяйства СССР применяется значительное количество марок электродов общего и специального назначения. Ниже приводится краткое описание наиболее распространенных марок электродов для сварки сталей и наплавки, их характеристики и рецептуры покрытий. Электроды объединены в группы по назначению и по свойствам наплавленного металла.

В отдельных случаях вместо характеристики электродов приводятся основные свойства наплавленного металла и, по возможности, указывается организация, располагающая необходимыми данными по рассматриваемой марке электродов. При пользовании рецептурами необходимо учитывать следующее.

1. Допровка жидкого стекла указывается применительно к среднему значению модуля (2,6—2,8) и содержанию влаги — 35% для покрытий, изготовляемых на прессах, и 45% для покрытий, наносимых окунанием.
2. Оценка количества покрытия на электроде дается по коэффициенту веса покрытия на основании паспорта или же пересчетом отношения веса покрытия к весу стержня.
3. Механические свойства и химический состав наплавленного металла и сварного соединения приводятся по паспортным данным или по результатам исследований рассматриваемых электродов в виде средних значений.
4. Технологическая оценка электродов приводится на основе паспорта или литературных и опытных данных и поэтому не является одинаково исчерпывающей для различных марок электродов.
5. Некоторые характеристики, особенно для аустенитных электродов, приведены в соответствии с имеющимися опубликованными материалами.
6. Характеристики наплавочных электродов приводятся в соответствии с паспортами и в ряде случаев касаются лишь основного назначения электродов, чем не исключается, однако, возможность применения этих электродов для других целей.
7. В приводимых рецептурах многих марок электродов указан ферросилиций марки Сп75, как это предусмотрено паспортом электрода. Опыт массового производства электродов с фтористокальциевым покрытием показал, что для обеспечения удовлетворительных технологических свойств обмазочной массы его необходимо заменять ферросилицием Сп45. При этом следует производить соответствующий пересчет количества ферросилиция в покрытиях пропорционально содержанию в нем кремния.
8. Составы покрытий приведены в весовых частях.
9. Технические условия на компоненты приведены в табл. 37—43 (стр. 63—69).

Электроды для сварки конструкционных сталей

Электроды со стабилизирующими покрытиями

В эту группу входят электроды типа Э-34 (ГОСТ 9467-60), покрытия которых имеют основным назначением стабилизацию процесса горения дуги. Механические свойства металла, наплавленного этими электродами, особенно его пластические свойства, имеют низкие значения. Область применения этой группы электродов непрерывно сокращается и ограничивается сваркой ответственных конструкций.

В табл. 15 приведены данные о составах и толщине покрытий некоторых марок электрода этой группы, в табл. 16 — химический состав наплавленного металла, в табл. 17 — механические свойства наплавленного металла и сварных соединений.

Технологическая характеристика

Электродами со стабилизирующим покрытием можно производить сварку на переменном и постоянном токе во всех пространственных положениях; рекомендуется — на короткой дуге. Электроды МТ и ВИАМ-25 применяются для сварки конструкций из металла толщиной до 2 мм.

Малое количество шлака, образующегося при сварке указанными электродами, облегчает сварку соединений с большими зазорами.

Электроды со стабилизирующим покрытием дают высокое содержание кислорода в наплавленном металле. Это их свойство не позволяет производить автоматическую сварку под флюсом, в защитных газах и ручную сварку электродами с фтористо-кальциевым покрытием по предварительной наплавке или прихватке, выполненной электродами указанной группы.

Производительность электродов этой группы характеризуется значениями коэффициентов наплавки, лежащими в пределах от 6 (меловые) до 9,5 г/а-ч (А-1, К-3).

Электроды с руднокислым и рутиловым покрытиями

В эту группу входят электроды, предназначенные главным образом для сварки конструкций из малоуглеродистых сталей и заварки углеродистого стального литья (сталь 30Л) и относящиеся по ГОСТу 9467-60 к типу Э-42 и Э-46. Указанные электроды широко применяются в промышленности и строительстве.

Механические свойства наплавленного металла имеют достаточно высокие значения.

В табл. 18 приведены данные о составах и толщине покрытий некоторых марок электродов рассматриваемой группы, а в табл. 19 и 20 — химический состав и средние механические свойства наплавленного металла.

Технологическая характеристика

Электродами с рудно-кислым и рутиловым покрытиями можно производить сварку на переменном и постоянном токе (рекомендуется перемещений), на несколько удлиненной дуге.

Электроды ЦМ-7, ЦМ-8, ОММ-5, ОММ-5Ц, МЭЗ-04 и ЦМ-9 позволяют производить сварку во всех пространственных положениях. Электроды ЦМ-7С и ЦМ-7СМ (для спокойных сталей) предназначены для скоростной сварки на повышенных режимах, в нижнем положении, методом опирания. Электроды ЦМ-9 (рутиловые) обеспечивают получение швов с гладкой мелкошероховатой поверхностью без подрезов. При сварке тавровых швов можно получить вогнутую и вершине шва поверхность. Шлаки удаляются легко. Сварку следует проводить на ограниченных режимах.

Электроды ОМА-2 (с преимущественной газовой защитой) относятся к типу Э-42 и предназначены для сварки конструкций из металла малой толщины.

15. Рецензура электродов со стабилизирующим покрытием

Компоненты покрытия		Марка электрода				
Условный № ТУ	Наименование	меловые	К-3	А-1	МТ*	ВИАМ-25
		Марка электродной проволоки по ГОСТу 2246-60				
		СВ-08				СВ-08А, СВ-18ХГСА, СВ-18ХМА
5	Мел	100	—	—	—	16
1	Титановый концентрат	—	58	86	62	—
4	Марганцевая руда	—	42	11	—	8
10	Полевой шпат	—	—	—	31	—
40	Селитра калиевая	—	—	3	—	—
41	Калий хромовокислый	—	—	—	7	—
37	Двуокись титана	—	—	—	—	46
—	Углекислый барий	—	—	—	—	30
35	Растворимое стекло **	35—40	35—40	30—35	30—35*	35—40
Количество покрытия	Коэффициент веса покрытия *** в %	2	3	6	4	4
	Среднее значение толщины слоя покрытия в мм при диаметре электрода в мм					
	2	—	—	—	0,2	0,08
	2,5	—	—	—	0,25	0,10
	3,0	0,15	0,2	0,2	0,35	0,15
	4,0	0,20	0,25	0,25	—	0,20
	5,0	0,25	0,35	0,35	—	—
	6,0	0,3	0,35	0,35	—	—

* Для сварки стали толщиной до 2 мм в покрытие электродов МТ вместо растворимого стекла вводится декстрин (ТУ-25) в количестве 30% к весу сухих продуктов.

** В % к весу сухих компонентов.

*** Среднее значение.

16. Средний химический состав металла, наплавленного электродами со стабилизирующими покрытиями

Марки электродов	Содержание элементов в %						
	C	Si	Mn	O ₂	N ₂	S	P
Меловые	0,03	Следы	0,18	0,2	0,16	≤ 0,05	≤ 0,05
A-1	0,04		0,15				
MT			0,2	0,33	—	—	≤ 0,045

17. Механические свойства наплавленного металла и сварных соединений, выполненных электродами со стабилизирующими покрытиями

Марка электрода	Свариваемый металл	Термическая обработка	Механические свойства			
			Временное сопротивление в кг/мм ²	Относительное удлинение в %	Угол загиба в град.	Ударная вязкость в кг·м/см ²
Меловые	Сталь Ст. 0—Ст. 3 $\delta = 1,5$ мм	Без термообработки	32—42	4—8	30—70	0,5—1,5
A-1						
ВИАМ-25 на проволокe Св-08А						
ВИАМ-25 на проволокe Св-18ХМА	Сталь 30ХМА $\delta = 2$ мм	Без термообработки	63—87	—	20—40	—
		Закалка с низким отпускem на прочность 120—140 кг/мм ²	99—114	—	11—17	—

19. Рецензента электродов с рудно-кислым и рутитовым покрытием

18. Рецептура электродов с рудово-нелем и рутиловым покрытиями														
Компоненты покрытия			Марка электрода											
Условный № ТУ	Наименование	Марка электродной проволоки по ГОСТу 2246-60												
		ОММ-5	ЦМ-7	МЭЗ-04	ЦМ-8	ЦМ-9	ЦМ-7СМ	ОММ-5Ц	ОМА-2					
		Св-08; Св-08А												
Количество покрытия	Содержание в %	1	Титановый концентрат	37	—	—	—	—	—	—	—	39	36,5	
		10	Полевой шпат	13	—	—	—	—	—	—	—	—	14	—
		4	Марганцевая руда	21	—	24,5	—	13	—	30	3	—	22	3,5
		3	Гематит	—	33	—	—	25	—	—	33	—	—	—
		8	Гранит	—	32	—	—	35	—	—	32	—	—	—
		2	Рутит	—	—	—	—	—	—	48	—	—	—	—
		12	Кварцевый песок	—	—	15	—	—	—	—	—	—	—	—
		—	Титано-магнетитовая руда	—	—	30	—	—	—	—	—	—	—	—
		40	Селитра калиевая	—	—	5	—	—	—	—	—	—	—	—
		7	Магнезит	—	—	—	—	—	—	5	—	—	—	2,0
		14	Ферромарганец среднеуглеродистый	20	30	21,5	—	22	—	15	27	20	—	—
		15	Ферромарганец углеродистый	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6,0
		16	Ферросилиций 45%-ный	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5,0
		24	Крахмал	9	5	4	—	5	—	—	5	—	—	—
		25	Декстрин	—	—	—	—	—	—	2	—	—	5	—
		26	Пеллолоза электродная	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	47,0
		—	Мука пищевая	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	25
		35	Растворимое стекло в % к весу сухой смеси	25	21,5	21,5	—	25	—	25	21,5	—	25	—
				Коэффициент веса в %	33—38	40—45	36—44	38—44	30—34	48—54	35—40	9—10		
		Количество покрытия	Средние значения толщины слоя покрытия в мм при диаметре электрода в мм	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,25
0,7	0,9			0,8	0,8	0,6	—	—	—	—	—	0,35		
1,0	1,1			1,1	1,1	1,0	—	—	—	—	—	—		
1,2	1,3			1,2	1,2	1,0	—	—	—	—	—	—		
1,3	1,4			1,3	1,3	—	—	—	—	—	—	—		
—	1,4	1,5	1,5	1,5	—	—	—	—	—	—	—			

Примечания: 1. Состав покрытия для электродов ЦМ-7С такой же, как для электродов ЦМ-7, но коэффициент веса его составляет 50—55%.

2. При изготовлении электродов методом опрессовки крахмал и пищевая мука могут быть заменены электродной целлюлозой.

Примечания: 1. Состав покрытия для электродов ЦМ-7, но коэффициент веса его составляет 50–55%. Покрытие электродов ЦМ-7 может быть заменено электролитной пастой ЦМ-7.

19. Химический состав металлов, наплавленного электродами с рудно-кислыми и рутиловыми покрытиями

Марка электрода	Содержание элементов, %					
	C	Si	Mn	O ₂	N ₂	S не более P не более
ОММ-5	<0,13	<0,15	0,6—0,9	0,044	0,012	
ОММ-5Ц						
ЦМ-7	<0,12	<0,10	0,6—0,8	0,035	—	
ЦМ-7СМ						
МЭЗ-04	<0,14	<0,1	0,5—0,85	—	—	0,05
ЦМ-3						
ЦМ-9	<0,12	0,15—0,3	0,45—0,75	—	—	
ОМА-2	<0,14	<0,15	0,2—0,4	—	—	
ОЗС-3	<0,13	0,1—0,2	0,5—0,8	—	—	0,04

20. Механические свойства металлов, наплавленного электродами с рудно-кислыми и рутиловыми покрытиями

Марка электрода	Свариваемый металл	Механические свойства *				Ударная вязкость в кГм/см ²
		Временное сопротивление в кГ/мм ²	Предел текучести в кГ/мм ²	Относительное удлинение в %	Относительное сжатие в %	
ОММ-5	Сталь Ст.3	49	35	22	58	10,6
ОММ-5Ц		50	38	23	60	10,4
ЦМ-7		48	36	25	—	10,6

* Средние значения.

Марка электродов	Свариваемый металл	Механические свойства *					Ударная вязкость в кГ·м/см ²
		Временное со- противление в кГ/мм ²	Предел текуче- сти в кГ/мм ²	Относительное удлинение в %	Относительное сжатие в %		
ЦМ-7СМ	Сталь Ст.3 спокойная	46	32	26	55	12,5	
МЭЗ-04				22		10,5	
ЦМ-8	Сталь Ст.3	49	40	24	60	11,0	
ЦМ-9		52	42	23	58		
ОЗС-3		47	35	24	60	13,0	

• Средние значения.

* Средние значения.

21. Характеристики пропальности электродов с рудно-кислыми и рутиловыми покрытиями при сварке на переменном токе

Показатели	Марка электрода					
	ЦМ-7	ОММ-5	МЭЗ-04	ЦМ-8	ЦМ-9	ЦМ-7С
Коэффициент наплавления в г/ч	10—11	7—9	8—9	40	9,5—10,5	11,0—12,5
Коэффициент потерь в %	40	15—25	15—25	8	7—10	5—10

ЦМ-7СМ и ОЗС-3 — с железным порошком; переход металла стержня в шов составляет 150—170%, поэтому коэффициент потерь имеет отрицательную величину.

Электроды ОЗС-3 высокопроизводительные, с большим количеством железного порошка в покрытии, предназначены для сварки протяженных швов в нижнем положении в конструкциях из малоуглеродистых и в отдельных случаях низколегированных сталей. Сварку рекомендуется производить на переменном токе большой величины (450 А при диаметре электрода 6 мм). Механические свойства металла, наплавленного указанными электродами, отвечают требованиям ГОСТа 9467-60 для типа Э-46.

Все электроды указанной группы малочувствительны к наличию окислы на свариваемых поверхностях.

Электроды, содержащие в покрытии доменный ферромарганец, более склонны к образованию трещин, особенно при сварке сталей с повышенным содержанием углерода.

Характеристики производительности электродов приведены в табл. 21.

Электроды с покрытиями фтористо-кальциевого типа

Эта группа охватывает широкую номенклатуру электродов, предназначенных для сварки конструкций из углеродистых и низколегированных сталей, а также для сварки ответственных конструкций из малоуглеродистых сталей, в тех случаях, когда к металлу швов предъявляются требования повышенной вязкости.

В табл. 22 приведены данные о составах покрытий основных марок электродов рассматриваемой группы, а в табл. 23—24 — химический состав и средние механические свойства наплавленного металла.

Технологическая характеристика

подавляющим большинством электродов указанной группы сварка производится на постоянном токе при обратной полярности (+ на электроде) на возможно более короткой дуге (опиранем). Электроды типа УП, СМ-11 и К-5 допускают сварку на переменном токе.

Наплавленный металл обладает высокой устойчивостью против образования горячих трещин.

При увлажнении покрытия, при сварке по окисленной и ржавой поверхности, удлинении и обрыве дуги, а также при сварке по металлу, наплавленному электродами со стабилизирующим покрытием, электроды с покрытием фтористо-кальциевого типа могут вызывать в наплавленном металле образование пор.

Возможна сварка во всех пространственных положениях. В потолочном положении рекомендуется применять электроды диаметром до 4 мм, вертикальном — до 5 мм включительно.

Производительность электродов определяется данными, приведенными в табл. 25.

Электроды УОНИ 13/45, ОЗС-2 и СМ-11 относятся к типу Э-42А по ГОСТу 9467-60 и применяются для сварки различных конструкций из малоуглеродистых, углеродистых и низколегированных сталей. Металл, наплавленный этими электродами, обладает высокими механическими свойствами (см. табл. 24).

Электроды УОНИ-13/55, ЦУ-1, У-340/55 относятся к типу Э-50А по ГОСТу 9467-60 и применяются для сварки различных конструкций из малоуглеродистых, углеродистых и низколегированных сталей в тех случаях, когда наплавленный металл должен иметь предел прочности $\geq 50 \text{ кг/мм}^2$ при высоких значениях ударной вязкости.

Электроды УОНИ-13/65, У-340/65, УОНИ-13/85 и У-340/105 относятся соответственно к типам Э-60 и Э-85 по ГОСТу 9467-60 и применяются для сварки конструкций из низколегированных сталей в тех случаях, когда к металлу швов предъявляются соответствующие требования по механическим свойствам (временное сопротивление $\geq 60 \text{ кг/мм}^2$ и $\geq 85 \text{ кг/мм}^2$).

22. Рецитура электродов с фтористо-кальциевым покрытием

Условный № ту	Наименование	Марка электрода							
		УОНИ-13/45	УОНИ-13/55	ЦУ-1	У-340/55	У-340/65	УОНИ-13/65	УОНИ-13/85	У-340/105
		Марка электродной проволоки по ГОСТу 2246-60							
		Св-08; Св-08А				Св-15		Св-08; Св-15	
51	Мрамор	53	54	47	56	54	51	54	49
9	Плавиковый шпат	18	15	25	20	18	15,5	15	15
12	Кварцевый песок	9	9	—	9	9	8	—	9
10	Полевой шпат	—	—	—	—	—	—	—	—
—	Ферросилиций 75%-ный	3	5	7	7	7	3	10	7
16	Ферросилиций 45%-ный	—	—	—	—	—	—	—	—
14	Ферромарганец среднеуглеродистый	2	5	8	8	12	7	7	20
13	Каолин	—	—	8	—	—	—	—	—
2	Рутил	—	—	—	—	—	—	—	—
17	Феррохром	—	—	—	—	—	—	5	—
20	Ферромolibден	—	—	—	—	—	—	—	—
27	Железный порошок	—	—	—	—	—	—	—	—
37	Двуокись титана	—	—	4	—	—	—	—	—
18	Ферротитан	15	12	—	—	—	15,5	9	—
30	Алюминиевый порошок	—	—	1	—	—	—	—	—
11	Слюдавая мука	—	—	—	—	—	—	—	—
4	Марганцевая руда	—	—	—	—	—	—	—	—
39	Поташ	—	—	—	—	—	—	—	—
26	Целлюлоза	—	—	—	—	—	—	—	—
35	Жидкое стекло (в % к сумме сухих компонентов)	30	30	33	30	30	32—36	32—36	35—40
Количество покрытия	Коэффициент веса в %	33—38	33—38	28—32	35—40	35—40	33—38	33—38	33—38
	Средняя толщина слоя покрытия в мм при диаметре электрода в мм								
	3	0,8	0,8	—	—	—	—	—	—
	4	1,9	1,1	1,0	—	—	—	—	—
	5	1,3	1,3	1,2	—	—	—	—	—
	6	—	—	—	—	—	—	—	—
	8	—	—	—	—	—	—	—	—

Продолжение табл. 22

Условный № ту	Компоненты покрытия	Марка электрода						
		ЦЛ-18	ЦЛ-18Мо	ЦЛ-19	ОЗС-2	СМ-11	УОНИ 13/55А	К-5
		Марка электродной проволоки по ГОСТу 2246-60						
		Св-18ХГСА	Св-18ХММА	Св-08; Св-08А				
5	Мрамор	50	50	50	44	28,5	49	51
9	Плавиковый шпат	30	30	30	21	20,4	16	26
12	Кварцевый песок	—	—	—	2	—	—	6
10	Полевой шпат . .	4	2	—	—	—	—	10
—	Ферросилиций	—	—	—	—	—	—	—
15	75%-ный	—	—	2	—	—	—	—
14	Ферросилиций	—	—	—	15	7,9	7	—
13	45%-ный	—	—	—	—	—	—	—
14	Ферромарганец	—	—	—	—	—	—	—
13	среднеуглероди-	—	—	—	—	—	—	—
13	стый	5	5	7	—	3,5	8,5	7
12	Каолин	8	8	8	—	—	—	—
17	Рутил	—	—	—	6	—	—	—
20	Феррохром	12	2	12	—	—	—	—
27	Ферромolibден . .	—	—	—	—	—	—	—
37	Железный поро-	—	—	—	—	33	—	—
18	шок	—	—	—	—	3,5	—	—
30	Двуокись титана	—	—	—	—	—	11	—
11	Ферротитан	—	—	—	—	—	—	—
4	Алюминиевый по-	—	—	—	—	—	—	—
39	рошок	1	1	1	—	—	—	—
26	Слодяная мука	—	—	—	3	—	5	—
35	Марганцевая руда	—	—	—	9	—	—	—
—	Поташ	—	—	—	—	1,2	2,5	—
—	Целлюлоза	—	—	—	—	—	—	—
—	Жидкое стекло (в	—	—	—	—	—	—	—
—	% к сумме сухих	—	—	—	—	—	—	—
—	компонентов)	30	30	30	30	25*	25	30
Количество покрытия	Коэффициент ве- са в %	28—32	28—32	28—32	35—40	36—42	35—40	32—35
—	Средняя толщина слоя покрытия в мм при диа- метре электрода в мм	—	—	—	0,75	—	0,75—0,85	0,9
3	—	—	—	—	—	—	—	—
4	—	1,0	1,0	1,0	1,00	1,0—1,1	1,0—1,1	1,1
5	—	1,2	1,2	1,2	1,20	1,1—1,2	1,25—1,35	1,2
6	—	—	—	—	—	—	1,5—1,65	1,4
8	—	—	—	—	—	—	—	—

* По ТУ36.

23. Химический состав металла, наплавленного электродами с фтористо-кальциевым покрытием

Марка электрода	Содержание элементов в %						
	C	Si	Mn	Cr	Mo	S	P
	не более						
УОНИ-13/45	0,10—0,12	0,15—0,25	0,50—0,65	—	—	—	—
УОНИ-13/55	0,10—0,13	0,25—0,35	0,70—0,85	—	—	—	—
ЦУ-1	0,08—0,13	0,25—0,40	0,8—1,2	—	—	—	—
У-340/55	0,10	0,25—0,40	0,80—1,1	—	—	—	—
У-340/65	0,13	0,3—0,50	1,00—1,2	—	—	—	—
УОНИ-13/65	0,12	0,20—0,60	0,80—1,1	—	—	—	—
УОНИ-13/85	0,13	0,50—0,7	1,0—1,3	—	—	—	—
У-340/105	0,16—0,19	0,55—0,75	2,75—3,50	—	—	—	—
ЦЛ-18	0,15—0,22	0,30—0,50	1,0—1,2	0,8—1,1	—	—	—
ЦЛ-18Мо	—	—	—	—	0,2—0,3	—	—
ЦЛ-19	—	0,15—0,25	0,9—1,2	—	0,15—0,25	—	—
УОНИ-13/55А	0,12	0,3—0,5	1,0—1,2	—	—	—	—
СМ-11	0,09	0,48—0,3	0,5—0,8	—	—	—	—
ОЗС-2	0,06—0,08	0,3—0,5	0,7—0,9	—	—	—	—
УП-1/45	0,08—0,12	0,15—0,35	0,6—0,8	—	—	—	—
УП-2/45	—	—	—	—	—	—	—
НИ-3М	0,12—0,15	0,3—0,4	1,2—1,5	0,7—0,9	—	—	—
НИ-3	0,20—0,25	0,5—0,7	1,4—1,6	1,4—1,6	0,3—0,5	—	—

Тип электродов по ГОСТу 9467-60	Марка электрода	Термическая обработка	Механические свойства				Ударная вязкость по КДМ/СМ2
			Временное сопротивление в кг/мм2	Прочность на разрыв в кг/мм2	Относительное удлинение в %	Относительное сжатие в %	
Э-42А Э-42А Э-42А Э-42А Э-50А Э-50А Э-50А Э-55А Э-60 Э-60 Э-85 Э-85	УОНИ-13/45 СМ-11 ОЗС-2 УП-1/45 УП-2/45 УОНИ-13/55 ЦУ-4 У-340/55 К-5 УОНИ-13/55А У-340/65 УОНИ-13/65 УОНИ-13/85 У-340/105	Без термообработки	44—47 45—50 47—50 43—46 42—48 50—55 50—55 53—56 50—55 55—60 53—58 60—65 85—90 90—105	28—32 28—32 30—34 33—36 33—38 34—38 33—40 34—38 30—35 34—36 42—48 45—50 50—55 —	25—28 23—28 22—30 24—30 24—32 23—28 25—30 25—30 20—26 20—25 23—28 20—25 16—20 6—15	70—75 — — — — 70—75 70—75 68—74 — — — 65—70 60—70 50—60 —	18—25 17—25 16—22 18—25 17—27 18—25 18—28 18—24 12—15 12—16 15—17 16—23 6—10 1,5—5,0
Э-85 Э-85	ЦЛ-18 ЦЛ-18Мо	Закалка при 880° и отпуск при 520	85—100 90—100	73—78 80—90	12—14 12—14	52—60 50—58	7—10 6
Э-100	ЦЛ-19	Закалка при 880° в масле, отпуск 520, охлаждение в масле	104—108	101	12—14	45—50	5—8

Тип электродов по ГОСТу 9467-60	Марка электрода	Термическая обработка	Механические свойства					Ударная вязкость в $\kappa\Gamma/см^2$
			Временное сопротивление в $\kappa\Gamma/мм^2$	Предел текучести в $\kappa\Gamma/мм^2$	Относительное удлинение в %	Относительное сужение в %		
Э-125 Э-145	НИ-ЭМ НИ-З	Закалка с отпуском	125—140 145—160	110—120 125—140	10—13 8—12	40—55 30—50	8—12 5—9	

из Увеличение производительности электродов с фтористо-кальциевым покрытием*

	УОНИ-13/45	ПУ-1	У-340/55	ОЗС-2	Н-5	СМ-11	УОНИ-13/85	У-340/105	ЦП-18	ЦП-19	НИ-3М	НИ-3
Коэффициент нагрузки в e/a-ч	8—9,5	10,4	8,5	9,5—10	8,0	10	8,5	8,0	8,5	9,0	10,0	10,0
Коэффициент потерь в %	10—15	5—10	13—18	1—4	12—18	1—4	10—12	15	10—13	8—12	—	—

• Средние значения.

• Средние значения.

Электроды ЦЛ-20 относятся к типу Э-ХМФ и предназначены для сварки во всех пространственных положениях конструкций из хромомолибденовых сталей 12Х1МФ, 20ХМФ-Л и 20ХМФ и других, длительно работающих при температуре до 540°. Сварку производят на постоянном токе при обратной полярности на возможно более короткой дуге. При сварке

Компоненты покрытия		Марка электрода																			
Услов- ный № ТУ	Наименование	ПУ-6		ПУ-2М		ПУ-14		ПУ-2ХМ		ПУ-20		ПУ-27		ПУ-26		ПУ-1-26М		ПУ-17		ПУ-30	
		А	Б	А	Б	А	Б	А	Б	А	Б	А	Б	А	Б	А	Б	А	Б		
Марка электродной проволоки по ГОСТу 2246-60																					
		Св-08А																			
		Св-08ХМФ																			
		Св-08 ХМФБ																			
		Св-08А																			
		Св-08Х2МФБ																			
3	Гематит	34,0	—	30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8	Гранит	30,0	—	29	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	Мрамор	—	50	—	49	43	45	40,5	46,0	45	45	44	52	45	28	23,5	44	52	45	28	45
9	Плавиковый шпат	—	25	—	22	23,5	28,0	22,0	28,0	28,0	24	28	20,0	20,0	20,0	23,5	44	52	45	28	45
12	Песок кварцевый	—	8	—	8	7	8	4	4	4	7	8	8	8	8	—	—	—	—	—	—
14	Ферромарганец (средне-углеродистый)	28	7	26	7	5	4	4	4	4	3,5	4,0	4	4	4	2	2	4	4	4	6
—	Ферросилиций 75%-ный	—	5	—	4	4	2	4	2	2	2	2	1	1	1	4	—	—	—	—	1
—	Феррохром среднеугле-родистый	—	—	3	6	7	—	7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20	Ферромolibден	3	4	3,5	3	3	—	5	—	—	3	—	—	—	—	4	4	—	—	—	—

Примечание. Вследствие трудности размота среднеуглеродистого феррохрома рекомендуется заменить его металлургическим (ТУ-31) с соответствующим пересчетом по содержанию хрома.

97. Химический состав металла, наплавленного электродами для сварки теплоустойчивых перлитных сталей

Содержание элементов в %									
Марка электроды	C	Si	Mn	Mo	Cr	V	Nb	S	P
								не более	
ЦУ-6	0,12	0,20	0,45 — 0,65	0,4 — 0,6	—	—	—	0,05	0,05
ЦУ-2М									
ЦУ-2ХМ		0,15 — 0,35							
ЦУ-14		0,40	0,7 — 1,0	0,4 — 0,6	0,7 — 1,0	—	—	0,04	0,04
ЦУ-20	0,8 — 0,12	0,15 — 0,35	0,6 — 0,9	0,4 — 0,6	0,3 — 0,5	—	—	0,05	0,05
ЦУ-27									
ЦУ-26									
ЦУ-26М									
ЦУ-17	0,13	0,20 — 0,30	0,50 — 0,70	0,4 — 0,6	4,5 — 5,0	0,4 — 0,2	—	0,04	0,04
ЦУ-30	0,12	0,15 — 0,35	1,0 — 1,5	0,4 — 0,6	0,9 — 1,3	—	—		

Марка электрода	Термическая обработка	Температура испытания в град.	Временное сопротивление в кг/мм ²	Предел текучести в кг/мм ²	Относительное удлинение в %	Относительное сужение в %	Ударная вязкость в кг/мм ²	Предел для прочности за 100000 час. условного испытания в кг/мм ²
ЦЛ-6	Без термообработки	20	54	37	22	51	10,0	—
	Отпуск при 680°	520	51	32	21	56	4,5	—
ЦУ-2М	Отпуск при 680°	520	48	26	21	56	15,0	7,6
ЦЛ-14	Без термообработки	520	60	38	19	55	15,0	—
	Отпуск при 680°	520	50	28	20	57	10,0	7,6
ЦУ-2ХМ	Без термообработки	520	50	47	16	44	8,0	—
	Отпуск при 700°	520	40	38	25	69	14,0	8,2
ЦЛ-20	Отпуск при 700—730°; выдержка 3 часа	520	62	48	20	66	15,0	—
ЦЛ-27	Отпуск при 720—750°; выдержка 5 час.	520	53	35	25	73	20,0	10,6
ЦЛ-26	Отпуск при 780°; выдержка 5 час.	520	50	30	22	71	11,5	—
ЦЛ-26М	Отпуск при 740°; выдержка 5 час.	540	50	38	16	60	10,0	11,0
ЦЛ-17	Отпуск при 760°; выдержка 3 часа	570	58	40	14	50	6,0	—
ЦЛ-30	Отпуск при 640—630°	570	38	35	16	45	7,0	9,5
		20	55	45	14	60	8,0	11,0
		20	35	45	14	45	7,0	—
		450	55	44	26	76	22,0	—
		20	46	38	16	64	25,0	—
		20	65	50	18	50	15,0	—

* Средние значения.

необходимо применять предварительный и сопутствующий подогрев до 250—300°. В качестве термической обработки сварных соединений рекомендуется высокий отпуск при температуре 700—740°. Две модификации электродов ЦЛ-20: ЦЛ-20А и ЦЛ-20Б различаются методами введения легирующих элементов, обеспечивая при этом одинаковые свойства наплавленного металла.

Электроды ЦЛ-27 относятся к типу Э-ХМФБ и предназначены для сварки во всех пространственных положениях конструкций из хромомолибденованадиевых сталей 15Х1М1Ф-Л, 12Х1М1Ф и 15Х1М1Ф и других, длительно работающих при температуре до 570°. Сварку производят на постоянном токе при обратной полярности на возможно более короткой дуге. В качестве термической обработки сварных соединений рекомендуется высокий отпуск при температуре 720—750°. При сварке необходим предварительный и сопутствующий подогрев до 280—330°. Для жестких соединений большой толщины рекомендуется термическую обработку производить до остывания подогретого изделия или выдерживать его в течение нескольких часов при температуре, несколько более высокой, чем температура подогрева, с дальнейшим медленным остыванием. Две модификации электродов ЦЛ-27: ЦЛ-27А и ЦЛ-27Б, различающиеся методами введения легирующих элементов, обеспечивают одинаковые свойства наплавленного металла.

Электроды ЦЛ-26 относятся к типу Э-Х2МФБ и предназначены для сварки во всех пространственных положениях конструкций из хромомолибденованадиевых и хромомолибденованадионикобиевых сталей с содержанием хрома около 2% (ЭИ-531, ЭИ-415, 12Х2МФБ и т. д.), длительно работающих при температуре 580—600°. Сварку производят на постоянном токе при обратной полярности на возможно более короткой дуге. При сварке необходим предварительный и сопутствующий подогрев до температуры 300—350°. В качестве термической обработки рекомендуется высокий отпуск при температуре 740—790°. В случае сварки жестких соединений большой толщины рекомендуется производить термическую обработку до остывания подогретого изделия или же выдерживать сварное соединение в течение нескольких часов при температуре, несколько выше температуры подогрева, с последующим медленным охлаждением. Две модификации электродов ЦЛ-26: ЦЛ-26А и ЦЛ-26Б, различающиеся методом введения легирующих элементов, обеспечивают одинаковые свойства наплавленного металла.

Электроды ЦЛ-26М относятся к тому же типу, что и электроды ЦЛ-26; вследствие высокой стабильности горения дуги рекомендуются для сварки тонкостенных изделий из всех теплоустойчивых перлитных сталей во всех пространственных положениях. Особенно следует их применять для монтажной сварки труб пароперегревателей, принимая диаметр электрода не более 2,5 мм.

В качестве термической обработки рекомендуется высокий отпуск при температуре 740—760°.

Электроды ЦЛ-17 относятся к типу Э-Х5МФ, предназначенные для сварки во всех пространственных положениях конструкций из сталей 15Х5МФА, Х5М и им подобных, работающих при повышенных температурах (до 450°) и давлениях в условиях воздействия продуктов крекинга сернистой нефти и водорода. Сварка производится на постоянном токе при обратной полярности на возможно более короткой дуге. При сварке необходим предварительный и сопутствующий подогрев до температуры 300—450°.

В качестве термической обработки рекомендуется высокий отпуск при температуре 740—780°.

Электроды ЦЛ-30 относятся к типу Э-ХМ и предназначены для сварки конструкций из хромомолибденовых сталей 30ХМ, 34ХМ и т. д. в случае повышенных требований к прочностным характеристикам металла швов (сварка роторов цилиндров низкого давления, мощных турбин и т. п.). Сварка производится на постоянном токе при обратной полярности на возможно более короткой дуге. Температура предварительного и сопутствующего подогрева выбирается в соответствии с жесткостью свариваемой конструкции в диапазоне от 250 до 350°.

В качестве термической обработки рекомендуется высокий отпуск при температуре 620—640°.

При выборе марки электродов рассматриваемой группы необходимо учитывать состав свариваемой стали, конструкции сварного соединения, необходимость и вид термической обработки или технологического высокотемпературного нагрева, требования к прочностным (кратковременным и длительным)

39. Рецензура электродов для сварки высокочастотными переносными			Марка электрода				
Компоненты покрытия			УОНИ-13/Х13	НЗЛ/Х13	НЗЛ/Х17	НЗЛ/Х30	ЦЛ-10
Наименование			Электродная проволока				
Условный № ТУ	Содержание в %	Наименование	Св-10Х13 по ГОСТ 2246-60	Св-10Х17Т по ГОСТ 2246-60	Стержень: ≤ 0,12% С; 0,5% Si; 0,5% Mn; 28-30% Cr; ≤ 0,03% P; ≤ 0,03% S	Проволока: 0,8% С; ≤ 0,7% Mn; ≤ 0,5% Si; 16-18% Cr; ≤ 0,03% P; ≤ 0,03% S	
5	Мрамор Плавленый шпат Ферромарганец Ферросилиций Ферротитан Алюминий Ферроалюминий Двуокись титана Жидкое стекло в % к весу сухих компонентов	57,0	45,0	33,0	25,0	38,0	
9		34,0	25,0	27,0	35,0	47,0	
14		2,5	5,0	—	—	4	
16		4,0	5,0	27,0	20,0	—	
18		2,5	20,0	13,0	20,0	5	
30		—	—	—	—	—	
37		—	—	—	—	4,0	
35	30	30-35	30-35	30-35	30-35	30	
Количество покрытия	Коэффициент веса в %	32-35	30-35	20-24	30-35	42-46	
Примечание. Паспорта электродов ЦЛ-32 можно получить в ЦНИИТМАШе, а КТИ-9 и КТИ-10 — в ЦКТИ.							

Марка электрода	Содержание элементов в %										Другие элементы	S	P	не более
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo								
УОНИ-13/Х13 НЗЛ/Х13	0,10	0,35	0,4	11,0—13,0	—	—	0,035							0,035
НЗЛ/Х17	0,12	0,4	0,5	15,0—17,0	—	—	0,035							0,035
НЗЛ/Х30	0,07	0,50	0,22	31,5	0,25	—	0,035							0,035
ЦЛ-10	0,08	0,3—0,5	0,40—0,80	14,0—16,0	0,25	—	0,035							0,035
ЦЛ-32	0,12—0,16	0,30	0,3—0,6	10,0—12,0	0,8—1,1	0,9—1,2	0,035							0,035
КТИ-9	0,09—0,13	0,3—0,7	0,5—1,0	9,5—11,5	0,6—0,9	0,6—0,9	0,035							0,035
КТИ-10							0,035							0,035

81. Механические свойства металла, наплавленного электродами для сварки высокопрочных нержавеющих и жаропрочных сталей *

Марка электрода	Термическая обработка	Температура испытаний в град.	Механические свойства					Ударная вязкость в кДж/см ²
			Временное сопротивление в кДж/мм ²	Предел текучести в кДж/мм ²	Относительное удлинение в %	Относительное сужение в %		
НЗЛ/Х13	Без термообработки	20	76—78	—	2—3	—	—	
	Отпуск при 700°			10—17				
НЗЛ/Х30	Без термообработки	20	55—58	—	Пластичность низкая; несколько улучшается после нагрева до 800° с последующим медленным охлаждением		несколько до 800°	
	Отпуск при 650°							
ЦЛ-10	Без термообработки	20	72	64	Хрупкий излом		6	
	Отпуск при 650°		65	46	18	48	8	
ЦЛ-32	Отпуск при 730°, выдержка 7 час.	20	75	60	12	40	4	
		600	40	35	18	50	10	
КТИ-9	Отпуск при 720°, выдержка 5 час.	20	81—84	68—70	16—22	57—60	11—12	
			85—87	72—73	15—16	57—60	7—9	

• Средние значения.

* Средние значения.

характеристикам металла шва, рабочую температуру, характеристику рабочей среды и т. п.

Многообразие требований к свойствам металла, наплавленного электродами для сварки аустенитных сталей, в зависимости от условий работы учитывается паспортами. Содержание паспорта на электроды устанавливается ГОСТом 9466-60 «Электроды металлические (плавящиеся) для электродуговой сварки и наплавки. Общие требования». Большинство применяемых в настоящее время аустенитных электродов обеспечивает образование в наплавленном металле двухфазной структуры, создающей устойчивость против возникновения горячих (кристаллизационных) трещин.

Наиболее распространенными являются электроды, создающие в наплавленном металле некоторое количество ферритной составляющей.

Значительное содержание ферритной фазы при последующем нагреве наплавленного металла до 350—850° способно вызывать его охрупчивание (повышение предела прочности, снижение пластических свойств и ударной вязкости). Интенсивность охрупчивания определяется химическим составом наплавленного металла, количеством ферритной фазы, температурой нагрева и длительностью выдержки.

Содержание феррита до 5% не вызывает резкого охрупчивания наплавленного металла даже в условиях длительной работы при температурах до 650—700°. Высокотемпературный нагрев (аустенизация при 1000—1450°) наплавленного металла с таким содержанием феррита оказывает весьма благоприятное влияние на его свойства, так, например, ударная вязкость и пластические свойства наплавленного металла, подвергнутого длительному старению при температурах от 500 до 700° после аустенизации, значительно выше, чем без нее.

При содержании феррита 20—25% и выше наплавленный металл резко охрупчивается уже при нагреве до 350°.

Поэтому необходимо жестко ограничивать содержание феррита в металле, наплавленном аустенитно-ферритными электродами и предназначенном для работы при температурах выше 500°. Нижний предел обусловлен необходимостью борьбы с горячими трещинами в процессе сварки, а верхний — возможным изменением механических свойств (охрупчиванием).

Для работы при обычных температурах количество феррита в наплавленном металле может быть увеличено, но с известным ограничением, так как некоторые технологические операции, связанные с нагревом, и даже термическое воздействие при многопроходной сварке электродами с большим количеством феррита вызывает значительное падение пластических свойств металла шва. Однако во многих случаях сварки тонкостенных изделий возможно применение электродов, дающих в наплавленном металле большое количество феррита.

Количество ферритной фазы в наплавленном металле определяется двумя методами — магнитными приборами (ферритометрами), тарированными по эталонам с определенным содержанием феррита, и металлографическим методом. Первый метод дает более правильные результаты, поэтому его применение обязательно при определении узкого интервала содержания феррита (1,5—5%). В таких случаях следует пользоваться объемными ферритометрами, которые показывают среднее содержание феррита в испытуемом образце.

Для более широких пределов содержания феррита в случае отсутствия ферритометров допускается применение металлографического метода.

Некоторые электроды создают вторую фазу за счет карбидной эвтектики (КТН-7; АЖ-13-15). Имеются электроды со значительным содержанием молибдена, также создающего в определенных условиях устойчивость против образования горячих трещин (электроды ЦТ-10, НИ-5).

Удовлетворение требований к наплавленному металлу по устойчивости против межкристаллитной коррозии наиболее полно осуществляется введением в его состав сильных карбидообразующих элементов и, в первую очередь, ниобия (электроды ЦТ-11, ЦТ-15, ОЗЛ-7 и т. п.) в количестве $Nb \geq 8C$, где C — содержание углерода в наплавленном металле. Однако во многих случаях для этой цели с соответствующими ограничениями могут быть применены электроды с ферритной фазой (без ниобия).

Оценка устойчивости наплавленного металла против межкристаллитной коррозии производится по ГОСТу 6032-58.

Для получения требуемого количества второй фазы в наплавленном металле необходимо при изготовлении электродов регулировать содержание элементов, определяющих эту фазу, в зависимости от их концентрации в проволоке. Это достигается применением так называемых «скользящих» рецептур покрытия, предусматривающих введение соответствующих элементов в количествах, обусловленных составом проволоки. Состав проволоки уточняется химическим анализом.

При изготовлении электродов необходимо пользоваться, в основном, паспортом, составленным организацией, предложившей ту или иную марку электрода.

Из сказанного следует, что при пользовании приводимыми ниже материалами по некоторым маркам электродов для сварки аустенитных сталей следует учитывать конкретную технологию изготовления сварной конструкции, для которой выбираются электроды.

По условиям работы сварных конструкций электроды могут быть ориентировочно классифицированы следующим образом.

1. Электроды для конструкций, работающих в слабоагрессивных средах при нормальных температурах. Требование устойчивости против межкристаллитной коррозии отсутствует.

2. То же, но при высоких температурах для двух случаев: а) при наличии требований только к окалиностойкости и б) при наличии требований к длительной прочности.

3. Для конструкций, работающих в агрессивных средах при нормальных температурах. Требуется устойчивость против межкристаллитной коррозии.

4. То же, при высоких температурах для двух случаев: а) при наличии требований к окалиностойкости и б) при наличии требований к длительной прочности.

5. Для конструкций, работающих при весьма низких температурах (ниже —160°).

6. Для конструкций, подвергающихся воздействию специальных сред: водорода под высоким давлением, сероводорода, продуктов разложения некоторых видов нефти и т. п.

В табл. 32—34 приведены рецептурные данные электродов, применяемых для сварки аустенитных сталей, химический состав и механические свойства наплавленного металла. Следует отметить, что многие марки электродов дублируют друг друга и являются взаимозаменяемыми. Однако как справочный материал приведенные данные могут оказаться полезными.

Технологическая характеристика

Сварка электродами рассматриваемой группы производится на постоянном токе при обратной полярности (+ на электроде) на возможно более короткой дуге. Рекомендуемый диапазон режимов сварочного тока.

Диаметр электродов в мм	Сварочный ток в а
2	30—50
2,5	40—80
3	50—100
4	110—150
5	150—180

Рекомендуется проводить сварку валиками небольшого сечения с минимальным проплавлением свариваемых кромок. Перегрев сварного соединения за счет интенсификации процесса сварки на ограниченном участке не допускается.

Кратеры следует заполнять без резких отрывов электрода частыми короткими замыканиями. Не рекомендуется выводить кратер на свариваемый металл.

Электроды типа ЦЛ-2, ЦЛ-3, УОНИ-13/НЖ, ЭНТУ-3 и ОЗЛ-8 предназначены для сварки конструкций из стали типов 1Х18Н9 и 1Х18Н9Т, работаю-

82. Рецептура электродов для сварки аустенитных сталей

Компоненты покрытия		Марка электрода														
Условный № TV	Наименование	ЦТ-2М	ЦТ-2АТ	ЦТ-3М	УОНИ-13/НЖ	ЭНТ-3	ЦТ-1	ЦТ-11	ЦТ-7	ЦТ-17	ЦТ-13	ЦТ-15	КТИ-5	ЦТ-9	ЦТ-8	
		Св-04Х19Н9	Св-06Х19Н9Т	Св-04Х19Н9	Св-08Х19Н10Б	Св-04Х19Н1М3	Св-10Х20Н15	ЭИ-662 (ЧМТВ 3498-53)	Св-08Х19Н10Б	Св-04Х19Н1М3	Св-07Х25Н13	Св-13Н25Н18				
5	Мрамор	44	44	44	57	42	27,0	36,0	26,0	25,0	26,5/30,5	38-33	26-34	34,0	38,5	
9	Плавиковый шпат	43	43	43	34	39	30	35-46	Остальное	44-57	47-51	Остальное	38-52	39,5	44,0	
16	Ферросилиций 45%-ный	5	5	5	4,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
14	Ферромарганец	—	—	—	2,5	2,5	6	4,0	8-12	2,5	7	3-6	10-12	8	8	
18	Ферросилиций 75%-ный	—	—	—	4	—	—	—	—	4-5	—	—	—	2	2	
20	Ферротитан	—	—	—	2,5	5,5	20	3,0	—	—	—	3	—	3	3	
21	Ферромolibден	—	—	—	—	—	13	—	1-4	—	—	—	—	—	—	
21	Феррованадий	—	—	—	—	—	4	—	5-7	—	4,5	—	4	—	—	
31	Хром металлический	—	—	—	—	—	—	3-14	6-15	6-19	7-15	0-15	0-18	—	—	
22	Марганец металлический	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
30	Алюминий	—	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
37	Другие металлы	—	—	—	—	6,3	—	5,0	6,0	5,0	—	5,0	—	4,5	4,5	
11	Слюда	5	5	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
28	Молибден	3	3	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
19	Ферроникобий	—	—	—	—	—	—	3,0	—	—	—	0-3	—	9-0	—	
—	Графит сербистый	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
35	Жидкое стекло в % к весу сухих компонентов	30	30	30	30	30	30	30	25	30	30	25	30	30	30	
Кол-во по-крытия	Коэффициент веса покрытия в %	34-38	34-38	34-38	34-38	34-38	42-46	29-34	46-54	47-53	47-53	32-36	33-38	44-47	44-47	

Продолжение табл. 82

Компоненты покрытия		Марка электрода												
Условный № TV	Наименование	ЦТ-10	ОЗТ-9	ОЗТ-4	ОЗТ-6	ОЗТ-8	ОЗТ-7	ЦТ-4	ЗИО-3	ПЗМ	ОЗТ-5	КТИ-7	НЖ-13	ЦТ-10
		Марка электродной проволоки по ГОСТу 2246-60												
		Св-10Х16Н25М6	Св-13Х25Н18	Св-10Х20Н15	Св-07Х25Н13	Св-04Х19Н9	Св-04Х19Н9	Св-08Х19Н10Б	Св-08Х19Н9Б	Св-10Х20Н15	Св-30Х15Н3БВБТ3	Св-04Х19Н1М3	Св-04Х19Н9	
		Св-04Х19Н9	Св-08Х19Н10Б	Св-08Х19Н9Б	Св-10Х20Н15	Св-30Х15Н3БВБТ3	Св-04Х19Н1М3	Св-04Х19Н9						
5	Мрамор	30	30	36	42	41	41	44	57	42	33	45	50	38
9	Плавиковый шпат	58,5	35	36	41	42	41	36	34	39	32	49	34	35
16	Ферросилиций 45%-ный	—	—	—	—	5	—	—	2	10	12	—	—	—
14	Ферромарганец	5	—	5	7	—	3	8	4	5	5	—	—	5
—	Ферросилиций 75%-ный	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6	10
18	Ферротитан	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20	Ферромolibден	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
21	Феррованадий	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
31	Хром металлический	—	—	21	8	8	5	—	—	—	16	—	—	—
29	Марганец металлический	—	25	—	—	—	—	—	—	—	—	6	2	—
30	Алюминий	—	2	2	—	2	2	—	3	—	2	—	—	—
37	Двуокись титана	6,0	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11	Слюда	—	2	2	2	2	2	—	—	—	—	—	—	—
28	Молибден	—	—	—	—	—	—	15	—	—	—	—	—	—
19	Ферроникобий	—	—	—	—	—	8	—	—	4	—	—	8	12
—	Графит сербистый	0,5	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
35	Жидкое стекло в % к весу сухих компонентов	30	26	26	26	26	26	30	30	30	26	30	30	30-32
Кол-во по-крытия	Коэффициент веса покрытия в %	37-43	35-39	35-39	35-39	33-37	35-39	36-40	35-40	33-37	35-39	32-37	32-36	30-32

33. Химический состав металла, наплавленного электродами для сварки аустенитных сталей

Марка электрода	Содержание элементов в %							
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Другие элементы	S
								не более
ЦЛ-2М	0,08	1,0	1,0—2,2	17—20	8—10	—	—	0,025
ЦЛ-2АЛ								
ЦЛ-3М								
УОНИ-13/НЖ	0,10	1,0	1,0—2,2	17—20	8—10	—	—	0,025
ЭНТУ-3								
ЦТ-1								
ЦЛ-11	0,12—0,20	0,4	2,2—3,0	15,3—17,3	7,0—9,0	2,0—3,2	0,4—0,6 V	0,035
ЦЛ-11	0,13							
ЦТ-7	0,07—0,13							
ЦТ-15	0,06—0,11	0,15—0,55	1,50—2,10	17,5—22,3	10,5—13,5	2,10—2,70	0,65—1,0 V	0,030
ЦТ-13	0,08—0,13	0,3	2,1—2,8	17,8—20,2	8,90—10,90	—	0,65—0,95 Nb	0,035
КТИ-5	0,08—0,15	0,4	2,8—4,0	17,7—21,3	10,8—13,0	1,6—2,2	0,35—0,6 V	0,030
ЦЛ-9	0,12	0,4—1,3	1,0—2,0	19,0—23,0	9,6—13,5	1,8—2,7	0,35—0,5 V	0,030
ЦЛ-8		0,4—0,6	1,2—1,8	21,5—25,0	10,0—12,5	—	0,75—0,85 Nb	0,035
ЦТ-10		0,4—0,6	1,2—1,8	21,5—25,0	18,0—21,0	—	—	—
ЦТ-17	0,05—0,12	0,15—0,50	1,0—2,5	13,5—17,0	23,5—26,5	4,7—6,7	—	0,020
ОЗЛ-9	0,15—0,25	0,9—1,3	0,9—1,8	(1,73—1,83). Ni*	14,0—16,0	—	—	0,025
ОЗЛ-4	0,12	≤ 0,5	5,0—7,0	23—26	16—19	—	—	0,035
ОЗЛ-6	0,10	0,3—0,7	1,2	24—27,0	12,0—15,0	—	—	0,020
ОЗЛ-8	0,06—0,10	0,5—0,9	1,0—1,4	19,0—24,0	8,0—9,5	—	—	0,035
ЦЛ-4	0,10	0,3—0,8	1,2—2,2	17,5—19,5	8,0—10,0	2,0—2,7	—	0,030
ОЗЛ-7	≤ 0,10	0,7—1,0	1,0—2,0	17,5—22,0	8,0—11,0	—	0,75—1,0 Nb	0,035
ОЗЛ-5	≤ 0,14	1,5—2,0	≤ 2,0	22—25	13,0—15,0	—	—	0,035
КТИ-7	0,25—0,32	≤ 0,4	1,5—2,5	14—16	34—36	—	1,9—2,3 Nb 2,5—3,0 W	0,015

* Содержание хрома равняется содержанию никеля, умноженному на коэффициент (1,7—1,83)

34. Механические свойства металла, наплавленного электродами для сварки аустенитных сталей

Марка электрода	Термическая обработка	Механические свойства				
		Временное сопротивление в кг/мм ²	Предел текучести в кг/мм ²	Относительное удлинение в %	Относительное сужение в %	Ударная вязкость в кг·м/см ²
ЦЛ-2М	Без термообработки	50—55	—	—	—	—
ЦЛ-2АЛ		50—55	—	30—45	—	12—15
ЦЛ-3М		50—60	—			
УОНИ-13/НЖ		60—70	30—40	35—40	—	8—10
ЭНТУ-3		55—66	27—29	32—45	—	12—20
ЦТ-1		≥65	35	43	≥28	≥6
ЦЛ-11		63	36		60	11
ЦТ-7	Стабилизация при 800° с выдержкой 10 час.	≥56	≥28	≥20	—	≥5
ЦТ-15	Стабилизация при 750° с выдержкой 10 час.	≥60	≥32	≥24	—	≥4
ЦТ-13	Без термообработки	≥55	≥25	≥20	—	≥6

Продолжение табл. 34

Марка электрода	Термическая обработка	Механические свойства				
		Временное сопротивление в $\text{кг}/\text{мм}^2$	Предел текучести в $\text{кг}/\text{мм}^2$	Относительное удлинение в %	Относительное сужение в %	Ударная вязкость в $\text{кг}\cdot\text{м}/\text{см}^2$
КТИ-5	Стабилизация при 800° с выдержкой 10 час.	≥ 58	≥ 28	≥ 22	—	≥ 5
ЦЛ-9	Без термообработки	68	38	39	55	9
ЦЛ-8		57	36	44,0	50	14
ЦТ-10	Стабилизация при 800° с выдержкой 10 час.	≥ 65	≥ 35	$\geq 25,0$	—	≥ 6
ЦТ-17		≥ 60	≥ 30	$\geq 20,0$	—	≥ 2
ОЗЛ-9	Без термообработки	55—60	—	25—35	—	12—20
ОЗЛ-4		57—62	—	25—40	—	9—15
ОЗЛ-6		60—65	—	25—35	—	9—13
ОЗЛ-8		60—65	—	30—45	—	11—15
ЦЛ-4		60—75	—	30—45	—	10—15
ОЗЛ-7		60—70	—	25—40	—	10—13
ИЛ-13		55—65	≥ 45	25	—	—
ЛЗ8-М		≥ 60	≥ 30	≥ 30	—	9
КТИ-7		68—74	48—55	22—30	34—52	6
ОЗЛ-5		60—65	—	25—43	40—50	9—11
Л40М		≥ 50	—	≥ 24	—	≥ 7

щих в условиях, отнесенных в приведенной выше классификации к группе 1. Для устранения склонности к горячим трещинам и повышения стойкости против межкристаллитной коррозии необходимо содержание в наплавленном металле некоторого количества ферритной фазы. Это условие оговаривается лишь в паспорте электродов ОЗЛ-8 (содержание феррита в наплавленном металле 3,5—8,5%). В других электродах содержание феррита не регламентируется и обычно составляет менее 2%.

Стабилизация вызывает снижение пластических свойств и ударной вязкости, аустенизация повышает эти свойства.

Электроды ЦЛ-11, ЗИО-3, Л-38М и Л-40М и ОЗЛ-7 предназначены для сварки конструкций из стали типов 1Х18Н9Т и 1Х16Н13Б, работающих в условиях, отнесенных к группе 3. Для устранения склонности к горячим трещинам наплавленный металл должен содержать некоторое количество феррита. Для этой цели электроды ЦЛ-11 имеют скользящий состав покрытия, в котором содержание хрома зависит от его соотношения с никелем в сварочной проволоке, применяемой при изготовлении данной партии электродов. Количество феррита в металле, наплавленном электродами ЦЛ-11, должно составлять не менее 3%. Одновременно с этим электроды должны обеспечивать содержание ниобия в наплавленном металле, равное 8С (где С — содержание углерода в наплавленном металле), чем создается гарантия устойчивости против межкристаллитной коррозии. Введение ниобия через покрытие, практикуемое при изготовлении некоторых электродов, требует весьма тщательного контроля.

Электроды ЦТ-15 предназначены для сварки сталей 1Х18Н9Т, 1Х18Н12Т, 1Х16Н13Б, Х20Н12Т-Л и других, работающих при температурах до 660°, и обеспечивают устойчивость наплавленного металла против межкристаллитной коррозии. Содержание феррита в наплавленном металле установлено паспортом в пределах 2,5—4,5%. Длительная прочность металла швов за 100 000 час. условных испытаний составляет: при температуре 600° — 17,0 $\text{кг}/\text{мм}^2$, при температуре 660° — 12,5 $\text{кг}/\text{мм}^2$.

При сварке первого слоя стыковых швов для компенсации разбавления основным металлом типов 1Х18Н12Т и 1Х16Н13Б необходимо применять электроды ЦТ-15-1, обеспечивающие содержание феррита в наплавленном металле в пределах 5—9%.

Допускается термическая обработка наплавленного металла, — стабилизация при 750° с выдержкой 10 час. и обеспечением при этом соответствующих механических свойств (см. табл. 34).

Электроды ЦТ-7 предназначены для сварки сталей ЭИ-257, ЭИ-405 и ЛА-1, работающих при температурах до 620°. Требованиям устойчивости против межкристаллитной коррозии не удовлетворяют. Содержание феррита в наплавленном металле установлено паспортом в пределах 2—5%.

Длительная прочность наплавленного металла при 600° за 100 000 час. условного испытания составляет 16 $\text{кг}/\text{мм}^2$. При сварке первого слоя стыковых швов для компенсации разбавления основным металлом типа 1Х14Н14В2 и других необходимо применять электроды ЦТ-7-1, обеспечивающие содержание феррита в наплавленном металле в пределах 5—9%.

Допускается термическая обработка наплавленного металла, — стабилизация при 800° с выдержкой 10 час. и обеспечением при этом соответствующих механических свойств (см. табл. 34).

Электроды КТИ-5 предназначены для сварки стали марки 2Х14Н14М2W2БФТ-Л (Ла-3) со сталью 1Х18Н12Т, работающих при температуре 550—600°, а также для заварки дефектов в литых сталях Ла-3, Ла-3М и Х25Н12-Л. Устойчивость против межкристаллитной коррозии не гарантируют. В паспорте электродов указан состав покрытия для различных сочетаний содержания хрома и никеля в сварочной проволоке.

Длительная прочность наплавленного металла при 600° за 100 000 час. условного испытания составляет 13,0 $\text{кг}/\text{мм}^2$.

Допускается термическая обработка наплавленного металла, — стабилизация при 800° с выдержкой 10 час. и охлаждением на воздухе. При этом должны быть обеспечены соответствующие механические свойства (см. табл. 34).

Примечание. Для изготовления электро-

Компоненты покрытия		Марка электрода									
Условный № TV	Наименование	ЦН-4 ЦН-5 ЦН-6 ЦС-1 ЦС-2 Т-540 Т-590 Т-620 ОЗН-250 ОЗН-300 ОЗН-400 БХ2 У-340 ПОБ									
		Марка электродной проволоки по ГОСТу 2246-60 (кроме сормита № 1 и 2)									
		Св-08	Св-08	Сор-майт № 1	Сор-майт № 2	Св-08	Св-08	Сор-майт № 1	Сор-майт № 2	Св-08 и Св-08А	
17	Феррохром	—	56	—	—	—	—	—	—	—	—
22	Ферровольфрам	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
21	Феррованадий	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20	Ферромolibден	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	Ферросилиций 75%-ный	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14	Ферромарганец среднеуглеродистый	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
15	Ферромарганец углеродистый	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
18	Ферротитан	34	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	Графит сербистый	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	Мрамор	—	1,8	—	—	—	—	—	—	—	—
9	Плавиковый шпат	39	25	4,0	9	—	—	—	—	—	—
37	Двуокись титана	27	17,2	28,0	50	—	—	—	—	—	—
30	Алюминий	—	—	5	20	—	—	—	—	—	—
23	Ферробор	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	Полевой шпат	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
16	Ферросилиций 45%-ный	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
33	Борид хрома	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
39	Поташ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
38	Сода кальцинированная	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11	Слюда	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
42	Слюда	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12	Песок кварцевый	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
35	Лигнонит	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Коэффициент веса в %		32	30	30	27	27	22	15—20	15—20	30	30
Коэффициент веса в %		49—53	70—74	34—37	22—28	22—28	55—57	150—160	150—160	37—42	38—42

36. Химический состав и твердость металла, наплавленного электродами для наплавки

Марка электрода	Содержание элементов в %						Твердость наплавленного металла без термической обработки		
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Другие элементы	S	P	
							не более		
ОМГН *)	0,8—1,1 0,6—0,8 0,9—1,1 0,19 0,26 0,7—0,8	0,3	4,5—6,0 до 0,7 4,5—6,0 1,95 2,39 0,8	4,5—5,5 10—12 4,5—5,5 — 3,8—4,6	1,5—2,0 2,3—3,0 — — —	— — — — —	— — — — —	0,05	0,04
ОМГ **)									Первый слой HB 220—250 Третий слой HB 250—290 В первом слое HB 220—250 HRC 22—29 HRC 24—40 HRC 57—62
ЦН-250		0,77							
ЦН-350		1,00							
ЦН-4М		0,5				1,4—4,4V 17,5—19,0W 59—60Co			
ЦН-2	1,6—2,0	2,6—2,5	—	28—32	—	—		0,04	HRC 45—53 HRC 40—50 HRC 50
ЦН-3	1,7—2,2	0,3—0,6	1,5—3,0	—	5,0—7,0	—			HRC 40
ЦН-4	0,3—0,35	0,3	5,5—6,5	—	—	—			HRC 28—32
ЦН-5	0,2—0,3	—	0,40	10—12	—	—		0,035	HRC 48—54
ЦН-6	0,10	5,0—6,8	1,5	16—18	7,0—9,0	—		—	HRC 39—45
ЦС-1 ***)	2,5—3,3	2,8—4,2	—	25—31	3,0—5,0	—		—	HRC 35—45
ЦС-2 ***)	1,5—2,0	1,5—2,2	0,1	13,5—17,5	1,3—2,5	—		—	HRC 58—62
Т-540	1,5—1,7	—	—	7,0—9,0	—	0,2—0,4Ti 1,5—1,7B		—	HRC 55—60
Т-590	3,0—3,5	2,0—2,5	1,0—1,5	24—27	—	—		—	В третьем слое с междуслойным охлаждением HB 220—280
Т-620	—	—	—	—	—	—		0,04	В третьем слое с междуслойным охлаждением HB 270—330
ОЗН-250	0,13—0,16	—	2,3—2,6	—	—	—		—	В третьем слое с междуслойным охлаждением HB 320—380
ОЗН-300	0,13—0,17	—	3,0—3,5	—	—	—		—	В третьем слое с междуслойным охлаждением HB 370—430
ОЗН-350	0,16—0,2	≤ 0,15	3,5—4,0	—	—	—		0,04	HRC 43
ОЗН-400	0,18—0,22	—	4,0—4,6	—	—	—		—	HRC 60—63
Ш-7	0,57	0,18	0,24	2,35	—	0,8Mo		—	В третьем слое наплавки с междуслойным охлаждением HB 260—340
БХ-2	—	—	—	—	—	—		0,035	
У-340ПБ	0,15—0,17	0,3—0,5	2,6—2,9	—	—	—		0,04	

* Верхняя строчка относится к первому слою; нижняя — к третьему и четвертому при наплавке на сталь Г-13.

** В таблице приводится состав первого слоя наплавки на стали Г-13.

*** В таблице приводится химический состав стержней из сплава Сормайт № 1 и 2.

* Верхняя строчка относится к первому слою; нижняя — к третьему и четвертому при наплавке на сталь Г-13.
 ** В таблице приводится состав первого слоя наплавки на стали Г-13.
 *** В таблице приводится химический состав стержней из сплава Сормат № 1 и 2.

металл с различной твердостью и работоспособностью. В настоящем разделе приводятся лишь рецептурные данные электродов (табл. 35), химический состав и характеристики твердости наплавленного металла главным образом в исходном состоянии после сварки (табл. 36), а также краткое описание электродов применительно к их основному назначению.

Технологическая характеристика

Электроды ОМГ и ОМГН предназначены для наплавки и заварки небольших дефектов в отливках из стали Г-13: электроды ОМГ — для однослойной или двухслойной наплавки, ОМГН — для многослойной наплавки железнородных крестовин и других деталей.

Сварка производится на постоянном токе при обратной полярности, в нижнем и наклонном положении короткой дугой. Наплавка производится с минимально возможным разогревом деталей.

Электроды ЦН-250, ЦН-350, ОЗН-250, ОЗН-300, ОЗН-350 и ОЗН-400 предназначены для наплавки широкой номенклатуры деталей из углеродистых и низколегированных сталей с целью повышения их износостойчивости в обычных условиях. Диапазон твердости наплавленного слоя составляет $HRC\ 22-40$, $HV\ 220-430$. (Средние значения твердости указаны в наименовании марок электродов.) Как правило, наплавка производится с охлаждением после наложения каждого слоя; перегрев не допускается.

Термической обработке наплавленные детали не подвергаются.

Электроды ЦН-4 предназначены для наплавки рабочих кромок и изношенных штампов для горячей штамповки металла. Наплавка производится на постоянном токе при обратной полярности короткой дугой не менее чем в два слоя. Для получения необходимой твердости в исходном после сварки состоянии необходимо охлаждение наплавляемой детали после наложения каждого слоя.

Допускается термическая обработка наплавленных изделий. В исходном после сварки состоянии твердость достигает $HRC\ 50$. После отжига при 850° твердость снижается до $HRC\ 30$, после последующей закалки 850° с охлаждением в воде твердость составляет $HRC\ 50$.

Электродом ЦН-5 наплавляются рабочие кромки новых или изношенных штампов для холодной штамповки и ножей для холодной резки. Наплавка производится на постоянном токе при обратной полярности короткой дугой. Для получения необходимой твердости в исходном после сварки состоянии необходимо охлаждение наплавляемой детали после наложения каждого слоя. Допускается термическая обработка наплавленного металла. В исходном после сварки состоянии твердость составляет $HRC\ 40$, после отжига при 850° — $HRC\ 20$, после закалки 850° с охлаждением в воде — $HRC \geq 40$. Электродом ЦН-5 возможна наплавка поверхностей, подвергаемых эрозионному износу в воде с песком и т. п.

Электроды ЦН-1М предназначены для наплавки рабочих поверхностей режущего инструмента и штампов различных назначений. Наплавка производится на постоянном токе при обратной полярности в нижнем положении (допускается наплавка на переменном токе). Наплавка режущих кромок инструмента для холодной обработки металлов производится с предварительным подогревом до 300° , при больших объемах — до 600° . Сразу же по окончании наплавки штамп помещается в печь, нагретую до 900° , и подвергается отжигу с выдержкой в течение 3 час., последующим охлаждением до 720° и выдержкой при этой температуре в течение 3 час.; дальнейшее охлаждение — с печью.

После механической обработки штамп подвергается закалке с 900° в масле и последующему отпуску при 200° с охлаждением на воздухе.

При обработке наплавленных штампов одними абразивами отжиг не применяется, а сразу же после наплавки производится нагрев до 900° под закалку в масле и отпуск по указанному выше режиму. Твердость наплавленного металла после наплавки $HRC\ 57-62$; после отжига $HRC\ 30-35$; после закалки с 900° в масле $HRC\ 49-51$; после отпуска $HRC\ 62-65$.

Электроды ЦС-1 и ЦС-2 предназначены для наплавки быстроизнашивающихся деталей сормайтотом № 1 и 2. Наплавка производится на постоянном токе при обратной полярности. При наплавке массивных изделий рекомендуется предварительный и сопутствующий подогрев до 400° . Металл, наплавленный электродами ЦС-1, в исходном после сварки состоянии обладает твердостью $HRC\ 48-54$.

При наплавке электродами ЦС-2 допускается термообработка. Твердость наплавленного металла после наплавки $HRC\ 39-45$, после отжига при 900° — $HRC\ 32-39$, после закалки с 900° и отпуска с 250° — $HRC\ 56-60$.

Электроды Т-540 применяются при наплавке кузнечно-прессового инструмента для холодной и горячей штамповки и быстроизнашивающихся деталей, требующих механической обработки после наплавки. Наплавка производится на постоянном токе при обратной полярности или на переменном токе. Твердость наплавленного металла после наплавки $HRC\ 35-45$, после отжига — $HRC\ 24-27$, после закалки и отпуска — $HRC\ 56-60$.

Электроды Т-590, Т-620 и БХ-2 предназначены для наплавки быстроизнашивающихся стальных и чугунных деталей, работающих главным образом в условиях абразивного износа. Наплавка производится на постоянном токе при обратной полярности и на переменном токе в нижнем и слегка наклонном положении. Наплавленный металл термической обработке не подвергается. Твердость металла после наплавки $HRC\ 55-63$. Наплавку стальных деталей следует производить не более чем в два слоя, чугунных — в один слой. Наплавленный металл склонен к образованию трещин обычно, не снижающих стойкости деталей в условиях нормальной эксплуатации.

Электроды Ш-7 применяются при наплавке быстроизнашивающихся деталей и кузнечно-прессового инструмента для горячей штамповки, подвергающегося после наплавки механической обработке. Наплавка производится на постоянном токе при обратной полярности или на переменном токе. При больших объемах наплавки рекомендуется предварительный и сопутствующий подогрев до 400° . Твердость наплавленного металла после наплавки $HRC\ 43$; после отжига при 900° $HRC\ 24-26$, после закалки при 850° в масле $HRC\ 56$; после отпуска при 500° $HRC\ 42$.

Электроды ЦН-2, ЦН-3 и ЦН-6 предназначены для наплавки уплотнительных поверхностей аппаратуры паровых энергетических установок, работающих при температурах $510-600^\circ$. Наплавка производится на постоянном токе при обратной полярности. Для наплавки электродами ЦН-2 и ЦН-3 требуется предварительный и сопутствующий подогрев до 600° с последующим медленным охлаждением. Электроды ЦН-6 допускают наплавку малых и средних объемов без подогрева.

Электроды ЦН-2 и ЦН-6 применяются для наплавки аппаратуры, работающей при температуре до 600° , а электроды ЦН-3 — до температуры 525° . Твердость наплавленного слоя в исходном состоянии составляет для электродов ЦН-2 $HRC\ 40-50$; для электродов ЦН-3 $HRC\ 40-50$; для электродов ЦН-6 $HRC\ 28-32$.

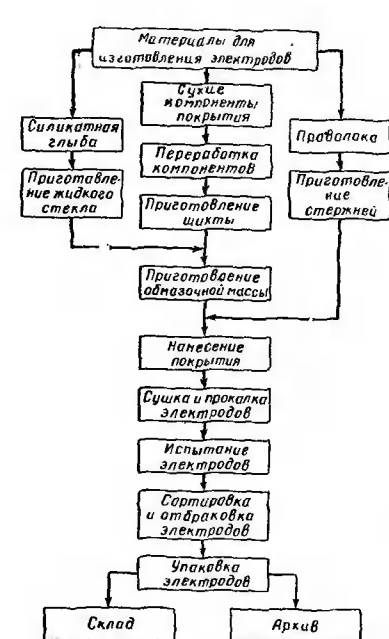
Электроды У-340ПБ предназначены для восстановления изношенных бандажей паровозных колес, а также для других изношенных поверхностей. Наплавка производится на постоянном токе при обратной полярности возможно более короткой дугой. Перед наплавкой поверхность детали должна быть тщательно зачищена. Твердость первого слоя при наплавке бандажей с подогревом — $HV\ 240-290$, а третьего слоя при послойном охлаждении — $HV\ 260-340$. Наплавку бандажей необходимо производить по соответствующей инструкции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алов А. А., Электроды для дуговой сварки и наплавки, Машгиз, 1947.
2. Петрань К. В. и др., Электроды УОНИ-13, «Автогенное дело» № 8, 1947.
3. Яровинский Л. М., Баженов В. В., Электроды ЦНИИТМАШ для сварки и наплавки, Машгиз, 1954.
4. Глушков Г. И., Электроды для наплавки твердого сплава сормайтотом, Труды ЦНИИТМАШ, Электродуговая сварка и наплавка, Машгиз, 1945.

5. Крюковский Н. Н., Производство качественных электродов, Машгиз, 1956.
6. Любавский К. В. и Лазарев Б. И., Автоматическая сварка двухслойных листов с покрытием из стали 08Х12, «Автоматическое дело» № 1, 1950.
7. Ерохин А. А., Электроды для сварки высокопрочной стали, «Сварочное производство» № 9, 1956.
8. Паспорта электродов Опытного-сварочного завода, 1959.
9. Медовар Б. И., Сварка хромоникелевых аустенитных сталей, Машгиз, 1958.
10. Покрытые электроды для дуговой сварки, НИИсредмаш, 1939.
11. Паспорта электродов Отдела сварки ЦНИИТМАШ, 1959.
12. Кириллов А. А., Универсальные электроды К-5 и К-5А для электродуговой сварки, «Технология машиностроения», Машгиз, 1952.
13. Любавский К. В., Пашуканис Ф. И., Лазарев Б. И., Торопов В. А., Сварка аустенитных сталей, предназначенных для работы при повышенных температурах, «Новое в технологии сварки», Машгиз, 1955.
14. Яровинский Л. М., Сварка теплоустойчивой стали 20ХМФЛ, «Новое в технологии сварки», Машгиз, 1955.
15. Смирнова И. Д. и Земзин В. Н., Сварка хромистых сталей, ЛДНТИ, Ленинград 1958.
16. Кырченков В. В., Петров Г. И., Электроды для сварки сталей типа 15—35, «Автоматическая сварка» № 5, 1958.
17. Уколов Г. А., Электроды для сварки кислотостойких сталей, «Автоматическая сварка» № 2, 1957, № 3, 1953.
18. Соколов Е. В., Электроды ОМА2 для дуговой сварки стали малых толщин, Сб. НИИТЯЖМАШ, вып. III, М. 1939.
19. Липидус В. А., Электроды для наплавки, Машгиз, 1958.

ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОДОВ



Фиг. 3. Технологическая схема производства электродов.

Технологический процесс изготовления электродов показан на схеме (фиг. 3).

Материалы для изготовления электродов

Проволока стальная углеродистая и легированная (ГОСТ 2246-60); из монель-металла (ГОСТ 492-52); медная М-2 и М-3, твердая, наклеп 5—12% (ГОСТы 859-41 и 2412-46); алюминиевая и алюминий-кремнистая АД-1 и АК (ГОСТы 4784-49 и 7871-56).

Компоненты покрытия. Одни и те же компоненты могут выполнять при сварке различные функции; например, мрамор стабилизирует процесс горения дуги, изменяет состав газовой среды в зоне сварки, влияет на состав и свойства сварочных шлаков. Преобладание тех или иных функций определяется составом и количеством покрытия на электроде. Все компоненты могут быть представлены следующими группами: руды и концентраты (табл. 37); перудные ископаемые (табл. 38); ферросплавы (табл. 39); органические материалы (табл. 40); металлы, карбиды, бориды (табл. 41); искусственные силикаты (табл. 42); химические продукты (табл. 43).

В табл. 44 приведены физические характеристики некоторых компонентов.

37. Руды и концентраты

Условный № ТУ	Наименование материала и главные составляющие	Содержание основных элементов и соединений в %	Основные месторождения или источники получения	Условия поставки
1	Концентрат ильменитовый (титановый); минералы: ильменит (FeTiO_3), магнетит (Fe_3O_4)	$\geq 38\text{TiO}_2$; $\leq 52\text{FeO}$; $\leq 5\text{SiO}_2$; $\leq 5\text{Al}_2\text{O}_3$; $\leq 0,05 \text{ P}$; $\leq 0,2 \text{ S}$	—	ГОСТ 4414-48
2	Концентрат рутиловый; минерал — рутил (TiO_2)	$\geq 90\text{TiO}_2$; $\leq 3\text{SiO}_2$; $\leq 2,5 \text{ Al}_2\text{O}_3$; $\leq 3\text{Fe}_2\text{O}_3$; $\leq 2\text{ZrO}_2$; $\leq 0,05 \text{ S}$; $\leq 0,05 \text{ P}$	—	ТУ ВНИИСтрой-нефть
3	Железная руда (гематит) минерал — гематит (Fe_2O_3)	$\geq 92\text{Fe}_2\text{O}_3$; $\leq 6\text{SiO}_2$; $\leq 1,7 \text{ Al}_2\text{O}_3$; $\leq 0,15 \text{ S}$; $\leq 0,1 \text{ P}$	УССР — Кривой Рог	ТУ ЦНИИТМАШа
4	Марганцевая руда (пирролизит); минерал — пирролизит (MnO_2)	$\geq 45\text{Mn}$; $\leq 10\text{SiO}_2$; $\leq 3\text{Al}_2\text{O}_3$; $\leq 0,1 \text{ S}$; $\leq 0,2 \text{ P}$	Грузинская ССР — Чхатурь; УССР — Никополь	ГОСТ 4418-48

38. Перудные ископаемые (минералы, горные породы)

Условный № ТУ	Наименование материала и главные составляющие	Содержание основных элементов и соединений в %	Основные месторождения или источники получения	Условия поставки
5	Мрамор; минерал — кальцит (CaCO_3)	$\geq 92\text{CaCO}_3$; $\leq 3\text{MgO}$; $\leq 0,04 \text{ S}$; $\leq 0,015 \text{ P}$	Челябинская обл., Прохоро-Баландинское месторождение; Южный Урал, Копейский район, Козьгинское месторождение; УССР, Балаклавское и Песляхское месторождения; Алма-Атинская область, Сакское месторождение	ГОСТ 4416-48

Условный № ТУ	Наименование материала и главные составляющие	Содержание основных элементов и соединений в %	Основные месторождения или источники получения	Условия поставки
6	Доломит; минералы: кальцит (CaCO_3), магnezит (MgCO_3)	$\geq 54\text{CaCO}_3$ $\geq 33\text{MgCO}_3$ $\leq 3,5 \text{SiO}_2$ $\leq 8\text{R}_2\text{O}_3$ $\leq 0,1 \text{S}$	Донбасс, Никитовское, Ямское и Новотроицкое месторождения	ТУ МНТУ 2660-50
7	Магнезит; минерал — магнезит (MgCO_3)	$\geq 45\text{MgO}$ $\leq 0,5 \text{CaO}$ $\leq 1,5 \text{SiO}_2$ $\leq 1,5 \text{Al}_2\text{O}_3$ $\leq 1,5\text{Fe}_2\text{O}_3$ $\leq 1,2 \text{MnO}$ $\leq 0,03 \text{S}$ $\leq 0,05 \text{P}$	Урал, Саткинское месторождение	
8	Гранит; минералы — кварц (SiO_2), полевой шпат ($\text{K}_2\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16}$), слюда ($\text{H}_4\text{K}_2\text{Al}_6\text{Si}_8\text{O}_{24}$)	$66 - 71\text{SiO}_2$ $15 - 21\text{Al}_2\text{O}_3$ $2 - 5\text{CaO}$ Щелочи в пересчете на K_2O (5 — 8) $2 - 7\text{Fe}_2\text{O}_3$ $\leq 0,08 \text{P}$ $\leq 0,1 \text{S}$	Урал, Шарташское месторождение; Николаевская обл., Константиновское месторождение	ТУ ЦНИИТМАШа
9	Плавиковый шпат минерал — флюорит (CaF_2)	$\geq 92\text{CaF}_2$ $\leq 5\text{SiO}_2$ $\leq 0,1 \text{S}$ $\leq 0,015 \text{P}$	Забайкалье, Абагайтуйское месторождение; Казахская АССР, Аурахматское месторождение; в виде флюоритового концентрата поставляется Полевской криолитовой фабрикой (Свердловская обл.) и Плавикопшатовым комбинатом (ст. Той-Тека, Ташкентской обл.).	ГОСТ 4421-48

Условный № ТУ	Наименование материала и главные составляющие	Содержание основных элементов и соединений в %	Основные месторождения или источники получения	Условия поставки
10	Полевой шпат; минералы: ортоклаз микроклин ($\text{K}_2\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16}$).	$64 - 70\text{SiO}_2$ $17 - 21\text{Al}_2\text{O}_3$ $\leq 1,5 \text{Fe}_2\text{O}_3$ $\leq 1,5 \text{CaO}$ $\geq 10(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ $\leq 0,04 \text{S}$ $\leq 0,04 \text{P}$ $\leq 0,5 \text{MgO}$ $\leq 1,0 \text{MnO}$	Карельская АССР, ст. Чуша; Урал, Галанинское месторождение; УССР, ст. Гута, месторождение «Розенфельд»; Сибирь, месторождение «Бобылевская жила»	ГОСТ 4422-48
11	Слюда; минерал — мусковит ($\text{H}_4\text{K}_2\text{Al}_6\text{Si}_8\text{O}_{24}$)	—	Карельская АССР, Кандалакша, Заозерновская слюдная фабрика (молотая слюдная мука — микасатинет)	ГОСТ 855-41
12	Кварц (кварцевый песок); минерал — кварц (SiO_2)	$\geq 97\text{SiO}_2$ S и P — следы; прочие примеси ≤ 3	Московская обл., Люберецкое месторождение; Ленинградская область, Саблинское месторождение; Урал, Всехсвятское месторождение; УССР, Часов-Ярское и Цурюпинское месторождения	ГОСТ 4417-48
13	Каолин	$\geq 40\text{Al}_2\text{O}_3$ $43 - 56\text{SiO}_2$ $\leq 0,05 \text{S}$ $\leq 0,04 \text{P}$	УССР, Глуховецкое месторождение	ГОСТ 6138-51

39. Ферросплавы

Условный № ТУ	Наименование	Марка	Содержание основных элементов в %	Условия поставки
14	Ферромарганец среднеуглеродистый	Мн-1	$\geq 80\text{Mn}$; $\leq 2,0 \text{Si}$; $\leq 1,0 \text{C}$; $\leq 0,03 \text{S}$; $\leq 0,3 \text{P}$	ГОСТ 4755-49
		Мн-2	$\geq 80\text{Mn}$; $\leq 2,5 \text{Si}$; $\leq 1,5 \text{C}$; $\leq 0,03 \text{S}$; $\leq 0,3 \text{P}$	

Условный № ТУ	Наименование	Марка	Содержание основных элементов в %	Условия поставки
15	Ферромарганец доменный	Мн-5 группа А	$\geq 75\text{Mn}$; $\leq 2,0\text{Si}$; $\leq 0,03\text{S}$; $\leq 0,35\text{P}$	ГОСТ 5165-49
16	Ферросилиций	Си-45*	$40-47\text{Si}$; $\leq 0,8\text{Mn}$; $\leq 0,5\text{Cr}$; $\leq 0,04\text{S}$; $\leq 0,05\text{P}$	ГОСТ 1415-49
17	Феррохром углеродистый	Хр-4**	$\geq 65\text{Cr}$; $\leq 2,0\text{Si}$ (низкокремнистый); $\leq 3,0\text{Si}$ (среднекремнистый); $\leq 5,0\text{Si}$ (высококремнистый); $4,1-6,5\text{C}$; $\leq 0,07\text{P}$ $\leq 0,04\text{S}$.	ГОСТ 4757-49
		Хр-6	$\geq 65\text{Cr}$; $\leq 2,0\text{Si}$ (низкокремнистый); $\leq 3,0\text{Si}$ (среднекремнистый); $\leq 5,0\text{Si}$ (высококремнистый); $6,6-8,0\text{C}$; $\leq 0,07\text{P}$ $\leq 0,04\text{S}$.	
18	Ферротитан	Тн-1	$\geq 23\text{Ti}$; $\leq 0,15\text{C}$; $\leq 0,20 \frac{\text{Si}}{\text{Ti}}$; $\leq 0,27 \frac{\text{Al}}{\text{Ti}}$; $\leq 3,0\text{Cu}$; $\leq 0,05\text{S}$; $\leq 0,05\text{P}$	ГОСТ 4761-54
		Тн-2	$\geq 23\text{Ti}$; $\leq 0,20\text{C}$; $\leq 0,28 \frac{\text{Si}}{\text{Ti}}$; $\leq 0,4 \frac{\text{Al}}{\text{Ti}}$; $\leq 4,0\text{Cu}$; $\leq 0,08\text{S}$; $\leq 0,08\text{P}$	
19	Феррониобий	Н6-1	$\geq 50\text{Nb}$; $\leq 0,12\text{C}$; $\leq 10,0\text{Si}$; $\leq 7,0\text{Al}$; $\leq 0,03\text{S}$; $\leq 0,27\text{P}$	МПТУ 2735-51
		Н6-2	$\geq 50\text{Nb}$; $\leq 0,20\text{C}$; $\leq 11,5\text{Si}$; $\leq 7,0\text{Al}$; $\leq 0,05\text{S}$; $\leq 0,32\text{P}$	
20	Ферромolibден	Мо-2	$\geq 55\text{Mo}$; $\leq 0,15\text{C}$; $\leq 1,5\text{Si}$; $\leq 1,5\text{Cu}$; $\leq 0,08\text{Sb}$; $\leq 0,08\text{Sn}$; $\leq 0,15\text{S}$; $\leq 0,15\text{P}$	ГОСТ 4759-49
		Мо-3	$\geq 55\text{Mo}$; $\leq 0,20\text{C}$; $\leq 2,0\text{Si}$; $\leq 2,5\text{Cu}$; $\leq 0,10\text{Sb}$; $\leq 0,10\text{Sn}$; $\leq 0,20\text{S}$; $\leq 0,20\text{P}$	
21	Феррованадий	Вд-2	$\geq 35\text{V}$; $\leq 0,75\text{C}$; $\leq 3,0\text{Si}$; $\leq 1,5\text{Al}$; $\leq 0,05\text{As}$; $\leq 0,1\text{S}$; $\leq 0,2\text{P}$	ГОСТ 4760-49
		Вд-3	$\geq 35\text{V}$; $\leq 1,0\text{C}$; $\leq 3,5\text{Si}$; $\leq 2,0\text{Al}$; $\leq 0,05\text{As}$; $\leq 0,1\text{S}$; $\leq 0,25\text{P}$	
22	Ферровольфрам	В-2	$\geq 70\text{W}$; $\leq 0,7\text{C}$; $\leq 1,0\text{Si}$; $\leq 0,4\text{Mn}$; $\leq 0,2\text{Cu}$; $\leq 0,15\text{Sn}$; $\leq 0,1\text{S}$; $\leq 0,05\text{P}$	ГОСТ 4758-55
		В-3	$\geq 65\text{W}$; $\leq 0,8\text{C}$; $\leq 1,5\text{Si}$; $\leq 0,5\text{Mn}$; $\leq 0,3\text{Cu}$; $\leq 0,25\text{Sn}$; $\leq 0,2\text{S}$; $\leq 0,10\text{P}$	
23	Ферробор	Б-1	$\geq 5\text{B}$; $\leq 0,25\text{C}$; $\leq 3\text{Si}$; $\leq 5\text{Al}$	МПТУ 2737-51

* Применение Си-75 резко усложняет опрессовку электродов вследствие порчи замеса.

** Применение феррохрома низших марок сильно затрудняет его измельчение.

40. Органические материалы

Условный № ТУ	Наименование, ГОСТ или ТУ	Главные функции при сварке и изготовлении электродов
24	Крахмал картофельный II сорта, ГОСТ 7699-55	Создает газовую защиту зоны плавления. Является источником поступления водорода в сварочную ванну. Повышает пластичность обмазочных масс при опрессовке электродов.
25	Декстрин кислотный картофельный, ГОСТ 6034-51	Создает газовую защиту зоны плавления. Является источником поступления водорода в сварочную ванну. Эффективно повышает пластичность обмазочных масс, но снижает при этом скорость сушки электродов после опрессовки.
26	Целлюлоза «ЭЦ», ТУ 417-54 Минлесбумпрома и МПС	То же, что и декстрин, но меньше влияет на снижение скорости сушки электродов.

41. Металлы, карбиды, бориды

Условный № ТУ	Наименование	Марка	Содержание основных элементов в %	Условия поставки
27	Железный порошок	—	$\geq 98\text{Fe}$; $\leq 0,25\text{Si}$; $\leq 0,15\text{C}$; $\leq 0,5\text{Mn}$; $\leq 0,04\text{S}$; $\leq 0,04\text{P}$	ЧМТУ 3648-53, группы «С» и «К», марка А
28	Молибден в порошке	—	$99,7-99,8\text{Mo}$	ТУВМ 4-240-54
29	Марганец металлический	Мр-1	$\geq 95\text{Mn}$; $\leq 0,8\text{Si}$; $\leq 0,10\text{C}$; $\leq 0,05\text{P}$	ГОСТ 6008-51
		Мр-2	$\geq 93\text{Mn}$; $\leq 1,8\text{Si}$; $\leq 0,2\text{C}$; $\leq 0,07\text{P}$	
30	Алюминий в порошке	ПА-1	—	
		ПА-2	—	
31	Хром	Х-1	$\geq 98,0\text{Cr}$; $\leq 0,05\text{C}$; $\leq 0,5\text{Si}$; $\leq 0,7\text{Al}$; $\leq 0,04\text{S}$	ГОСТ 5905-51
		Х-2	$\geq 97,0\text{Cr}$; $\leq 0,06\text{C}$; $\leq 0,5\text{Si}$; $\leq 0,8\text{Al}$; $\leq 0,05\text{S}$	
32	Карбид хрома	—	$\sim 85\text{Cr}$; $\sim 13\text{C}$ (общее); $\sim 0,2$ (свободного)	—
33	Борид хрома	—	$\sim 87\text{Cr}$; $\sim 11\text{B}$	—

42. Искусственные силикаты

Условный № ТУ	Наименование	Содержание основных элементов в %	Главные функции при сварке и изготовлении электродов	Условия поставки
34	Силикат натрия, глыба ($\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$)	$74,5 - 73,5 \text{ SiO}_2$; $25,5 - 27,5 \text{ Na}_2\text{O}$; $\leq 0,6 \text{ R}_2\text{O}_3$; $\leq 0,4 \text{ CaO}$; $\leq 0,14 \text{ S}$. Модуль 2,6—3,0	Стабилизирует процесс горения дуги. Участвует в шлакообразовании. Является источником поступления в зону сварки водорода и кислорода за счет разложения влаги При изготовлении электродов — связующее; цементирует покрытие; позволяет получать обмазочные массы высокой пластичности	ГОСТ 4420-48, класс А
35	То же, раствор	$25 - 39 \text{ SiO}_2$; $\leq 0,07 \text{ S}$; $10 - 13,5 \text{ Na}_2\text{O}$; модуль 2,6—3,0 Удельный вес 1,43—1,55		ГОСТ 4419-48, класс А
36	Силикат калия и натрия. Сплав поташа или селитры и соды с песком	$65 - 67 \text{ SiO}_2$; $24 - 27 \text{ K}_2\text{O}$; $7,5 - 9,5 \text{ Na}_2\text{O}$; $\leq 0,36 \text{ SO}_3$; $\leq 0,7 \text{ R}_2\text{O}_3$; $\leq 0,4 \text{ CaO}$. Модуль 2,7—2,9	То же. Резко стабилизирует процесс горения дуги Ускоряет процесс сушки электродов	ТУ 2-56 Минмсталлурхимстрой и Минпромстройматериалов

Примечание. Применяются также калиевые силикаты и жидкое стекло.

43. Химические продукты

Условный № ТУ	Наименование	Содержание основных элементов в %	Главные функции при сварке и изготовлении электродов	Условия поставки
37	Двуокись титана (TiO_2)	$\geq 99,5 \text{ TiO}_2$ $\leq 0,25 \text{ SO}_3$ $\leq 0,1 \text{ Fe}_2\text{O}_3$	Шлакообразующий компонент, часто определяющий технологические свойства электродов	ТУ Минхимпром № 1420-52
38	Сода кальцинированная техническая (Na_2CO_3)	Общая щелочность в пересчете на $\text{Na}_2\text{CO}_3 \geq 95$	Стабилизирует процесс горения дуги Повышает пластичность обмазочных масс, но затрудняет процесс сушки электродов	ГОСТ 5100-49
39	Поташ (K_2CO_3)	$\geq 91 \text{ K}_2\text{CO}_3$; $\leq 0,2 \text{ S}$ Влага (удаляемая при 110°) ≤ 3	То же	МВТУ 122-57 ЛСНХ
40	Селитра (KNO_3)	$\geq 98 \text{ KNO}_3$ Влага ≤ 2	Стабилизирует процесс горения дуги. Окисляет сварочную ванну	ГОСТ 1949-43
41	Хромпик (дихромовокислый калий) ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)	$\geq 97,2 \text{ K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ Влага $\leq 1,5$	То же; кроме того, пассивирует ферросплавы	ГОСТ 2652-48
42	Марганцевоокислый калий (KMnO_4)	$\geq 92 \text{ KMnO}_4$; $\leq 3,0 \text{ MnO}_2$; $\leq 0,8 \text{ SO}_4$	Пассивирует ферросплавы	ГОСТ 5777-51

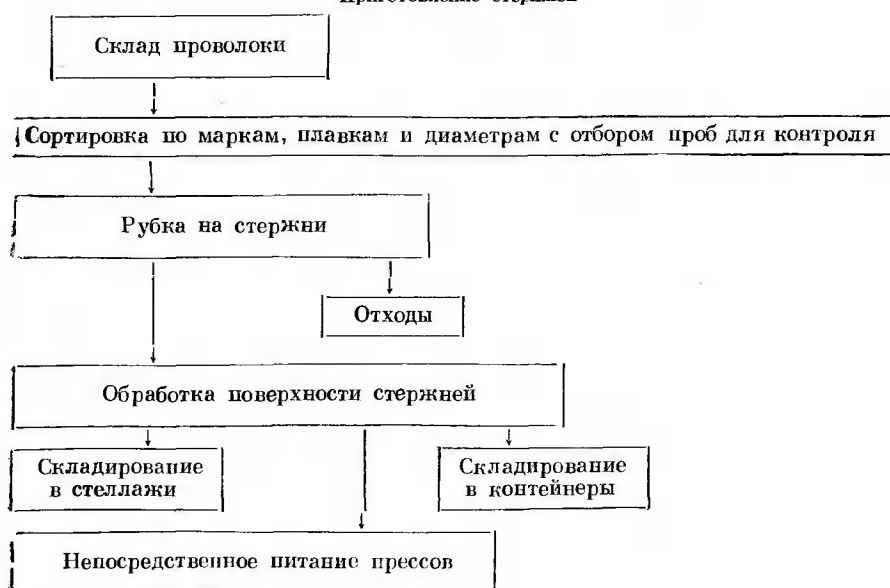
44. Физические характеристики некоторых компонентов покрытия

Компоненты	Твердость по Моосу	Удельный вес	Насыпной вес в т/м³
Марганцевая руда	2—2,5	4,8—5,4	1,64—2,5
Титановый концентрат	5—6	4,3—4,7	2,5—2,65
Гематит	5,5—6,5	4,9—5,3	2,9—3,12
Мрамор	3,5—4	2,8—3,0	1,48—1,53
Гранит	5—6,5	2,4—3,0	1,5—1,8
Плавленый шпат	4	2,9—3,2	1,6—1,8
Полевой шпат	5,5—6,5	2,5—2,7	1,5—1,6
Кварцевый песок	7	2,65	1,6—1,8
Ферромарганец	—	6,7—7,0	3,5—4,2
Ферротитан	—	6,7—7,1	3,3—3,7
Ферросилиций (45%)	—	4,9—5,4	2,5—3,0
Целлюлоза	—	—	0,13—0,29

Приемочный контроль материалов. При правильно организованной подготовке производства обычный приемочный контроль сырья (определение химического и зернового состава и влажности) обязательно дополняется эталонным контролем, который заключается в полной предварительной проверке опытных партий электродов, изготовленных по производственной технологии в лабораторных или производственных условиях. В покрытие таких электродов вводится только один новый контролируемый компонент, остальные компоненты должны быть предварительно всесторонне проверены и по возможности постоянны (эталонное сырье). Если контролю подвергается проволока, то на нее наносится покрытие, состоящее только из эталонных компонентов. Эталонный контроль позволяет всесторонне оценить пригодность материалов для промышленного изготовления электродов.

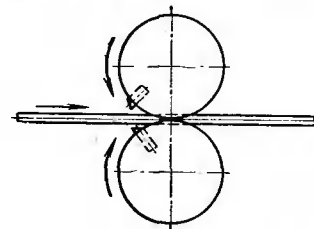
Технологический процесс изготовления электродов

Приготовление стержней

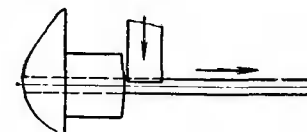


Отбор проб для контроля — по ГОСТу, 2246-60.

Рубка на стержни производится на правильно-рубильных станках, в основном различающихся принципом рубки — летучими ножами (фиг. 4) и гильотинными ножами (фиг. 5).

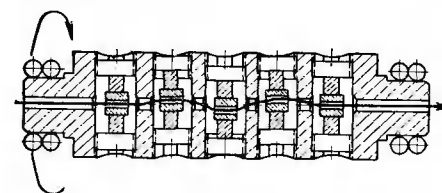


Фиг. 4. Схема рубки летучими ножами.



Фиг. 5. Схема рубки гильотинными ножами.

Правка во всех случаях производится быстровращающимся барабаном с правильными сухарями (фиг. 6).



Фиг. 6. Схема правильного барабана.

Основные технические характеристики оборудования для приготовления стержней (табл. 45—50)

45. Станки с летучими ножами для правки и рубки проволоки из малоуглеродистой стали (без регулирования или с ограниченным регулированием длины стержней)

Тип станка	Диаметр проволоки в мм	Длина стержня в мм	Число оборотов правильного барабана в минуту	Число резов в минуту в расчете на длину стержня 450 мм	Материал правильных сухарей	Количество моторов и общая мощность в кВт	Габаритные размеры станка в мм (длина, ширина, высота)
ПОС-1	3—6	225 и 450	4680	130; 170; 179; 223	Сплав ВР-6 и чугуноперлитный	Два мотора; 8,5	1600×660×1200
ПОС-2		350		173; 208; 232; 298			
ОСЗ-МД	2—3	250 и 350	4800	160 *	Сплав ВР-6	Два мотора; 1,6	1020×600×1150
ОСЗ	4—6	450	5000	180		Два мотора; 6,2	1200×845×1170

* При длине стержня 350 мм.

46. Станки с гильотинными ножами для рубки проволоки из малоуглеродистой и высоколегированной стали и из цветных металлов (с регулированием длины стержня)

Тип станка	Диаметр проволоки в мм	Число оборотов правильного барабана в минуту	Число резов в минуту в расчете на длину стержня 450 мм	Материал сухарей	Количество моторов и общая мощность в кВт	Габаритные размеры станка в мм (длина, ширина, высота)
Д-10	6 8 10	3500	127 102 81	Чугун перлитный	Два мотора; 13	2930×1400×1385
МК-25-10	4—8	4000	160—170		Один мотор; 20	3142×1154×1380
АПО-1	2—6	3460	90	Сплав ВК-6 и чугун перлитный	Один мотор; 4,5	1760×700×1100

47. Преимущества и недостатки правильно-рубильных станков

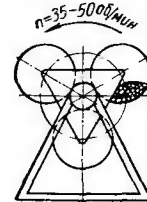
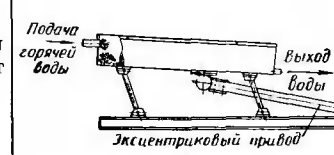
Группа станков	Преимущества	Недостатки
Слетучими ножами (см. фиг. 4)	Простота конструкции. Высокая производительность	Возможность рубки проволоки только из малоуглеродистой стали. Отсутствие или ограниченная возможность регулирования длины стержня. Трудность получения хорошего отреза (угол 90°) и одинаковой длины стержней
С гильотинным ножом (см. фиг. 5)	Возможность рубки проволоки из стали различных марок и из цветного металла на стержни различной длины. Высокое качество отреза, постоянство длины стержней	Сложность конструкции. Недостаточно высокая производительность по сравнению со станками предыдущей группы *

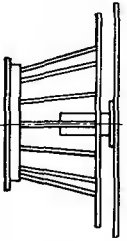
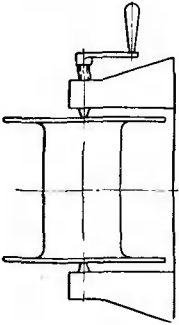
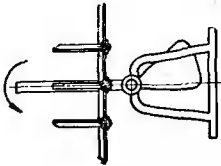
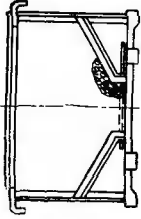
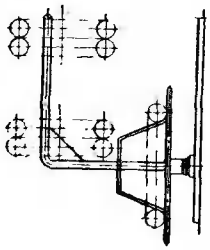
* В 1960 г. Азовским заводом выпущены станки производительностью около 200—260 стержней в минуту, с числом оборотов правильного барабана 6—7 тыс. в минуту.

48. Инструмент для правильно-рубильных станков

Наименование	Материал
Тянущие ролики для станков с летучими ножами (канавки роликов с накаткой)	Сталь Ст.3 с наплавкой электродами Т-540 или Ш-7. После наплавки — отжиг, механическая обработка накатки и закалка. Сталь ШХ-15 (закалка). Сталь Ст.3. После механической обработки — цементация и закалка Твердость HRC 60—61
Тянущие ролики для станков с гильотинными ножами (без накатки)	То же
Летучие ножи	Сталь РФ-9. Твердость HRC 60—62
Гильотинные ножи	
Правильные сухари	Стальная пластина (Ст.3) с впаянной втулкой из сплава ВК-6 или из перлитного чугуна с закалкой после механической обработки

49. Оборудование для очистки поверхности стержней от ржавчины и смазки

Наименование и назначение	Эскиз	Примерная производительность в кг/час	Примерный режим работы
Барабан для очистки прутков от ржавчины и смазки		300	На 100 кг стержней 20 кг песка и 1 кг опилок. Очистка в течение 15 мин.
Вибратор для очистки прутков от смазки		500	На 100 кг стержней 25 л горячей воды (80—90°) и 80 г кальцинированной соды. Очистка в течение 10 мин.

Наименование и назначение	Эскиз	Наименование и назначение	Эскиз
Мотовило неподвижное без регулирования на различные диаметры мотков весом до 200 кг		Катушка для проволоки. Вес проволоки 1—3 т	
Мотовило наклоняемое, регулируемое на различные диаметры мотков весом до 200 кг		Контейнеры для укладки прутков. Емкость контейнера 400 кг при длине прутков 450 мм	
Мотовило неподвижное с приспособлением для одновременной подачи нескольких мотков проволоки			

Контроль качества стержней

(таблицы 51—52)

51. Проверка основных размеров и качества отреза

Контролируемые параметры	Метод контроля и приборы	Допустимые размеры в мм и пределы отклонений *					
		Диаметр стержня в мм					
		До 2	3	4	5	6	8
Диаметр	Измерение микрометром в трех местах	—0,06	—0,06	—0,08	—0,08	—0,08	—0,10
Длина стержней: из углеродистой стали; из стали с высоким омическим сопротивлением	Измерение линейкой или шаблоном	225±3 или 250±3	350±3	400±3 или 450±3 350±3	450±3	450±3	450±3 или 350±3 или 450±3
Стрела прогиба	Щуп (пруток укладывается на плиту) или индикатор	Для всех длин не более 0,5 0,75 1					
Заусенцы и волнистость	Свободное прохождение стержня через контрольную втулку длиной 50 мм и диаметром в мм	2,05	3,1	4,1	5,1	6,1	8,15
Угол реза	Угломер	Для всех диаметров 72—90°					

* Допуски на диаметр указаны для проволоки повышенной точности. При нанесении покрытия методом окунания, а в отдельных случаях и при спрессовке допускается применение проволоки нормальной точности; при этом допуски увеличиваются в 2 раза.

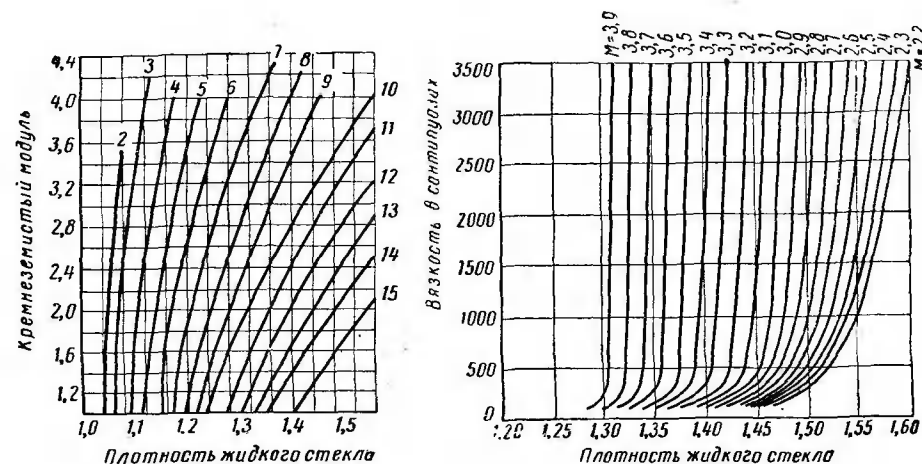
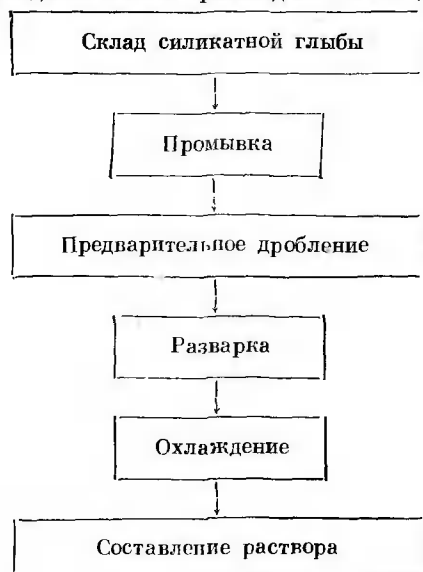
52. Причины отклонений от установленных требований к качеству стержней

Характер отклонений	Причины	
	Станки с летучими ножами	Станки с гильотинными ножами
Различная длина стержней *	Задержка сходящего витка проволоки на разматывающем устройстве, в подводящих втулках и правильных сухарях. Слабый прижим роликов. Наличие местной выработки на роликах. Наличие смазки на роликах или проволоке	
Прогиб	Сильный прижим роликов. Чрезмерная упругость проволоки. Неправильная регулировка сухарей правильного барабана (нормально проволока должна быть изогнута по плавной кривой)	
Волнистость	Недостаточное число оборотов правильного барабана. Неправильная установка правильных сухарей. Плохая отделка сухарей (внутренняя поверхность сухарей должна быть шлифована, особенно на сухарях из твердого сплава)	
Заусенцы, изгиб конца, косой срез торца	Неправильная установка и заточка ножей	Большой допуск в отверстии круглого ножа. Большое расстояние между ножами. Тупые ножи

* Для станков с гильотинными ножами, при работе без упора.

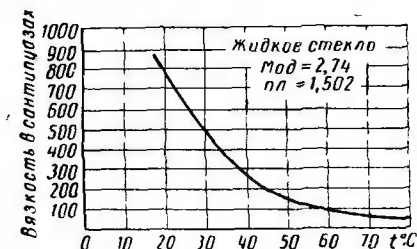
Приготовление жидкого стекла

Приготовление жидкого стекла производится по следующей схеме.



Фиг. 7. График для ускоренного определения модуля силикатного раствора.

Фиг. 8. Зависимость вязкости растворов жидкого стекла от плотности при различных значениях модуля и постоянной температуры.



Фиг. 9. Зависимость вязкости раствора жидкого стекла от температуры (при модуле $M=2,74$ и плотности $\rho=1,502$).

Силикатную глыбу можно разваривать без давления (разварка открытым способом) или под давлением, с подачей пара в рабочий объем, либо с автономным введением его через глухой змеевик (табл. 53—54).

Приведенная схема может дополняться операцией удаления взвешенных частиц путем фильтрования готового раствора или отстаивания разбавленных растворов с последующим выпариванием до требуемой плотности (осветление раствора).

Закономерности изменения некоторых характеристик натриевого жидкого стекла представлены графиками на фиг. 7—11.

На фиг. 8 дана связь между модулем, плотностью и вязкостью жидкого стекла. Зная две из перечисленных характеристик жидкого стекла, по графику можно определить примерное значение третьей.

Плотность (ρ) жидкого стекла иногда выражается в градусах Боме (°Be'). Зависимость между плотностью раствора и градусами Боме выражается формулой

$$\rho = \frac{145}{145 - ^\circ \text{Be}'}$$

53. Характеристика основного оборудования для разварки силикатной глыбы (с получением жидкого стекла плотностью ~ 1,50)

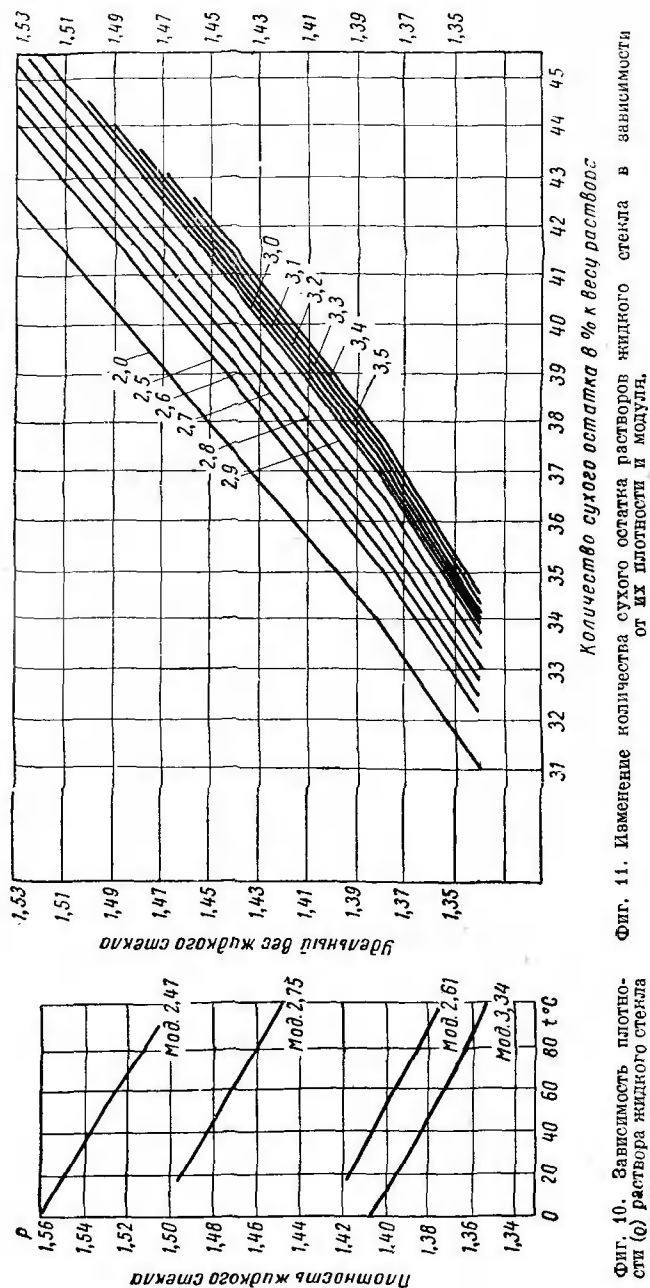
Оборудование	Примерная емкость в м ³	Давление пара в атм	Скорость вращения в об/мин	Время одной варки в час.	Примерная производительность в т/час	Габаритные размеры в мм (длина, ширина, высота)	Преимущества	Недостатки
Чан с толкой	1,2	—	—	7—10	0,12	2000×1600×1900	Простота устройства. Возможность получения растворов заданной плотности	Малая производительность. Большой удельный расход топлива. Большие потери глыбы
Стационарный автоклав с подачей пара в рабочий объем	2,5	4—5	—	4	0,32	2200×2200×4000	Высокая производительность. Малый удельный расход пара. Сравнительная простота конструкции	В ряде случаев трудность регулирования плотности растворов. Трудность удаления осадков
Вращающийся автоклав с подачей пара в рабочий объем	1,6	3—4	20	2,5	0,40	3500×1700×2000	Высокая производительность. Малый удельный расход пара. Легкость удаления осадков	Сложность конструкции. Трудность регулирования плотности раствора. Засорение раствором нерастворившихся частицами
Стационарный автоклав с нагревом через глухой змеевик (тип ОСЗ)	2,3	5	7	0,20	0,20	2000×2200×4000	Сравнительная простота конструкции. Возможность получения растворов заданной плотности	Трудность удаления осадков. Пониженная производительность по сравнению с другими процессами разварки под давлением

* Производительность процесса разварки падает при разварке крупных кусков глыбы (100—150 мм); с увеличением модуля глыбы и плотности получаемых растворов; с увеличением содержания в глыбе примесей типа Fe_2O_3 и K_2O .

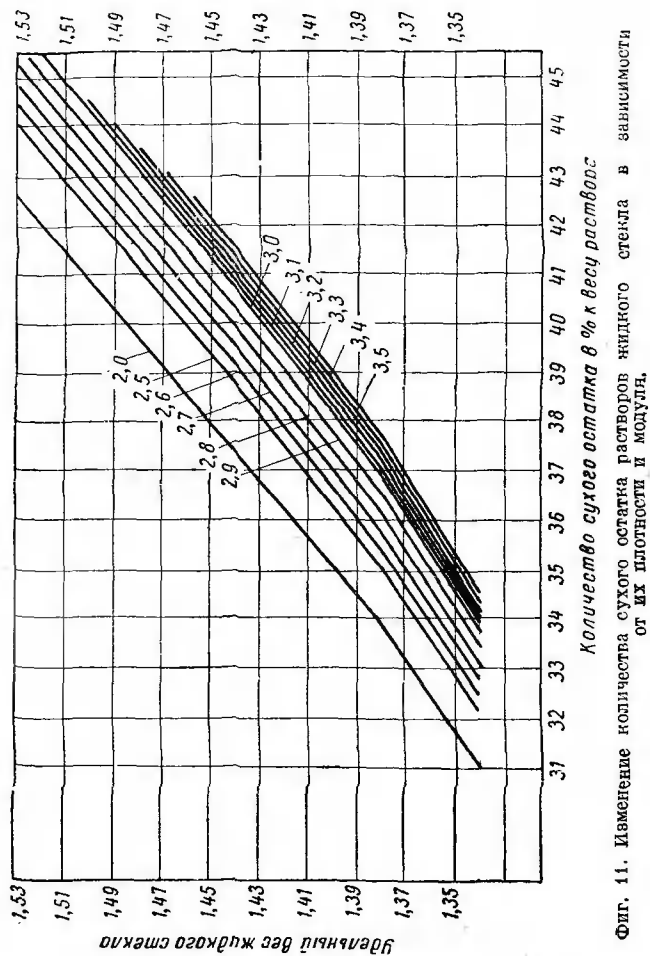
54. Контроль качества жидкого стекла

Контролируемые параметры	Метод контроля и приборы	Рекомендуемые характеристики для натрового стекла			При изготовлении окунанием электродов всех марок
		рудно-кислого типа	фтористо-кальциевого типа	с большим содержанием железного порошка и ферросплавов	
Модуль (М) силикатного раствора	Химический анализ на SiO_2 и Na_2O и определение по формуле $M = \frac{\% \text{SiO}_2}{\% \text{Na}_2\text{O}}$ или ускоренным методом по содержанию Na_2O * и плотности стекла (фиг. 7)	2,55—2,75	2,75—2,90	2,75—2,90	2,55—2,90
Плотность	Ареометр	1,47—1,49	1,48—1,50	1,49—1,51	1,36—1,39
Вязкость	Вискозиметр любой конструкции (вязкость в сантипуазах)	400—900	800—2000	900—3000	50—100
	Воронка НИЛКА (вязкость в секундах)	60—100	90—150	100—200	20—30

* Na_2O определяется титрованием разбавленного раствора жидкого стекла деци нормальной соляной кислотой в присутствии метилоранжа. Плотность контролируемого стекла определяется ареометром. Исползуя график на фиг. 7 с нанесенными на него кривыми содержания Na_2O (от 2 до 15%), определяют модуль жидкого стекла.



Фиг. 10. Зависимость плотности (ρ) раствора жидкого стекла от температуры при различных значениях модуля.



Фиг. 11. Изменение количества сухого остатка растворов жидкого стекла в зависимости от их плотности и модуля.

Плотность жидкого натриевого стекла в зависимости от температуры можно определить по приближенной формуле

$$\rho_t = \rho_0 - 0,00056(t - 20),$$

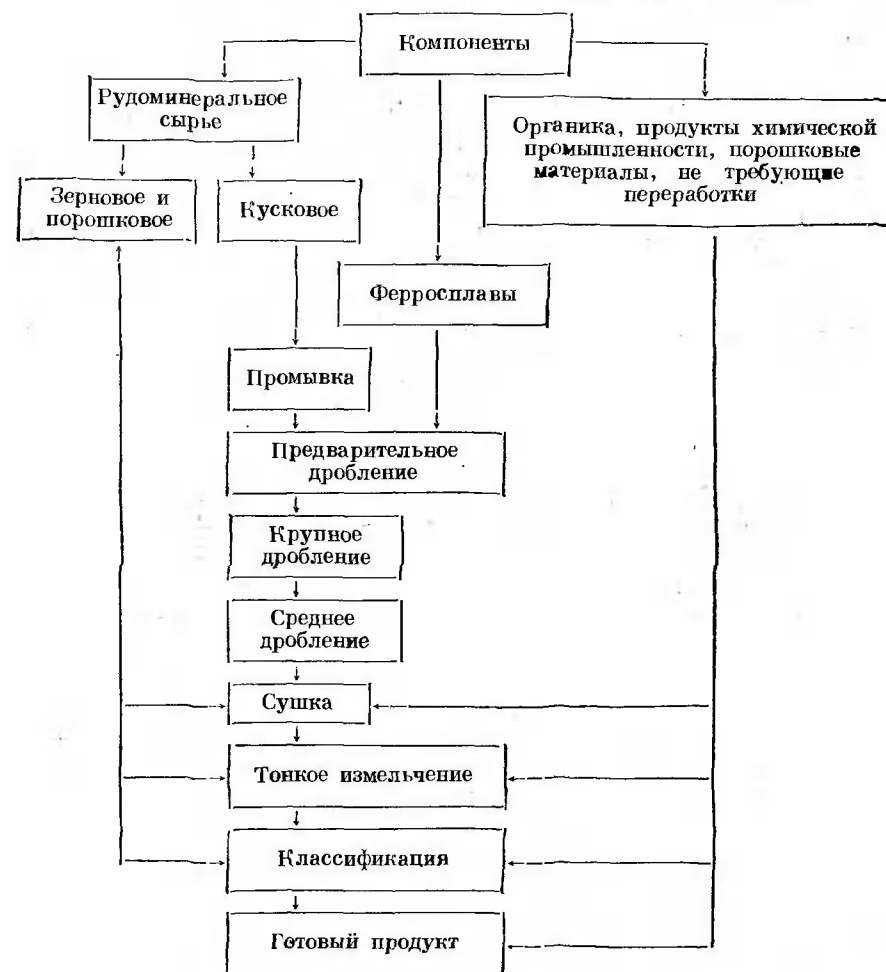
где ρ_t — плотность жидкого стекла при температуре t° ;

ρ_0 — плотность жидкого стекла при 20° .

Зависимость вязкости стекла от температуры представлена на фиг. 9.

Переработка компонентов покрытия

Переработка компонентов складывается из следующих операций:



Компоненты, пыль которых обладает сильным токсическим действием (марганцевая руда, плавиковый шпат, кремнезем, ферросплавы), должны перерабатываться с наиболее полным обеспыливанием за счет герметизации и аспирации процесса или за счет увлажнения сырья в момент его переработки.

Предельно допустимая концентрация пыли в воздухе зависит от состава вещества. Для марганца и его соединений в пересчете на MnO_2 она составляет $0,0003 \text{ мг/л}$; для пыли, содержащей кварц, кварциты и т. п. более 10% , — 2 мг/л .

Промывку можно производить на грохоте или при помощи типовых строительных машин — гравиемоек и бетономешалок.

Дробление производится под молотом, а также на щековых, конусных и валковых дробилках. Технические характеристики дробилок приведены в табл. 55—56.

Типовые дробилки применяются для всех материалов, в том числе и ферросплавов, за исключением малоуглеродистого феррохрома, низкопроцентного ферротитана ($Ti \leq 18\%$) и ферровольфрама.

Контроль крупности материала после дробления производится просевом средней пробы, взятой по ГОСТу 4423-48, на контрольном грохоте с ячейками 25 или 2 мм. Основные требования к готовому материалу — отсутствие кусков крупнее 25 мм при последующем измельчении в шаровых мельницах (желательно максимальное содержание мелких фракций) и кусков крупнее 2 мм при дальнейшем измельчении в вибромельницах.

Сушка компонентов производится в печах, основные характеристики которых приведены в табл. 57.

Для подовых сушил и муфельных печей с наружным обогревом возможно применение топлива разных сортов; для сушильных барабанов — только топлива с низким содержанием серы.

Сушка должна производиться при температурах, не изменяющих состав или свойства материала (например, при температуре 650° наступает диссоциация мрамора, — $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$).

Во всех случаях желательно стремиться к минимальной влажности (табл. 58). Для некоторых материалов (мрамор, гематит и др.), измельчаемых в непрерывном процессе с пневмотранспортом, превышение указанной в таблице влажности абсолютно недопустимо, так как вызывает забивание коммуникаций и аппаратов.

Тонкое измельчение компонентов производится в шаровых, стержневых и вибромельницах в периодическом или непрерывном цикле, в сухом процессе. Возможно применение мокрого процесса, в основном для ферросплавов.

Основные параметры режима работы мельниц приведены в табл. 59, технические данные в табл. 60.

Некоторые практические данные по измельчению разных материалов приводятся ниже:

а) схема измельчения: периодический цикл, сухой процесс в мельнице ОСЗ (диаметр шаров 60 мм; вес шаровой загрузки 360 кг, число оборотов мельницы 35 в минуту) (табл. 61);

б) схема измельчения: непрерывный цикл, сухой процесс с пневмотранспортом под разрежением в шаровых мельницах типа 4ШМ-0 (табл. 62, 63);

в) схема измельчения — непрерывный цикл, мокрый процесс в шаровых мельницах типа ШМ-0 (табл. 64, 65);

г) схема измельчения на вибропомольной установке — непрерывный цикл, сухой процесс (табл. 66, 67).

Особые условия измельчения взрывоопасных металлов и сплавов приводятся в табл. 68.

Характеристика оборудования для механической классификации приводится в табл. 69.

Контроль после измельчения и классификации

Контроль влажности. Отбор средней пробы для определения влажности производится методом квадратования или на делителе. Навеска в 5 г доводится до постоянного веса при нагреве до $105-110^\circ$. Содержание влаги не должно

55. Техническая характеристика щековых дробилок (для крупного дробления)

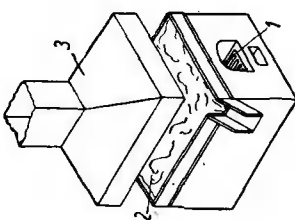
Характеристика	Тип дробилки		
	ЩДС-4	ЩДС-5	ЩС 25×40 (С-182В)
Максимальные размеры загружаемых кусков в мм	150	200	212
Крупность готового продукта в мм	10—30		
Производительность по граниту в т/час	1,6—4	3,2—9,6	3,5—14
Габаритные размеры в мм: длина ширина высота	1800 900 1160	1600 1280 1465	1330 1200 1412
Вес дробилки в т	1,54	3,4	2,58
Мощность электродвигателя в кВт	7	14	20

56. Техническая характеристика дробилок с гладкими валцами (для среднего дробления) *

Характеристика	Тип дробилки		
	ДВГ-2	ДВГ-3	СМ-12
Диаметр валков в мм	400	600	600
Длина валков в мм	250	300	400
Максимальные размеры загружаемых кусков в мм	32	40	85
Крупность дробленого материала в мм	От 2—0 до 8—0	От 2—0 до 10—0	От 10—0 до 30—0
Ориентировочная производительность в зависимости от крупности в т/час	5—20	7,6—38	До 25
Мощность электродвигателя в кВт	4,5	7,0	20
Вес дробилки в т	2,12	3,31	3,4

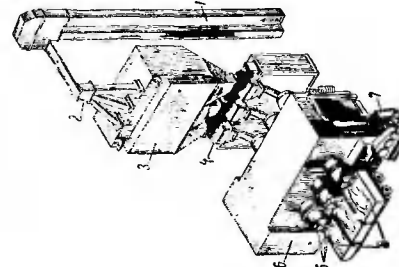
* Для среднего дробления могут также применяться конусные и шеновые дробилки со сложным качением щеки.

57. Основные характеристики установок для сушки компонентов

Схема установки	Позиции на схеме	Средняя производительность установки в т/час*	Расход условного топлива в т на 1 м материала	Параметры размеров в мм (длина, ширина, высота)	Преимущества	Недостатки
Подовое сушило 	1 — топка; 2 — плита для материала; 3 — вытяжной зонт	0,2	0,2	$3020 \times 3010 \times 1540$	Простота конструкции. Возможность сушки материала с любой влажностью, а также кускового. Возможность использования любого топлива	Ручное обслуживание. Трудность оздоровления условий труда. Низкая производительность

* Производительность и расход топлива зависят от размеров сушильной поверхности оборудования, свойств материала, влажности, рода топлива, конструкции топки и др.

Продолжение табл. 57

Схема установки	Позиции на схеме	Средняя производительность установки в т/час*	Расход условного топлива в т на 1 м материала	Параметры размеров в мм (длина, ширина, высота)	Преимущества	Недостатки
Трехмуфельная печь с наружным обогревом (мощность мотора 7,5 кВт) 	1 — элеватор; 2 — трехручевой затвор; 3 — секционный бункер; 4 — пилатели дисковые; 5 — муфели (скорость вращения 0,6 об/мин); 6 — печь; 7 — привод вращения муфелей; 8 — выход сухого материала	0,75	0,051	$5000 \times 2720 \times 1480$	Возможность механизации процесса загрузки и выгрузки. Автоматический контроль и поддержание температуры. Возможность одновременной сушки различных материалов. Аспирация оборудования	Сложность конструкции. Сложность питания кузовым и сильноточным влажным материалом. Низкий коэффициент использования тепла

* Производительность и расход топлива зависят от размеров сушильной поверхности оборудования, свойств материала, влажности, рода топлива, конструкции топки и др.

Схема установки	Позиции на схеме	Средняя производительность в $\text{м}^3/\text{час}$ *	Расход условного топлива в т на 1 м^3 материала	Габаритные размеры в мм (длина, ширина, высота)	Преимущества	Недостатки
Сушильный барабан с внутренним обогревом (мощность мотора 5 кВт)	1 — бак топлива; 2 — топка; 3 — бункер для сырого материала (питатель не показан); 4 — муфеля (скорость вращения 2 об/мин); 5 — выход сухого материала; 6 — циклон для улавливания пыли; 7 — вентилятор; 8 — труба для выброса газов	0,2—0,5	0,04	5000×1600× ×2500	То же, что для муфельной печи, за исключением возможности одновременной сушки различных материалов. Высокий коэффициент использования тепла	Сложность конструкции. Ограниченный выбор топлива. Унос материала с топочными газами. Сложность питания кусковым и сильно влажным материалом

* Производительность и расход топлива зависят от размеров сушильной поверхности оборудования, свойств материала, влажности, габаритов, конструкции топки и др.

58. Контроль влажности материала после сушки

Метод контроля	Влажность в %		
	Руда	Нерудные материалы	Ферросплавы
Сушка пробы с доведением до постоянного веса. Проба для кусковых материалов 1—1,5 кг, для зерновых 0,2—0,5 кг	<0,1	<0,1	<0,05

59. Основные параметры режима работы мельниц

Параметры	Расчетные формулы
Число оборотов мельницы (n)	$n = \frac{31}{\sqrt{D}} \text{ об/мин.}$ где D — внутренний диаметр мельницы в м (без футеровки)
Диаметр шаров, загружаемых в мельницу ($D_{ш}$), зависит от крупности материала, поступающего в мельницу, и крупности готового порошка	$D_{ш} = 28\sqrt[3]{d} \text{ мм,}$ где d — максимальный размер кусков питания в мм
Вес шаровой загрузки мельницы ($P_{ш}$) определяется из приближенного соотношения $P_{ш}$ с внутренним объемом мельницы V в м^3	$P_{ш} = 1,5 V \text{ т}$
Вес стержней P_c (для стержневой мельницы)	$P_c = 1,9 V \text{ т}$
Вес материала, загружаемого в шаровую мельницу ($Q_{м. ш}$) определяется по формуле:	$Q_{м. ш} = \frac{P_{ш} \cdot \gamma}{15} \text{ т,}$ где γ — удельный вес материала
То же, для стержневой мельницы	$Q_{м. с.} = \frac{P_c \gamma}{30} \text{ т}$
Объем материала в мельнице должен составлять $\frac{2}{3}$ объема пустот между измельчающими телами	—

Тип мельницы	Область применения		Мощность мотора в кВт	Габаритные размеры в мм (с приводом)			Основные преимущества	Недостатки
	По материалу	По циклу и процессу		Длина	Ширина	Высота		
ОСЗ (опытного сварочного завода). Барабан 680×840 мм (12-гранный)	Для всех материалов	Периодический цикл; сухой процесс	2,8	4750	930	1450	Простота устройства. Легкость переключения с материала на материал. Малые габариты. Возможность измельчения различных материалов	Необходимость ручного обслуживания. Трудность обслуживания. Периодичность работы. Низкая производительность
Стальная Крупная	Для взрывоопасных ферросплавов	Непрерывный цикл; сухой процесс	—	—	—	—	Возможность получения материала с малым содержанием пылевидных фракций	Невозможность измельчения слипающихся и комкующихся компонентов (мрамор и др.). Сложность смены сеток и контроль за их сохранностью

Продолжение табл. 60

Тип мельницы	Область применения		Мощность мотора в кВт	Габаритные размеры в мм (с приводом)			Основные преимущества	Недостатки
	По материалу	По циклу и процессу		Длина	Ширина	Высота		
4ПМ-О Барабан 900×900 мм	Для всех материалов, кроме взрывоопасных ферросплавов	Непрерывный цикл с пневмотранспортом под разрежением. Сухой процесс	14	~2100	2000	1500	Надежность конструкции. Возможность полного обеспыливания как при сухом, так и при мокром процессах	Громоздкость установки. Сложность обслуживания рукавных фильтров в непрерывной схеме с пневмотранспортом. Необходимость ручного обслуживания центрифуг при мокром процессе. Большая влажность готового продукта
ПМ-О Барабан 900×600 мм	То же	Непрерывный цикл в мокром процессе	42				То же	То же
СМ-15 Барабан 1800×900 мм	»	»	20	2700	~2300	~1600	То же	То же
Вибромельница. Барабан объемом 230 л	Для всех материалов, кроме ферросплавов, при условии питания мельницы материалами не кусками не крупнее 2 мм	Непрерывный цикл с пневмотранспортом под давлением. Сухой процесс	14	4200	1000	1400	Малые габариты. Высокая производительность	Особая тональность шума, тяжело воспринимаемая обслуживающим персоналом. Необходимость специальной подготовки материала крупностью не более 2 мм

Примечание. Габариты установок зависят от условий монтажа.

Материал (исходная крупность 40 мм)	Вес загрузки матери- ала в кг	Время измельчения в час.	Производительность по готовому продукту в кг/час	№ сита по преysкуранту Главэлктросбита				Остаток на сите в %
				40	100	270	—270	
				Размер ячеек в мм				
				450	140	56	—56	
				Число отверстий на 1 см ²				
				252	1890	10 000		
Гранит	90	1,5	50	Следы		До 8	25—40	Остальное
Гематит	140	1,0	120				20—40	
Марганцевая руда	130	2,0	60			До 10	30—40	
Полевой шпат	90	1,5	50				30—40	
Кварцевый песок		2,0	40			2—7	30—50	
Мрамор	80		45			До 10	30—40	
Плавленый шпат	120		75			3—10	20—40	
Ферротитан		1,5	90					
Ферромарганец дистый	150	0,75	180			Не более 5	Остальное	Не более 15
Ферросилиций	130	0,5	190					

№ позиции на схеме	Наименование и характеристика
1	Шаровая мельница 4ШМ-О
2	Загрузочный бункер для исходного материала
3	Тарельчатый питатель. Редуктор $i=10$; диаметр тарелки 350 мм; мощность мотора 0,6 кВт; производительность по мрамору 450—600 кг/час
4	Регулятор подсоса воздуха в вертикальную трубу
5	Классификатор по измененной схеме Рыбчевского. Пропускная способность по воздуху 2000 м³/час; к. п. д. 35%; $D=800$ мм; $H=2720$ мм
6	Циклон НИИОГАЗ. Пропускная способность по воздуху 1500 м³/час; к. п. д. 94%; $D=350$ мм; $H=1500$ мм; $d_{вн}=100$ мм
7	Фильтр ФВ-60. Нормальный подсос 15%; сопротивление 40 мм вод. ст.; рукавная ткань — сукно № 2 по ГОСТу 6986-54; мощность мотора 1,6 кВт; длина 2505 мм; ширина 1580 мм; высота 4100 мм
8	Вентилятор ВВД-8. Производительность 5000 м³/час; давление 500 мм вод. ст.; $n=1530$ об/мин; мощность мотора 10 кВт
9	Трубопровод диаметром 220 мм к сепаратору. Толщина стенки 7 мм; скорость воздушного потока в точке а 21 м/сек
10	Трубопровод диаметром 194 мм. Толщина стенки 7 мм
11	Клапаны-мигалки
12	Регулировочная дроссельная заслонка диаметром 250 мм
13	Бункер для готового продукта

Габаритные размеры установки в мм: длина 7500, ширина 4500, высота 8700; диаметр шаров 80 мм. Вес 900 кг.
Число оборотов мельницы 33 в минуту.

63. Средняя производительность установки (табл. 62) и примерная характеристика готового продукта (остаток на сите в %)

Материал	Исходная крупность в мм	Производительность в кг/час *	№ сита по преискуртанту Главэлктросбыта **				
			40	100	200	270	—270
			Остаток на сите в %				
Мрамор	40	550	0	4—6	5—10	20—30	Остаток
Плавленый шпат		420	0	5—10	10—15	15—20	
Марганцевая руда	20	200	0	10—15		10—20	
Гематит	15	250	0	5—10	5—10	5—15	

* Все измерения при положении просея 70°.

** Характеристика сит см. в табл. 61 и 71.

Для сита № 200 размер ячейки 71 мм, число отверстий на 1 см² 6400.

превышать: для рудных и нерудных компонентов 0,1%, для ферросплавов 0,05%, для целлюлозы, крахмала и декстрина 10,0%.

Контроль за крупностью производится путем просева проб весом 10—20 кг через сито с ячейкой 450 мм (№ 40). На сите не должно быть никакого остатка, кроме единичных пластинок и игл.

Контроль зернового состава готового продукта. Отобранную среднюю пробу весом 50 г рассыпают на приборе типа 026 с набором сит. Пробы слеживающихся, слипающихся и комкующихся материалов предварительно промываются через сито с ячейкой 56 мм, и после сушки при 105—110° остаток рассеивается на приборе 026 через набор сит.

Желательный зерновой состав готового продукта приведен в табл. 70. При определении зернового состава тонких фракций (мельче 56 мм) применяется седиментационный метод (Фигуровский, Седиментометрический анализ, изд. АН СССР, Москва — Ленинград, 1948).

64. Характеристика установки



65. Средняя производительность установки (табл. 64) по размолу малоуглеродистого ферромарганца и примерная зерновая характеристика готового продукта (остаток на сите в %)

Производительность в кг/час	Влажность готового продукта в %	№ сита по преискуранту Главэлктросбыта *				
		40	100	200	270	—270
		Остаток на сите в %				
200—240	2—3	До 1	10—15	40—50	10—20	20—30

* Характеристику сит см. в табл. 61 и 71. Для сита № 200 размер ячейки 71 мк, число отверстий на 1 см² 6400.

66. Характеристика установки

Схема установки	№ позиции на схеме	Наименование и характеристика
	1	Бункер для исходного материала
	2	Четырехсекционные барабанные питатели
	3	Вибромельница
	4	Классификатор воздушно-проходной с поворотными лопатками
	5	Вентилятор ВВД-5; максимальное давление 500 мм вод. ст.; расход воздуха 850 м ³ /час; мощность мотора 2,8 квт; n=2880 об/мин
	6	Циклон НИИОГАЗ ЦН-1,5. Диаметр 250 мм

Габаритные размеры установки в мм: длина 2500, ширина 1600, высота 2320 (изменяется в зависимости от принятой схемы размещения и объема бункеров). Диаметр шаров 20 мм. Вес 740 кг.

67. Средняя производительность вибромольной установки (табл. 66) и примерная зерновая характеристика готового продукта (остаток на сите в %)

Материал (исходная крупность 2 мм)	Производительность в кг/час	№ сита по преискуранту Главэлктросбыта *				
		40	100	200	270	—270
		Остаток на сите в %				
Ильменит	240	—	5—7	5—7	5—10	Остальное
Плавиковый шпат	400	0,3	5—7	5—10	15—30	
Мрамор	450	0,4	5—10	5—10	5—10	
Марганцевая руда	240		3—5	5—10	5—10	

* Характеристику сит см. в табл. 61 и 71. Для сита № 200 размер ячейки 71 мк, число отверстий на 1 см² 6400.

Примечание. При использовании указанного выше классификатора в готовом продукте наряду с большим количеством мелких фракций наблюдаются частицы крупнее 450 мк. В настоящее время разработана более совершенная конструкция классификатора.

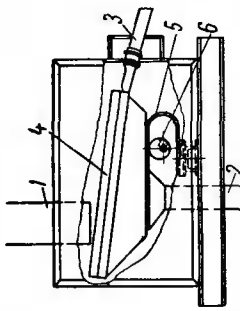
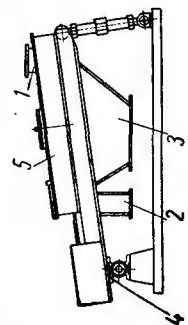
68. Измельчение металлического марганца, мало- и среднеуглеродистого ферромарганца и ферротитана

Условия измельчения	Особые меры предосторожности
1. В сухом процессе, в периодическом цикле, с добавкой в мельницу предварительно измельченного инертного материала (полевого шпата, гранита, мрамора) в количестве не менее 10% от веса загружаемого ферросплава *	Обязательное заземление мельниц. Обеспечение полной их герметизации. Установка предохранительных клапанов в торцовых стенках мельницы. Вскрытие люка через 10—15 мин. после остановки мельницы. Размещение пусковых приборов в стороне от мельницы. Желательно размещение мельницы в бетонном блоке (пусковые приборы вне блока)
2. В сухом процессе, в периодическом цикле, с заполнением объема шаровой мельницы углекислым газом или азотом *	Мельница включается только после заполнения ее объема инертным газом. В остальном меры предосторожности те же, что и в предыдущем случае
3. В мокром процессе, в непрерывном цикле, с добавкой в шаровую (или стержневую) мельницу в процессе измельчения двуххромовокислого калия (K ₂ Cr ₂ O ₇) для предупреждения спекания и для пассивирования ферромарганца. Обязательная циркуляция в системе раствора хромпика определенной концентрации	Усиленная вентиляция установки для измельчения и обезвоживания с целью удаления газов, выделяющихся при взаимодействии ферромарганца с водой

* Во избежание воспламенения и взрывов.

89. Оборудование для механической классификации

Схема установки	Наименование	№ позиции на схеме	Наименование и характеристика
	Инерционное сито ОСЗ	1 2 3 4 5 6	Бункер для исходного продукта Дисковый питатель Редуктор, $i = 10$ Кривошипный механизм качания сита, обеспечивающий 150 качаний в минуту Сито, имеющее предохранительную сетку № 10, рабочую сетку № 40, опорную сетку для мячей, резиновые мячи диаметром 60 мм; площадь сетки $0,4 \text{ м}^2$ Мотор мощностью 0,6 кВт, 1480 об/мин для привода питателя и сита
Габаритные размеры в мм: длина 1920, ширина 730, высота 1286. Производительность 200—400 кг/час в зависимости от характера материала.			

Схема установки	Наименование	№ позиции на схеме	Наименование и характеристика
	Вибрационное сито завода Куйбашев-гидростроя	1	Труба от элеватора для питания сита
		2	Труба для выхода готового продукта
		3	Труба для выхода возврата (отсеков)
		4	Короб сита с рабочей сеткой № 40 (площадь сетки 0,5 м²)
		5	Рессорная опора
		6	Электровибратор с мотором мощностью 0,4 кВт, обеспечивающий 2800 вибраций в минуту
Габаритные размеры в мм: длина 1400, ширина 730, высота 1280. Производительность 200—400 кг/час в зависимости от характера материала.			
	Вибрационное сито Славянского завода	1	Труба для подачи материала на сито
		2	Труба для выхода возврата (отсеков)
		3	Выход готового продукта
		4	Электромагнитный привод, обеспечивающий 3000 колебаний в минуту с амплитудой 0,5—1,0 мм
		5	Короб с сетками (предохранительная сетка № 10—15, рабочая № 40 площадью 0,6 м²)
		6	
Габаритные размеры в мм: длина 1870, ширина 775, высота 855. Производительность 200—400 кг/час в зависимости от характера материала.			

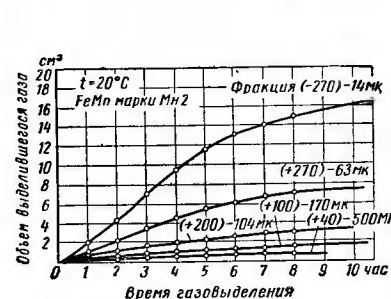
70. Требования к зерновому составу компонентов

Наименование материала	Остаток на ситах в % (№ сит по преискурantu Главэлэктросбыта 1)				
	40	50	200	270	—270
Для рудоминеральных материалов (исключая мрамор и плавиковый шпат)	0	Не более 1	10—40	Остальное	Остальное
Для мрамора и плавикового шпата	0	Не более 1	35—50	Остальное	Остальное
Для ферросплавов, кроме ферротитана и доменного ферромарганца	0	Не более 5	Остальное	Не более 45	Не более 7
Для доменного ферромарганца	0	Не более 2	Не более 5	Не более 10	Остальное
Для ферротитана	0	Не более 2	Не более 2	Остальное	30—60

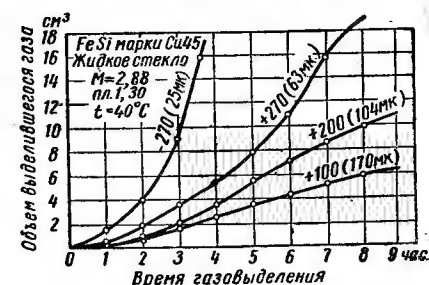
1 Размер ячейки в свету и число отверстий на 1 см² указаны в табл. 61 и 71. Для сита № 200 размер ячейки 71 мк, число отверстий на 1 см² 6400.

Для контроля за режимом размола может быть применен прибор ПСХ-2, описание которого см. в «Информационном сообщении» № 21 ВНИИТЭСМА, Промстройиздат, 1956.

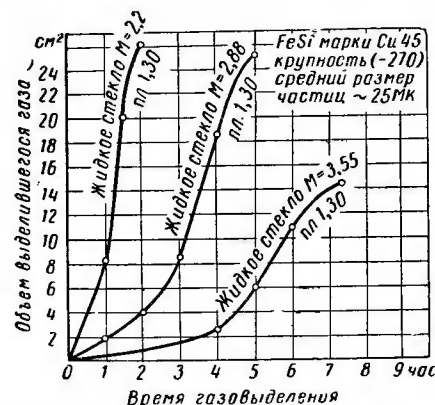
Для получения обмазочных масс с высокими пластическими свойствами желательно иметь в составе рудных и нерудных материалов шихты (исключая мрамор и плавиковый шпат) 15—25% фракций с размером частиц ≤ 10 мк.



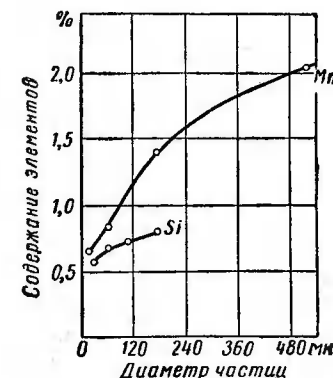
Фиг. 12. Выделение газа при взаимодействии малоуглеродистого ферромарганца марки Mn-2 различной крупности с водой при температуре 20°.



Фиг. 13. Выделение газа при взаимодействии ферросилиция марки Si-45 различной крупности с раствором жидкого стекла $P=1,30$, $M=2,88$ при температуре 40°.



Фиг. 14. Выделение газа при взаимодействии ферросилиция марки Si-45 (фракция 270) с раствором жидкого стекла при различных значениях модуля и температуре 40°.



Фиг. 15. Переход Mn и Si из покрытия УОНИ-13/55 в металл шва при различной крупности малоуглеродистого ферромарганца марки Mn-2 и ферросилиция марки Si-45.

Применение компонентов с большим содержанием тонких фракций усложняет процесс сушки и прокатки электродов и может привести к появлению трещин на покрытии. Применение тонких фракций порошков малоуглеродистого и среднеуглеродистого ферромарганца и ферросилиция ускоряет процесс твердения обмазочной массы в головке пресса, снижает степень перехода соответствующих элементов в шов.

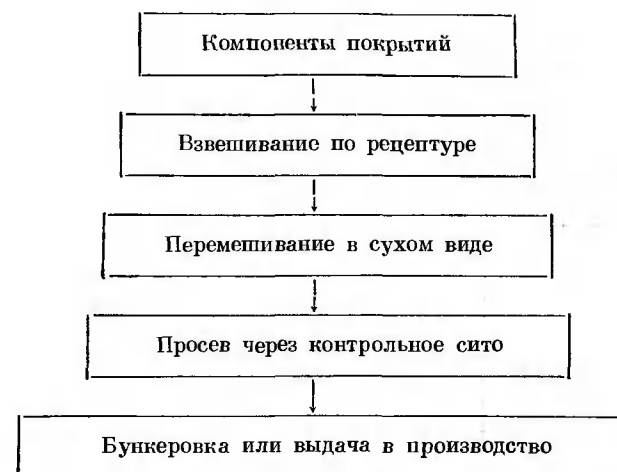
Влияние зернового состава ферросплавов на некоторые процессы при изготовлении электродов и при сварке представлено графиками на фиг. 12—15.

71. Характеристика латунной сетки для просева

№ сетки		Размер ячейки в мм	Диаметр проволоки в мм	Средний вес 1 м ² сетки в кг	Число ячеек на 1 см ²	Число проволок на 1 пог. см
По ГОСТу 6613-53 или ГОСТу 3584-53	По преискурранту Главэлектросбыта					
2,5	—	2,5	0,50	1,18	11,2	3,3
2	10	2,0	0,50	1,41	16,0	4,0
1,6	12	1,6	0,45	1,39	23,8	4,9
1,25	15	1,25	0,40	1,33	34,6	5,9
1	18	1,0	0,35	1,23	54,9	7,4
09	20	0,90	0,35	1,38	64,0	8
08	—	0,80	0,30	1,20	82,6	9,1
07	25	0,70	0,30	1,27	98,0	9,9
063	—	0,63	0,25	1,00	130,0	11,4
056	32	0,56	0,23	0,97	160,0	12,6
05	35	0,50	0,22	0,94	198	13,9
045	40	0,45	0,18	0,72	252	15,9
04	45	0,40	0,15	0,58	331	18,2
0355	50	0,355	0,16	0,63	400	20,0
0315	55	0,315	0,14	0,61	494	22,2
028	60	0,280	0,14	0,65	567	23,8
025	65	0,250	0,13	0,62	694	26,4
0224	70	0,224	0,13	0,66	763	27,8
02	75	0,200	0,13	0,72	918	30,3
018	80	0,180	0,13	0,76	1 040	32,3
016	90	0,160	0,12	0,72	1 480	38,5
—	100	0,154	0,10	0,54	1 600	39,4
014	—	0,140	0,09	0,56	1 890	43,5
0125	120	0,125	0,09	0,54	2 130	36,5
0112	130	0,112	0,08	0,46	2 630	31,5
01	150	0,100	0,07	0,40	3 460	58,8
009	160	0,090	0,07	0,43	3 900	62,5
008	190	0,080	0,055	0,30	5 476	74,0
0071	200	0,071	0,055	0,33	6 400	80,0
0063	230	0,063	0,045	0,25	8 270	91,0
0056	270	0,056	0,04	0,24	10 095	104,0
005	300	0,050	0,035	0,21	13 900	118,0
0045	325	0,045	0,035	0,22	15 000	125,0
004	350	0,040	0,030	0,21	20 450	143,0

Примечание. Сетки с номерами, выраженными в меш (число ячеек на 1 пог. дюйм), приблизительно соответствуют сеткам с такими же номерами по преискурранту Главэлектросбыта.

Приготовление сухой шихты

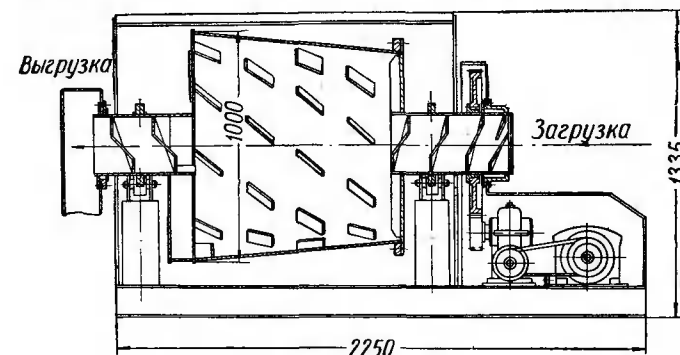


В состав шихты может вводиться 5—8% возвратной обмазочной массы (из-под щеток зачистных машин и с других участков) при надлежащей ее чистоте. Возвратная масса предварительно сушится, измельчается и классифицируется.

Оборудование для приготовления шихты выбирается в зависимости от объема производства, степени его механизации и принятого способа транспортирования компонентов после взвешивания (табл. 72).

Оборудование для сухого смешивания

Схема установки: а) Барабанный реверсивный смеситель конструкции Гипрометиза (фиг. 16). Вес шихты 200 кг. Время перемешивания 8 мин. Время



Фиг. 16. Барабанный реверсивный смеситель конструкции Гипрометиза.

разгрузки 1,5—2 мин. Скорость вращения 23 об/мин. Мощность мотора 1,7 квт. Габаритные размеры в м: длина 2,34; ширина 1,15; высота 1,33.

72. Оборудование для взвешивания

Способы транспортирования компонентов после взвешивания	Тип весов	Основная характеристика
Взвешивание в индивидуальные контейнеры, установленные на весах	Ш-50-П	Предельная нагрузка 50 кг, минимальная — 2,5 кг. Точность взвешивания при нагрузке до 10 кг — 10 г, при нагрузке ≥ 10 кг — 1/1000 от веса груза
	Десятичные весы с платформой ВПГ-1	—
Взвешивание в контейнер или на транспортер, передающий компоненты в смеситель	Автоматические весовые дозаторы ДМС-1-20	Производительность при максимальной порции взвешивания до 1,2 т/час. Погрешность при порции 20—10 кг — 1% от веса порции; 10—5 кг — 0,5% предельной нагрузки; 5—1 кг — 0,2% от предельной нагрузки. Габаритные размеры в мм: длина — 0,832; ширина — 0,664; высота — 1,065. Взвешивание порции от 1 до 20 кг

73. Контроль качества сухой шихты

Контролируемые параметры	Методы контроля	Требования к готовой шихте
Точность взвешивания	Систематическая проверка оборудования контрольными грузами	Точность взвешивания должна быть в пределах, обеспечиваемых данным видом оборудования

Продолжение табл. 73

Контролируемые параметры	Методы контроля	Требования к готовой шихте
Качество перемешивания	а) Изготовление контрольных партий электродов с определением химического состава наплавленного металла б) Определение марганца и других легирующих элементов в средней пробе шихты химическим способом в) При содержании в шихте органики — определение количества летучих прокаливанием средней пробы шихты	Содержание легирующих элементов в наплавленном металле должно находиться в пределах, указанных в паспорте на электроды
Наличие крупных частиц или случайных засорений	Просев средней пробы на контрольном сите	Полное отсутствие остатка на сите с размером ячейки 450 мк (кроме отдельных пластинок и игл)

б) Смешивание — в контейнере на роликовом приводе. Перемешивание ведется одновременно в двух контейнерах. Емкость контейнера 100 кг. Время перемешивания 8 мин. Скорость вращения 48 об/мин. Мощность 2,8 кВт. Габаритные размеры в мм: длина 2,8, ширина 0,85, высота 0,9.

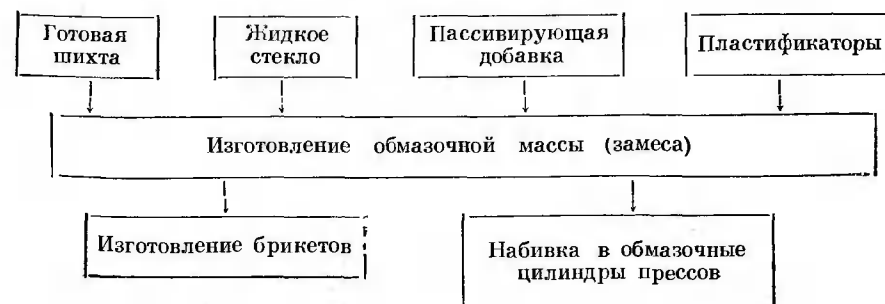
в) Смеситель типа «пьяная бочка».

Методы контроля качества сухой шихты приведены в табл. 73.

Приготовление обмазочной массы (замеса)

Из двух способов нанесения покрытия — опрессовкой и окунанием — первый является наиболее совершенным и распространенным. К основным его преимуществам можно отнести возможность механизации и автоматизации процесса изготовления электродов и контроля за операцией нанесения покрытия, высокая стабильность качества продукции, высокая производительность труда.

Ниже приводится схема и описание процесса приготовления обмазочной массы применительно к опрессовке.



74. Пассивирующие добавки и пассивирование ферросплавов

Наименование добавки	Порядок приготовления и введения в замес
Насыщенный раствор марганцевокислого калия (KMnO_4)	Чистая вода насыщается KMnO_4 до выпадения его избытка на дно. Раствор вводится в жидкое стекло и тщательно с ним перемешивается. Количество раствора KMnO_4 составляет около 20—40 см^3 на 1 л жидкого стекла
Насыщенный раствор хромпика ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)	Порядок приготовления и введения в замес такой же, как при добавке KMnO_4 . Вводится в количестве около 30—40 см^3 на 1 л жидкого стекла. Применяется добавка сухого хромпика в автоклав при разварке силикатной глыбы из расчета 9 г хромпика на 1 кг готового жидкого стекла. Полученное жидкое стекло содержит пассивирующую добавку
Глицерин	Вводится в жидкое стекло 0,5—1% к его объему
Примечания: 1. При введении пассивирующих добавок отпадает необходимость пассивирования мало- и среднеуглеродистых сортов ферромарганца и ферросилиция марки Сп-45 (при его небольшом процентном содержании в шихте). 2. При наличии в обмазочной массе большого количества ферросилиция последний подвергается пассивированию. Измельченный ферросилиций в течение 15 мин. кипит в насыщенном растворе хромпика, после чего раствор сливается, а ферросилиций высушивается при температуре 150—200°. 3. Пыль KMnO_4 и $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, а также их растворы могут вызывать сильные ожоги; поэтому работать с ними необходимо очень осторожно.	

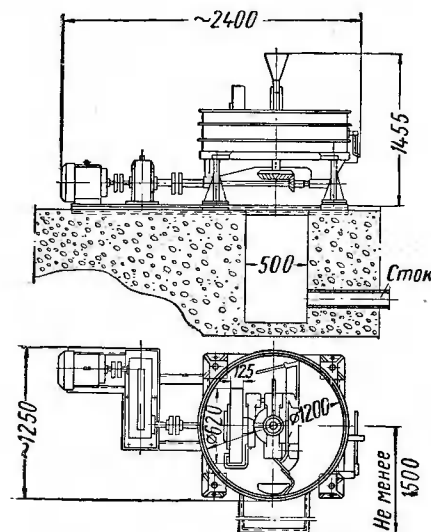
75. Пластификаторы

Пластификаторы	Порядок введения	В какие покрытия преимущественно вводятся	Количество в %	Степень влияния на пластичность	Влияние на процесс сушки и качество покрытия электродов
Сода	В сухую шихту	Кальциево-фтористого типа	0,3—1 к весу сухой шихты	Сильно повышает	При высоком содержании сильно затрудняет сушку; покрытие вспухает, прочность его снижается

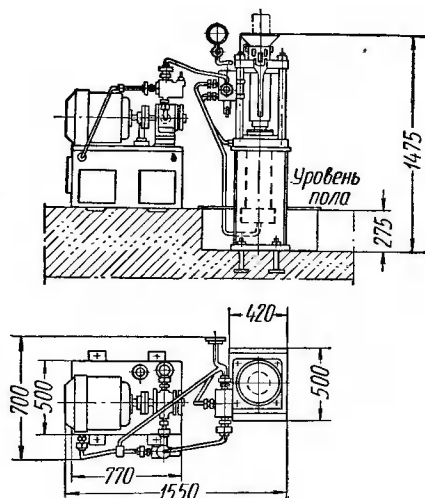
Пластификаторы	Порядок введения	В какие покрытия преимущественно вводятся	Количество в %	Степень влияния на пластичность	Влияние на процесс сушки и качество покрытия электродов
Поташ	То же, или в жидкое стекло при его варке	Кальциево-фтористого типа и рудоминерального типа	1—2	То же, при больших количествах вызывает растекание обмазочной массы	Затрудняет сушку, покрытие вспухает
Молотая силикатная глыба как частичный заменитель кварца	В сухую шихту	То же	До 5	Повышает	Несколько затрудняет сушку
Слюда как частичный заменитель гранита, полевого шпата или кварца	То же	Рудоминерального и известкового типа	До 5	То же	То же
Каолин	То же	То же	До 3	»	»
Декстрин как частичный заменитель крахмала	»	Рудоминеральные	До 3	Сильно повышает	Значительно затрудняет сушку, снижает прочность покрытия
Примечания: 1. Пластификаторы вводятся в сухую шихту в процессе ее приготовления или в обмазочную массу для повышения ее пластичности. 2. Органика (крахмал, целлюлоза и др.), вводимая в покрытие ряда марок электродов в качестве газообразующего компонента, в то же время является пластификатором, повышающим пластичность обмазочной массы. 3. На металл шва пластификаторы заметного влияния не оказывают.					

Для приготовления замеса сухой шихты с жидким стеклом рекомендуется пользоваться бегунковой месилкой.

Представленная на фиг. 17 бегунковая месилка ОСЗ имеет следующие технические данные: мощность мотора 7 кет; при изготовлении замеса шихты для



Фиг. 17. Бегунковая месилка типа ОСЗ.



Фиг. 18. Брикетировочный пресс типа ОСЗ-2.

электродов типа ОММ-5 производительность ~350 кг/час, максимальный замес 120 кг, минимальный 30 кг; время приготовления замеса 15—30 мин.

Для удобства зарядки электродного пресса обмазочной массой из последней готовятся брикеты (в случае несъемных обмазочных цилиндров) на специальном брикетировочном прессе (фиг. 18, табл. 76).

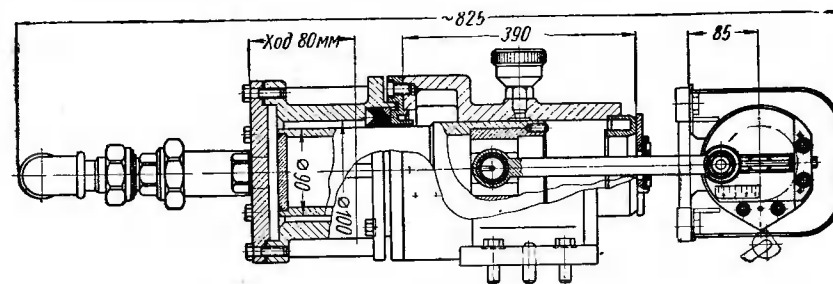
76. Техническая характеристика брикетировочных прессов

Наименование показателей	Тип пресса		
	ОСЗ-2	ОСЗ-3	ПБ-210
Усилие в т	10	30	10
Диаметр брикета в мм	110	165	96
Длина брикета в мм	250	280	250
Производительность пресса (по массе ОММ-5) в кг/час	500	1000	400
Мощность мотора в кет	4,5	7	4,5

Для дозирования жидкого стекла рекомендуется применять дозатор конструкции ВНИИАШа (фиг. 19).

Техническая характеристика дозатора жидкого стекла

Максимальный объем подаваемой жидкости за один импульс в см ³	500
Производительность насоса в л/мин	11,5
Мощность электродвигателя типа АО 34-4 в кет	1
Габаритные размеры в мм:	
длина	~56,5
ширина	~370
высота	~925



Фиг. 19. Дозатор жидкого стекла.

Контроль готовой массы и брикетов

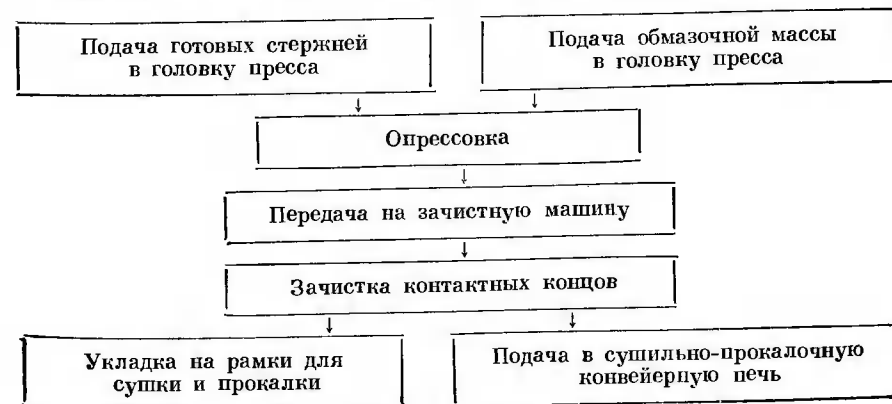
Однородность смешивания устанавливается внешним осмотром массы и по излому куска. По внешнему виду масса имеет сходство с готовой формовочной землей. В изломе она должна иметь раковистое строение без посторонних включений, частиц сухой шихты и отдельных окатанных частиц. Цвет массы по всему объему должен быть одинаковым. Технологические свойства массы примерно могут характеризоваться величиной нагрузки, необходимой для ее истечения из отверстия цилиндра при постоянной скорости движения поршня, и твердостью.

Величина нагрузки, соответствующая истечению массы из отверстия диаметром 4 мм при внутреннем диаметре цилиндра 35—36 мм и скорости движения поршня 1—2 мм/мин, для разных масс должна составлять от 1500 до 3000 кг.

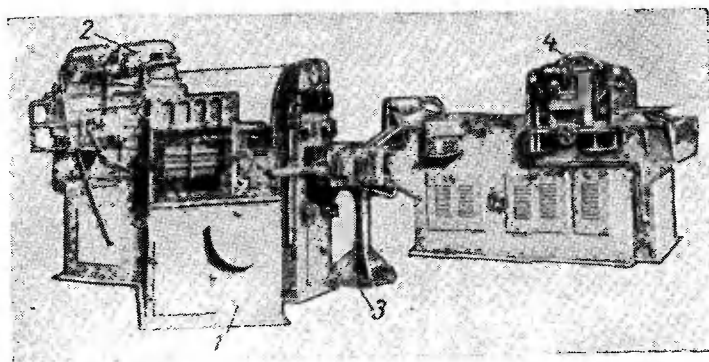
Твердость определяется отношением нагрузки в 5 кг, действующей в течение 2 сек., к площади отпечатка на плоскости образца, отформованного из массы. Диаметр и высота образца 20 мм. При указанных условиях твердость готовой массы должна быть равна 2—3 кг/см².

Нанесение покрытия (опрессовка электродов)

Процесс нанесения покрытия происходит по следующей схеме



Все указанные в схеме операции производятся на электрообмазочном агрегате (фиг. 20), состоящем из пруткового питателя 1, пресса 2, передаточного транспортера 3, зачистной машины 4 (табл. 77).



Фиг. 20. Общий вид электрообмазочного агрегата типа ОСЗ-3.

77. Техническая характеристика агрегатов для опрессовки электродов

Тип агрегата	Длина электрода в мм	Производительность по электродам марки ОММ-5 в т за 8 час. при диаметре электрода в мм							Количество электродов в кат	Мощность агрегата в кет	Габаритные размеры в мм			Вес агрегата в т
		2	3	4	5	6	8	10			длина	ширина	высота	
АОЭ-1	350—450	—	1,0	2,5	3—3,5	3,5	—	—	5	11,45	6200	3500	1780	5,0
АОЭ-2		—	3,2	6,5 *	7,0 *	7,5 *	8,0 *	9,0 *	6	35,0	7000	5000	2500	15,0
ОСЗ-2	300—450	1,0	3,1	5,3	5,6	5,3	—	—	7	17,8	4600	4400	1800	5,5
ОСЗ-3	350—450	—	3,8	9,0	11,0	11,0	12,0	12,0	8	30,8	5000	4900	2450	8,7
ЭУ-2	250—450	0,8	1,8	2,4	3,0	3,0	—	—	5	9,0	5520	3400	1825	4,02

* При работе с подающим механизмом модели ОСЗ-4 производительность агрегата повышается на 20—30%.

Подача прутков и проволоки в головку пресса производится прутковыми питателями (табл. 78 и 79).

Наибольшее применение нашли схемы механизма подачи прутков, изображенные на фиг. 21 и 22, где 1 — захватывающие и 2 тянущие ролики.

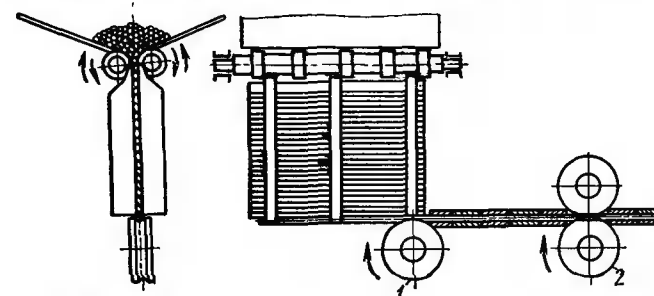
Питатели состоят из бункера для проволоки, механизма для подачи проволоки из бункера в захватывающие ролики и механизма подачи проволоки в головку пресса. В питателях модели ОСЗ регулирование скорости подачи прут-

ков или ступенчатое (четырёхскоростной мотор и коробка передач, — всего 12 ступеней, модель ОСЗ-4), или плавное (бесступенчатый вариатор, модель ОСЗ-2).

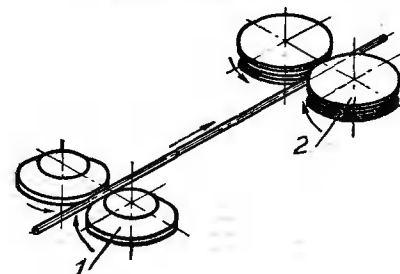
В питателях модели ЦНИИТМАШа регулирование скорости подачи прутков производится или при помощи бесступенчатого вариатора системы Светозарова (модель АОЭ-1), или при помощи привода, работающего на постоянном токе.

Электрообмазочные прессы выпускаются с механическим или гидравлическим приводом. Пресс типа ОСЗ-3 с гидравлическим приводом изображен на фиг. 23.

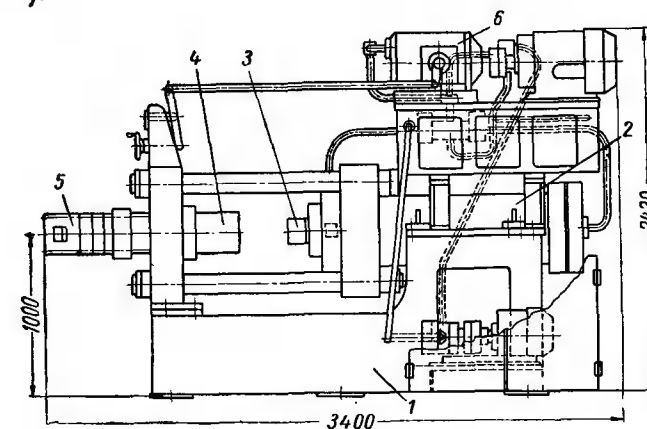
Технические характеристики прессов приведены в табл. 80.



Фиг. 21. Схема подачи стержней в головку пресса питателем ОСЗ.



Фиг. 22. Схема подачи стержней в головку пресса питателем ЦНИИТМАШа.



Фиг. 23. Электрообмазочный пресс типа ОСЗ-3: 1 — станина; 2 — масляный цилиндр; 3 — поршень; 4 — обмазочный цилиндр; 5 — головка пресса; 6 — масляный насос.

78. Технические характеристики питателей

Тип питателя	Длина стержня в мм	Диаметр стержня в мм	Окружная скорость тянущих роликов в м/мин	Пределы регулирования выдачи стержней в шт/мин при $d = 5 \text{ мм}$ и $l = 450 \text{ мм}$	Мощность моторов * в кет	Габаритные размеры в мм (длина, ширина, высота)
АОЗ-1	350—450	3—8	31,2—195	68—300	1,4	1200×500×1615
АОЗ-2		3—10	63—250	125—380	3,8	1570×620×1590
ОСЗ-3	250—450	2—10	45—180	100—400	2,8	1400×820×1570
ОСЗ-4			70—330	155—600	6,5	1650×860×1656
ЭУ-2	200—450	2—6	16—80	36—180	1,7	970×520×1540

* На каждый питатель — один мотор.

79. Сменные детали к питателям

Наименование	Материал	Обработка
Захватывающие ролики	Сталь Ст.3, Ст.5 с наплавкой электродами марки Т-590 или с нанесением победита искровым способом	Шлифование без термообработки
Тянущие ролики	Сталь Ст.3 с цементацией или с наплавкой электродами марки Т-540; сталь ШХ-15	Во всех случаях закалка. Твердость HRC 59—61

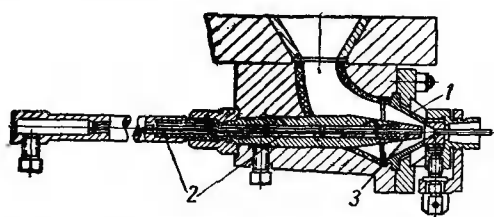
Примечание. Угол захвата для обычной проволоки 12°, для проволоки из алюминия 18°.

80. Техническая характеристика прессов для нанесения покрытия

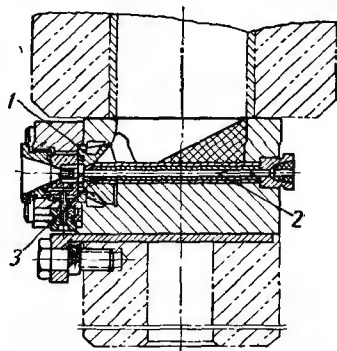
Тип прессы	Тип привода	Объем обмозочного цилиндра в л	Диаметр цилиндров в мм		Уши в м	Максимальное давление в головке в кГ/см²	Скорость хода поршня в мм/мин			Число моторов	Мощность моторов в квт	Тип насосов		Положение относительно питателя	Габаритные размеры в мм (длина, высота, ширина)
			масляного	обмозочного			рабочего	холостого	обратного			рабочего	вспомогательного		
АОЗ-1	Механический	10,5	—	130	50	400	26—442	960—3860	960—3860	1	8	—	—	90°	2800×700×1700
		25	360	170	200	800	До 490	2450	3050		20	НПС-50	ЛЗ4С-200		3500×1700×1800
ОСЗ-2	Гидравлический	7	280	115	73	720	До 350	1150	1300		7	Лопастной заводской ЗИЛ	ЛЗФ-50	45°	2900×880×1805
ОСЗ-3		18	360	170	160	700	До 490	1860	2320	2	12,8	НПС-50	ЛЗФ-100		3400×1230×2430
		ЭУ-2	5,8	280	100	75	1000	До 210	1060	1220	1	4,5	4Н-9		ЛЗФ-100

Схемы устройства обмозочных головок наиболее распространенных типов приведены на фиг. 24—26.

При правильной сборке обмозочной головки направляющая втулка должна отстоять от калибрующей не более чем на 2 мм. При опрессовке электродов большого диаметра



Фиг. 24. Головка АОЗ-1: 1 — сопло; 2 — сердечник; 3 — направляющая втулка.

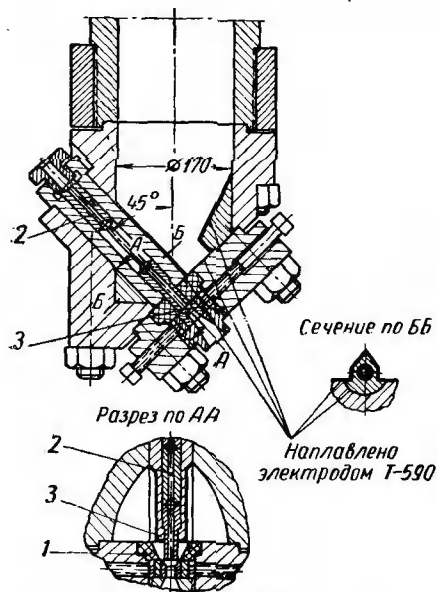


Фиг. 25. Головка АОЗ-2: 1 — сопло; 2 — сердечник; 3 — направляющая втулка.

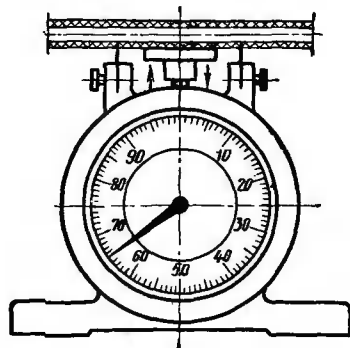
(6—10 мм) это расстояние должно быть больше. Во всех случаях при правильно собранной головке пруток должен не зажиматься, а извлекаться потоком массы при выключенном питателе.

Схемы приборов для замера концентричности покрытия приведены на фиг. 27 и 28.

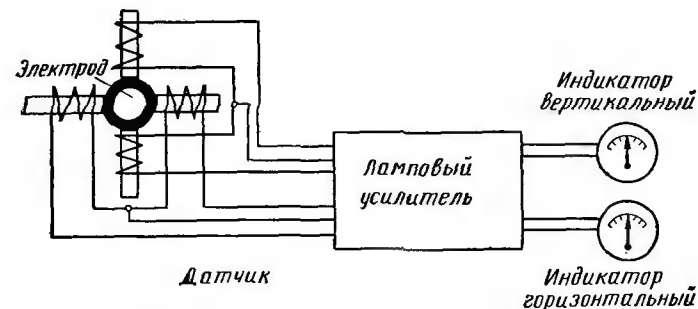
Принципиальные схемы передаточного транспортера и зачистной машины приведены соответственно на фиг. 29 и 30, технические характеристики — в табл. 83 и 84.



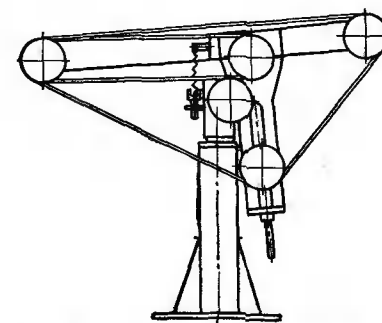
Фиг. 26. Головка ОСЗ-3: 1 — сопло; 2 — сердечник; 3 — направляющая втулка.



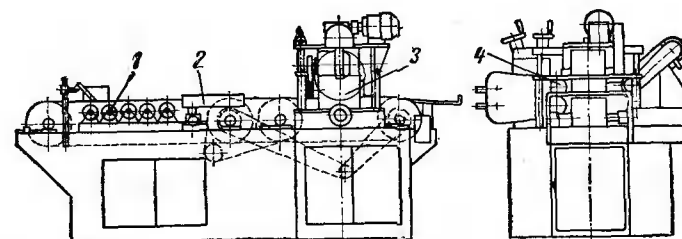
Фиг. 27. Индикатор для замера эксцентриситетности покрытия.



Фиг. 28. Схема концентрометра конструкции ОСЗ.



Фиг. 29. Передаточный транспортер.



Фиг. 30. Зачистная машина типа ОСЗ-4: 1 — магнитный укладчик; 2 — выравниватели; 3 — прокатчик; 4 — щетка для зачистки концов.

81. Сменные детали и прессу

Наименование	Материал	Размеры и допуски в мм
Сопло	Сплав Т-590 или Т-620	—
Сердечники	Сталь Ст.5 или ШХ-15. Закалка. Твердость HRC 60	$d_{\pm 0,5}^{+1,0}$, где d — диаметр прутка
Направляющие втулки	Сталь ШХ-15 или Сталь Ст.5, оснащенная победитовым наконечником	$d_{\pm 0,1}^{+0,2}$
Калибрующие втулки *	Сплав ВК-6	Для $D = 19 \pm 1,0$ $d = 5,5 \pm 0,2; 6,0 \pm 0,3;$ $7,0 \pm 0,3; 7,6 \pm 0,3;$ $8,0 \pm 0,3; 8,8 \pm 0,3;$ $11,6 \pm 0,3$ Для $D = 15 \pm 0,8$ $d = 2,5_{-0,2}^{+0,1}; 3,0_{-0,2}^{+0,1};$ $3,9 \pm 0,2; 4,4 \pm 0,2$
Поршень для обмазочного цилиндра	Чугун (при стальной гильзе обмазочного цилиндра)	—

* Калибрующие втулки из твердого сплава ВК-6 поставляются по ТУМ № 5-436-56.

82. Контроль качества опрессовки

Контролируемые параметры	Методы контроля	Основные причины дефектов
Концентричность покрытия	а) Визуально, путем среза части покрытия с опрессованного электрода. б) Прибором индикаторного типа (см. фиг. 27). в) Концентростром (см. фиг. 28) *	Плохая пластичность массы; засорение обмазочной головки; большой допуск по диаметру направляющей втулки; плохое качество прутков (волнистость, кривизна, заусенцы)
Шероховатость покрытия	Визуально	Засорение головки; несогласованность скоростей подачи обмазочной массы и стержней; плохая шлифовка калибрующей втулки; наличие фаски на ее выходе
Наличие наплывов покрытия	То же	Несогласованность скоростей подачи массы и стержней; пробуксовка стержней в питающем механизме; торможение в системе подводящих втулок или зажим массой прутков в головке
Наличие срывов покрытия	»	Плохая регулировка передаточного транспортера и прокатчика зачистной машины; низкое качество обмазочной массы
Искривление электродов в агрегате	»	Сильный нажим тянущих роликов; неправильная сборка втулок
Количество покрытия на электроде	Взвешивание электродов до пропуска на зачистную машину. Измерение толщины покрытия	—

* Прибор допускает контроль электродов с магнитным стержнем.

83. Технические характеристики транспортеров разных типов

Наименование показателей	Тип пресса				
	АОЭ-1	АОЭ-2	ЭУ-2	ОСЗ-2	ОСЗ-3
Транспортерная лента	Желобча- тая	Плоская			
Система регулиро- вания скорости ленты	Вариатор системы Светозарова или схема питания по- стоянным током		Бесступенчатый вариатор систе- мы ОСЗ		
Пределы регулиро- вания скорости ленты в м/мин	73—450		30—170	80—180	
Габаритные разме- ры в мм: длина ширина высота	1440 560 1075		1300 380 1100	1404 775 1050	

84. Технические характеристики зачистных машин разных типов

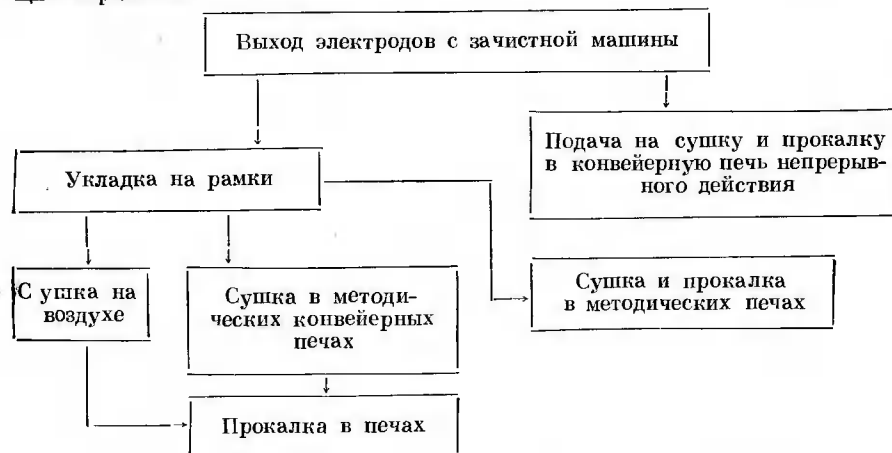
Наименование показателей	Тип пресса				
	АОЭ-1	АОЭ-2	ОСЗ-3	ОСЗ-4	ЭУ-2
Транспортерная лента	Ребристая		Гладкая		Ребристая
Система регулирования скорости ленты	Вариатор системы Светозарова или схема питания постоянным током		Бесступенчатые фрикционные вариаторы с клиновыми ремнями		
Количество щеток	2		2	3	2
Магнитные выравниватели	Нет		Нет	Есть	Нет
Длина обрабатываемых электродов в мм	350—450		300—450	400—450	250—450
Число моторов	2		4	5	3
Мощность моторов в кВт	2,2		2,8	3,4	2,2
Габаритные размеры машин в мм:					
длина	2580		2830	3600	3600
ширина	1200		1340	1200	1250
высота	1450		1800	1900	1400

85. Контроль качества отделки электродов

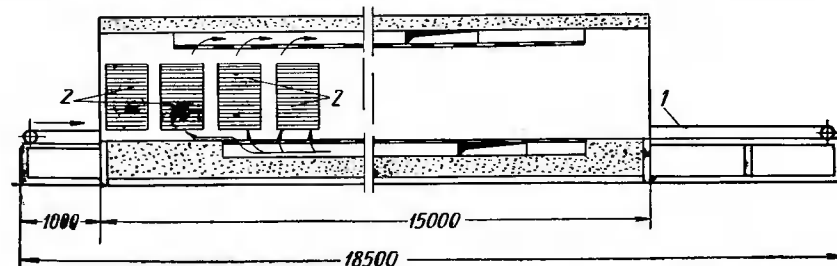
Контролируемые параметры	Методы контроля и основные причины дефектов
Зачистка конца под держатель	Проверка шаблоном
Качество покрытия (отсутствие вмятин, срывов и т. п.)	Визуально. Причины дефекта: сильное нажатие прокатчика, плохие пластические свойства обмазочной массы, неисправность транспортерной ленты под прокатчиком, пробуксовка прутков в питателе, несогласованность количества подаваемой массы со скоростью подачи прутков

Сушка и прокатка электродов

Сушка и прокатка электродов может производиться по одному из следующих вариантов



Методическая конвейерная печь ОСЗ для сушки электродов представлена на фиг. 31. Рамки с электродами укладываются



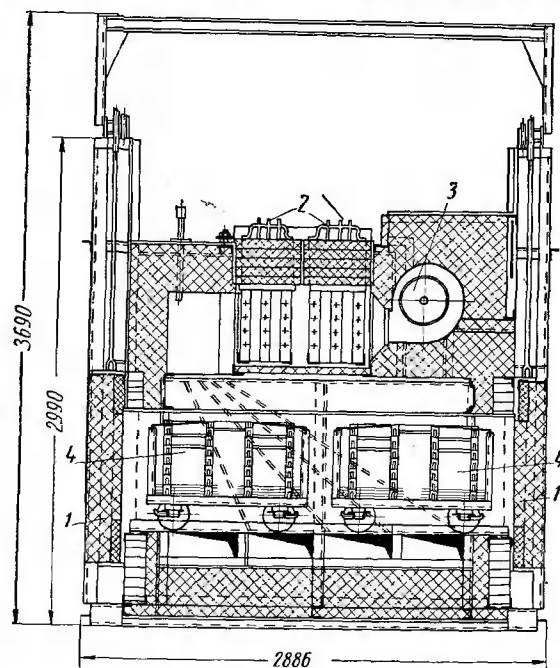
Фиг. 31. Схема методической конвейерной печи ОСЗ для сушки электродов: 1 — транспортные цепи; 2 — стопки рамок с электродами.

на конвейерных цепях стопками и подвергаются сушке, продвигаясь по длине печи. Движение цепи — периодическое, по мере продвижения каждой стопки рамок в печь; управление — кнопочным пускателем. Электроды сушатся воздухом, нагреваемым в отдельно расположенном электрическом калорифере.

Техническая характеристика методической конвейерной печи ОСЗ

Длина сушильной камеры в м	15
Полезное сечение сушильной камеры в мм	1000×850
Емкость в т при диаметре электродов в 5 мм	2,5
Теплоноситель	Воздух
Температура рабочей камеры	До 100°
Регулирование температуры	Автоматическое
Мощность печи в кет	65
Сменная производительность (за 8 час.) по электродам марки ОММ-5 диаметром 5 мм в т	10
Время сушки в мин.	50—60
Скорость движения цепи в м/мин	2,15
Габаритные размеры печи (с калорифером) в мм:	
длина	18 500
ширина	3 500
высота	2 400

Тоннельная проходная прокаточная печь ОСЗ представлена на фиг. 32. Электроды, прошедшие сушку, загружаются на метал-



Фиг. 32. Тоннельная проходная прокаточная печь ОСЗ: 1 — заслонки; 2 — электрические калориферы; 3 — вентилятор; 4 — тележки с электродами.

лические рамки, помещаемые на тележки. Тележки (2 шт.) закатываются в печь, где электроды прокатываются при соответствующем режиме в зависимости от марки. Теплоноситель — воздух, поступающий из калорифера.

Техническая характеристика тоннельной проходной печи

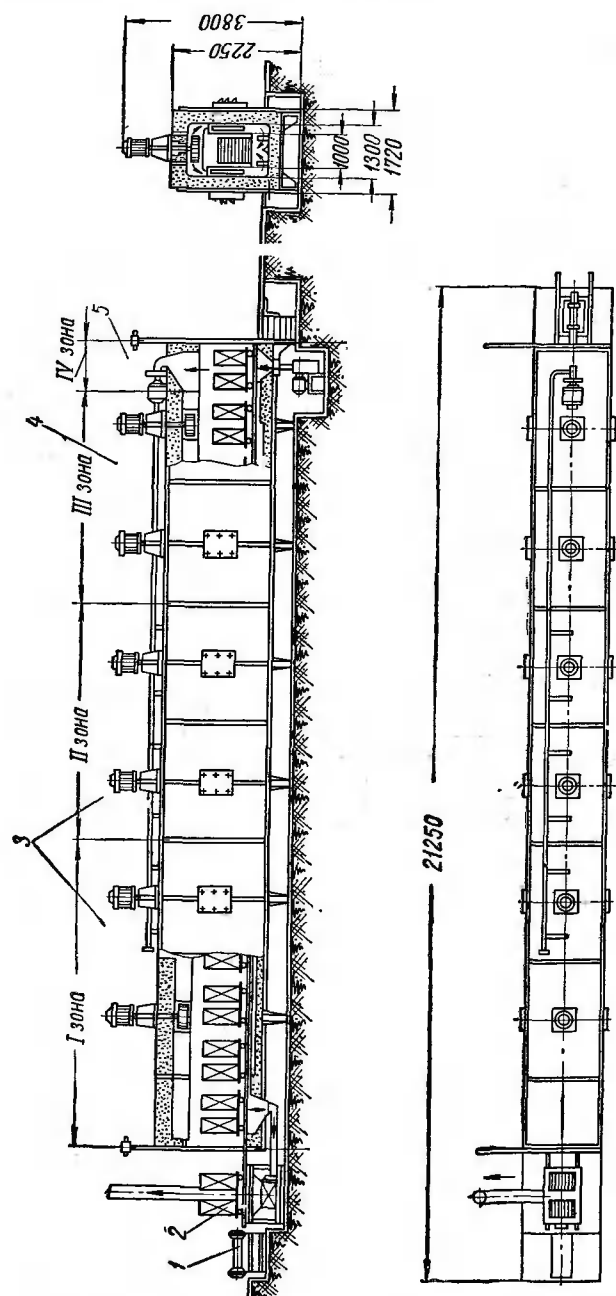
Длина рабочей камеры в мм	2500
Полезное сечение камеры в мм	720×750
Емкость в т	0,4
Теплоноситель	Воздух
Температура	До 400°
Регулирование температуры	Автоматическое
Общая мощность в кет	65
Время прокатки в мин.	30—40
Сменная производительность за 8 час. по электродам марки ОММ-5 диаметром 5 мм в т	3
Габаритные размеры печи в мм:	
длина	2886
ширина	1630
высота	2375

Методическая сушильно-прокаточная печь типа ОКБ-759 представлена на фиг. 33. Электроды после опрессовки раскладываются на металлические рамки, помещаемые стопками на тележки. В установленное время входные и выходные двери автоматически открываются, и тележка с электродами толкателем закатывается по рельсам в печь. Одновременно из печи через противоположную дверь выталкивается тележка с прокатанными электродами. Печь ОКБ-759 имеет по длине три тепловые зоны: сушки (I и II), прокатки (III) и охлаждения IV. Электрические нагреватели сопротивления помещаются в рабочей зоне печи.

Техническая характеристика методической печи ОКБ-759

Размеры рабочего пространства в мм:	
длина	16 700
ширина	1 000
высота	1 300
Теплоноситель	Воздух
Температура	До 400°
Регулирование температуры	Автоматическое
Мощность нагревательных элементов в кет	180
Мощность моторов в кет	30
Время пребывания электродов в печи в час.	2
Сменная производительность печи (за 8 час.) по электродам марки ОММ-5 диаметром 5 мм в т	16
Габаритные размеры в мм:	
длина	21 380
ширина	2 155
высота	4 460

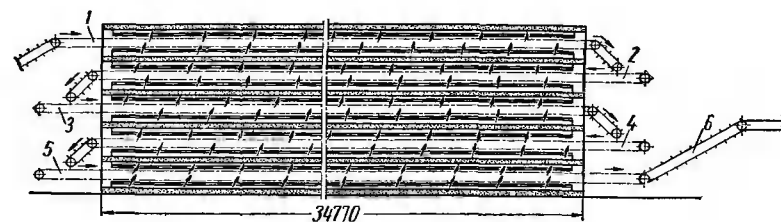
Конвейерные сушильно-прокаточные печи ОКБ-463 и ОКБ-463А непрерывного действия (фиг. 34 и 35). После зачистки концов электроды поступают на цепи верхней зоны I, где раскладываются поштучно, без соприкосновения. По мере продвижения электродов по зонам раскладка их изменяется, и в последней зоне V (зона прокатки) они располагаются в два-три ряда. В печи ОКБ-463 имеется семь электрических воздушных калориферов, расположенных сбоку печи. В печи ОКБ-463А три верхние зоны объединены в одну тепловую зону, обогреваемую двумя электрическими воздушными калориферами; зона IV (зона сушки) обогревается также двумя электрическими воздушными калориферами; зона V (зона прокатки) обогревается помещенными в ней спиральными (табл. 86).



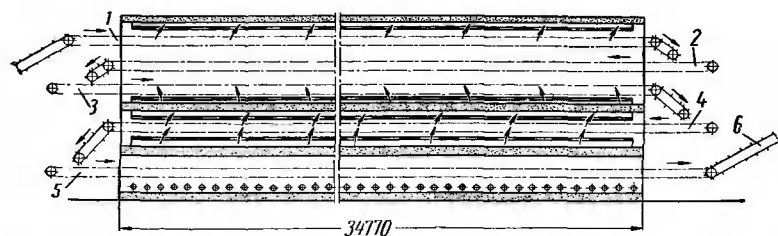
Фиг. 33. Методическая сушильно-прокалочная печь ОКБ-759: 1 — толкатель; 2 — тележка с электродами; 3 — зоны сушки; 4 — зона прокалики; 5 — зона охлаждения.

86. Технические характеристики печей ОКБ-463 и ОКБ-463А

Параметры	Характеристика	
	Печь ОКБ-463	Печь ОКБ-463А
Длина рабочей камеры в мм	34 770	34 770
Теплоноситель	Воздух	Для верхних четырех зон сушки — воздух; для зоны прокалики — электронагреватели сопротивления
Рабочая температура в град. (не выше)	I зона	55
	II зона	90
	III зона	110
	IV зона	150
	V зона	250
Регулирование температуры	Автоматическое	
Время пребывания электродов в зонах в мин.	I зона	8—12
	II зона	10—18
	III зона	20—25
	IV зона	25—35
	V зона	35—50
	По всей печи	92—140
Общая мощность печи в кВт	400	400
Мощность холостого хода в кВт	130	73
Сменная производительность за 8 час. в т по электродам марки ОММ-5 диаметром 5 мм	13	16
Габаритные размеры печи в мм:	длина	43 400
	ширина	2 550
	высота	3 550
Общий вес печи в т	57	63,5



Фиг. 34. Схема сушильно-прокалочной печи ОКБ-463: 1—4 — зоны сушки; 5 — зона прокалики; 6 — транспортер, передающий электроды на сортировочный стол.



Фиг. 35. Схема сушильно-прокалочной печи ОКБ-463-А: 1—3 — зоны предварительной сушки; 4 — зона прокалики; 5 — зона прокалики; 6 — транспортер, передающий электроды на сортировочный стол.

Испытание электродов

Технологические свойства электродов, механические свойства наплавленного металла и сварного соединения, а также химический состав наплавленного металла должны соответствовать требованиям паспортов на электроды и ГОСТов 9466-60 и 9467-60. В этих же документах указаны методы проверки технологических свойств электродов, методы сварки и наплавки пластин для вырезки образцов, выбор марки стали для пластин, их размеры и т. п.

Изготовление образцов и испытание на растяжение металла шва и наплавленного металла, а также на загиб сварного соединения производится по ГОСТу 6996-54; изготовление и испытание образцов на ударную вязкость — по ГОСТам 6996-54 и 9454-60. Испытание наплавленного металла на твердость — по ГОСТам 6996-54 и 9013-59. Отбор и обработка пробы для химического анализа наплавленного металла — в соответствии с ГОСТом 7122-54. Проверка химического состава металла, наплавленного электродами для сварки конструкционных сталей, — по ГОСТу 2231-43, а электродами для сварки легированных сталей и для наплавки поверхностных слоев — по ГОСТу 2604-44. Допускается применение спектрального анализа при обеспечении необходимой точности.

Сортировка и отбраковка

Электроды сортируются и разбраковываются путем внешнего осмотра. Годные электроды должны полностью удовлетворять требованиям ГОСТа 9466-60.

Упаковка

Упаковка в пакеты и ящики производится в соответствии с требованиями ГОСТа 9466-60. Допустимая влажность древесины для ящиков не должна превышать 15%.

87. Контроль качества сушки и прокалики электродов

Контролируемые параметры	Методы контроля	Основные причины дефектов
Содержание влаги в покрытии (рекомендуется 0,1—0,3% не выше)	а) Доведение навески покрытия до постоянного веса б) Сушка электродов в вакуумной печи со сбором конденсата в мерную бюретку (ускоренный метод)	—
Наличие трещин в покрытии электродов	Визуально	Соприкосновение электродов в процессе сушки; низкая плотность жидкого стекла или большое количество влаги в покрытии перед прокаликой; чрезмерно жесткий режим сушки; наличие в шихте значительного количества тонкодисперсных компонентов; применение высокомолекулярного жидкого стекла
Вспухание покрытия	Измерение диаметра электродов до и после сушки или прокалики	Чрезмерно жесткий режим сушки или прокалики электродов с высоким содержанием влаги в покрытии; взаимодействие активных ферросплавов с жидким стеклом
Влагостойкость покрытия	Погружение электродов в воду на 24—48 час.	Недостаточное время прокалики; прокалика при низкой температуре; применение жидкого стекла с очень низким модулем
Прочность покрытия	По методике, предусмотренной ГОСТом на электроды (сбрасывание на плиту)	Трещины в покрытии или вспухание, а также низкое содержание сухого остатка жидкого стекла
Наличие местных пузырей на поверхности покрытия	Визуально	Взаимодействие жидкого стекла с ферросплавами, сопровождаемое выделением газа

Хранение

Электроды должны храниться в условиях, исключающих возможность их увлажнения. Наиболее желательными являются склады, оборудованные установками для кондиционирования воздуха.

Создание архива

Для контроля за нормальным ходом производства, уточнения различных технологических параметров и выяснения спорных вопросов, связанных с качеством электродов, при каждом предприятии должен быть организован архив электродов, отобранных от каждой партии.

Санитарно-гигиенические условия труда

Некоторые процессы в электродном производстве сопровождаются образованием пыли и выделением токсических веществ. В связи с этим при проектировании новых электродных предприятий и в эксплуатационных условиях на действующих необходимо предусматривать проведение комплекса специфических мероприятий, обеспечивающих надлежащие санитарно-гигиенические условия труда.

Все проекты строительства новых, реконструкции и переоборудования действующих электродных предприятий должны быть согласованы с соответствующими органами санитарного надзора.

Запыленность и общие санитарно-гигиенические условия отдельных участков действующих электродных предприятий систематически контролируются органами санитарного надзора, а рабочий персонал, обслуживающий эти участки, регулярно подвергается медицинскому обследованию.

Все электродные предприятия в санитарно-гигиеническом отношении должны удовлетворять «Временным санитарным правилам по устройству, оборудованию и содержанию цехов, изготавливающих покрытые электроды и флюсы для электро-сварки» (Правила утверждены Главным государственным санитарным инспектором Союза ССР 14 сентября 1951 г.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Алов А. А., Электроды для дуговой сварки и наплавки, Машгиз, 1947.
2. Гинзбург Д. Б., Деликишкин С. Н., Ходаров Е. И., Чижский А. Ф., Печи и сушилки силикатной промышленности, Промстройиздат, 1956.
3. Григорьев П. Н., Матвеев М. А., Растворимое стекло, Промстройиздат, 1956.
4. Жилин А. И., Растворимое стекло, его свойства, получение и применение, ГОНТИ, 1939.
5. Пьянко В. Г., Контрольная аппаратура пылевентиляционной службы, Металлургия, 1957.
6. Климентов В. П., Применение жидкого стекла в покрытиях электродов для дуговой сварки, Ин-т технико-экономической информации АН СССР, 1954.
7. Крюковский Н. Н., Производство электродов для дуговой сварки, Машгиз, 1956.
8. Матвеев М. А., Растворимость стеклообразных силикатов натрия, Промстройиздат, 1957.
9. Моргулис М. Л., Вибрационное измельчение материалов, Промстройиздат, 1957.
10. Олевский В. А., Конструкция, расчеты и эксплуатация дробилок, Металлургия, 1958.
11. Смолянинов Н. А., Определитель минералов, изд. АН СССР, 1938.
12. Стернин И. О., Болдырев А. С., Кузнецов П. М., Дробление и помол в цементной промышленности, ОНТИ, 1937.
13. Тархов Н. А., Изготовление электродов для дуговой электросварки, Машгиз, 1944.
14. Тархов Н. А., Рахманов А. Д., Технология изготовления электродов с основным покрытием методом опрессовки, Ин-т технико-экономической информации АН СССР, 1954.
15. Хан Г. А., Опробование и контроль на обогатительных фабриках, Металлургия, 1941.
16. Яровинский Л. М., Баженков В. В., Электроды ЦНИИТМАШ для сварки сталей и наплавки, Машгиз, 1954.
17. Вредные вещества в промышленности, сборник статей, ч. II Госхимиздат, 1954.
18. Нормы расчета и проектирования пылеприготовительных установок, Машгиз, 1952.

ГЛАВА II

ЭЛЕКТРОДНАЯ ПРОВОЛОКА И ФЛЮСЫ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ И ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СВАРКИ СТАЛЕЙ ПОД ФЛЮСОМ

МАРКИ ЭЛЕКТРОДНОЙ ПРОВОЛОКИ

Электродная проволока является одним из трех основных элементов, определяющих качество сварного соединения при автоматической и полуавтоматической сварке сталей под флюсом (свариваемый материал, электродная проволока, флюс). Поэтому электродную проволоку выбирают в соответствии с химическим составом свариваемой стали.

Химический состав электродной проволоки, применяемой для автоматической и полуавтоматической сварки некоторых сталей, приведен в табл. 1. Требования к сварочной проволоке, правила ее приемки и методы испытаний указаны в ГОСТе 2246-60.

КЛАССИФИКАЦИЯ И НАЗНАЧЕНИЕ ФЛЮСОВ

Флюсы для электродуговой сварки сталей представляют собой шлаковые системы, построенные в большинстве случаев на основе силикатов марганца, кальция или магния. За последнее время появились флюсы, изготавливаемые преимущественно из фтористых солей, так называемые фторидные флюсы.

Флюсы могут быть классифицированы по нескольким признакам:

а) по химическому составу: флюсы-силикаты, фторидные флюсы. В зависимости от содержания марганца флюсы-силикаты в свою очередь могут быть подразделены на безмарганцовистые, среднемарганцовистые, высокомарганцовистые.

б) По соотношению входящих в них основных и кислых окислов:

$$\text{кислые} \quad \frac{\Sigma(\text{MeO})}{(\text{SiO}_2) + (\text{TiO}_2)} < 1 \quad \text{и} \quad \text{основные} \quad \frac{\Sigma(\text{MeO})}{(\text{SiO}_2) + (\text{TiO}_2)} > 1.$$

в) По назначению: для сварки малоуглеродистых, низколегированных и высоколегированных сталей.

г) В зависимости от процесса сварки: для автоматической, полуавтоматической и электрошлаковой сварки.

д) По степени легирования металла шва: пассивные (практически не реагирующие со сварочной ванной); слабо легирующие (плавленные), сильно легирующие (керамические).

е) В зависимости от объемного веса частиц: стекловидные ($\gamma > 1 \text{ кг/дм}^3$), пемзовидные ($\gamma < 1 \text{ кг/дм}^3$).

При электродуговой сварке флюсы выполняют ряд функций, важнейшими из которых являются: физическая изоляция сварочной ванны от атмосферного воздействия, стабилизация дугового разряда, химическое взаимодействие с жидким металлом, легирование сварочной ванны и формирование поверхности шва.

Физическая изоляция сварочной ванны от атмосферного воздействия. Изолирующее действие флюса зависит от размера его частиц (мелкие или

1. Состав наиболее употребительной электродной проволоки для автоматической и полуавтоматической сварки

Содержание элементов в %

Марка электродной проволоки по ГОСТу 2246-60	Содержание элементов в %							Основное значение	
	C не более	Mn	Si	Cr	Ni	S			
						не более			
Св-08	0,10	0,35—0,60	0,03	≤0,15	0,30	0,04	0,04	0,04	
Св-08А									
Св-10Г2	0,12	1,50—1,90		≤0,20	0,30	0,04	0,04	0,04	
Св-12ГС									
Св-18ХМА *	0,15—0,22	0,40—0,70	0,15—0,35	0,80—1,10	≤0,30	0,03	0,03	0,03	
Св-04Х19Н9									
Св-06Х19Н9Т **	0,06	1,0—2,0	0,5—1,0 0,4—1,0	18,0—20,0	8,0—10,0	0,018	0,025	0,025	
Св-08Х20Н9Г7Т ***									
Св-04Х19Н9С2	0,06	1,0—2,0	2,0—2,75	18,0—20,0			0,025	0,025	

* Содержание молибдена 0,15—0,30%
 ** Содержание титана 0,5—1,0%
 *** То же 0,6—0,9%.

* Содержание молибдена 0,15—0,30%
 ** Содержание титана 0,3—1,0%
 *** То же 0,6—0,9%.

крупные) и их физического строения (стекловидные или пемзовидные). Лучшей изолирующей способностью обладают флюсы с плотным строением частиц мелкой грануляции (стекловидный флюс), а также смесь с определенным соотношением частиц различного гранулометрического состава, обеспечивающая плотную их укладку.

Пемзовидный флюс (объемный вес 0,7—1,0 кг/дм³) вследствие пористости и ноздреватости частиц недостаточно защищает сварочную ванну от атмосферного воздействия, и поэтому содержание азота в шве в случае применения такого флюса может достигать 0,025—0,035%; это в 10—15 раз превышает концентрацию азота в шве, выполненном с применением стекловидного флюса. Кроме того, пемзовидный флюс вносит в зону столба сварочной дуги значительные количества водорода, способствующего образованию пор в металле шва. Поэтому если с технологической точки зрения пемзовидные флюсы обладают рядом преимуществ по сравнению со стекловидными (лучшее формирование шва, более стабильное горение дуги), то в металлургическом отношении их применение в некоторых случаях бывает несовместимым с условием получения вполне доброкачественного шва.

Достаточно эффективная защита сварочной ванны от атмосферного воздействия обеспечивается лишь при определенной толщине слоя флюса над поверхностью свариваемого металла.

Необходимая толщина слоя флюса определяется в основном мощностью дуги, используемой для сварки (табл. 2).

2. Необходимая толщина слоя флюса над поверхностью свариваемого металла

Сварочный ток в а	200—400	400—800	800—1200
Толщина слоя флюса в мм	25—35	35—45	45—60

Стабилизирующие свойства флюсов. Вследствие недостаточной стабильности горения дуги в атмосфере воздуха сварка голый проволокой на переменном токе при напряжении холостого хода питающего трансформатора 60—65 в практически невозможна. При сварке под флюсом электрическая дуга горит достаточно устойчиво даже на переменном токе.

Влияние некоторых химических соединений, входящих обычно в состав флюсов-силикатов, на их стабилизирующие свойства (разрывную длину дуги) показано на фиг. 1. Стабилизирующие свойства флюса имеют существенное значение и для формирования шва. В частности, при однопроводной сварке металла большой толщины повышение стабилизирующих свойств флюса приводит к удлинению дуги (при одном и том же напряжении), что благоприятствует получению необходимой геометрии шва и обеспечению качественного сварного соединения (без шлаковых прослоек, рыхлостей и трещин в средней его части) (фиг. 2).

Химическое взаимодействие между расплавленным флюсом и жидким металлом и легирование сварочной ванны. При электродуговой сварке шов образуется за счет плавления электродной проволоки и основного металла. В зависимости от геометрии сварного соединения, условий и режима сварки доля их участия в образовании шва колеблется в достаточно широких пределах. За счет плавления электродной проволоки образуется от 30 до 70% металла шва. Однако при постоянных условиях сварки соотношение между долями участия основного металла и электродной проволоки остается примерно постоянным. Таким образом, химический состав шва определяется составом проволоки и основного металла, а также металлургическими процессами, протекающими в зоне плавления (сварной ванне) между расплавленным металлом и флюсом.

Концентрация элемента в шве может быть выражена уравнением

$$[Me]_{ш} = a [Me]_a + b [Me]_b \pm \Delta [Me],$$

где $[Me]_{ш}$ — действительное содержание данного элемента в металле шва;
 $[Me]_a$ — содержание элемента в основном металле;

[Me]_b — содержание элемента в сварочной проволоке;

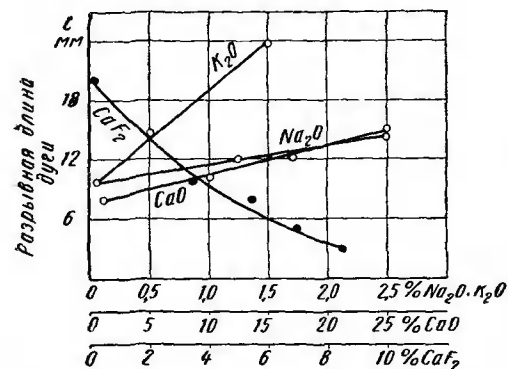
Δ [Me] — изменение содержания данного элемента в шве по сравнению с его исходной концентрацией в результате взаимодействия металла и флюса;

a и b — соответственно доли участия основного металла и электродной проволоки в образовании шва.

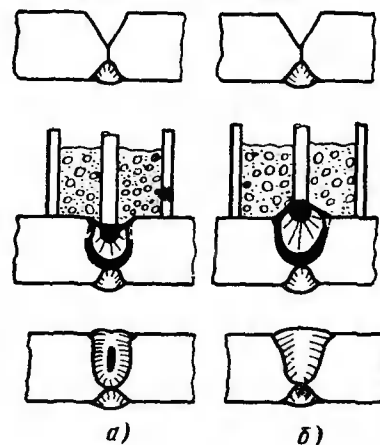
Важнейшими металлургическими процессами взаимодействия плавящихся флюсов-силикатов с жидким металлом при сварке являются следующие *:



Реакции (1) — (3) имеют место главным образом при сварке малоуглеродистых сталей под промышленными высокомарганцовистыми флюсами. Протекание реакций (1) и (2) благоприятно сказывается на свойствах шва, так как дополнительное легирование его кремнием и марганцем дает возможность (применяя



Фиг. 1. Влияние некоторых химических соединений на стабилизирующие свойства высокомарганцовистых флюсов типа ОСЦ-45.



Фиг. 2. Влияние длины дуги на поперечный профиль шва при сварке стали большой толщины под флюсом: а — короткая дуга; б — длинная дуга [3].

малоуглеродистую электродную проволоку из кипящей стали) получить швы, в малой степени склонные к образованию пор и горячих трещин. Реакция (3) также имеет место главным образом при сварке под марганцовистыми флюсами, отличающимися обычно довольно высокой концентрацией фосфора (0,10—0,15%). Развитие реакции (3) нежелательно, так как при этом содержание фосфора в шве возрастает, что приводит к снижению его ударной вязкости и повышению порога хладноломкости.

При сварке высоколегированных сталей, содержащих титан, происходит его окисление [реакция (4)] за счет окислов элементов, имеющих меньшее сродство к кислороду, чем титан (например, за счет SiO_2). Интенсивность протекания указанных реакций зависит от химического состава флюса (см. т. 1, гл. III, фиг. 39, 40, 41 и 50) и режимов сварки (фиг. 3).

Изменение химического состава шва (по сравнению с исходной концентрацией сварочной ванны) за счет развития реакций (1) — (4) возможно только в пре-

* Подробнее см. т. 1, гл. III.

делах долей процента. При необходимости осуществления значительного легирования сварочной ванны флюсом применяются так называемые керамические флюсы (см. ниже), в состав которых вводятся соответствующие порошкообразные ферросплавы или металлы. В этом случае легирование шва происходит за счет непосредственного растворения металлических элементов в сварочной ванне.

Формирующая способность флюсов. Вязкость флюсов при высоких температурах, а также характер ее температурной зависимости оказывают существенное влияние на формирующую способность флюса. Однако формирующая способность в сильной степени зависит также от технологии сварки и в первую очередь от мощности сварочной дуги. Флюсы, дающие хорошее формирование шва при небольших токах, могут оказаться совершенно непригодными для сварки мощными дугами. Из производственной практики известно, что при сварке на малых и средних токах (примерно до 1000—1100 а) наилучшее формирование шва обеспечивают жидкотекучие флюсы (ОСЦ-45, АН-348 и др.), имеющие сравнительно высокую температуру затвердевания (1150—1250°). При сварке мощными дугами (ток 1300—3000 а) хорошую укладку шва обеспечивают лишь относительно вязкие флюсы с более пологой кривой отвердевания.

Существенное влияние на формирование шва оказывает газопроницаемость флюса, которая в значительной степени зависит от его физического состояния (пемзовидное или стекловидное), а также от гранулометрического состава (крупные зерна или мелкие). Лучшую укладку шва при сварке мощными дугами дают флюсы пемзовидные (объемный вес 0,8—1,0 кг/дм³) и имеющие крупную грануляцию (размер зерен 2,0—2,5 мм).

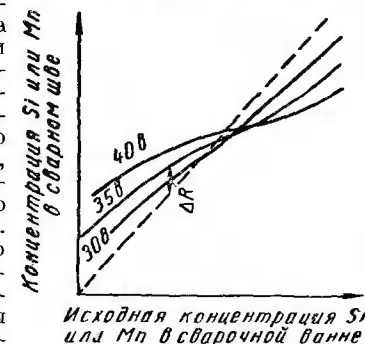
В табл. 3 приводятся рекомендуемые размеры частиц флюса для различных способов и режимов сварки.

3. Требования к грануляции флюсов в зависимости от способов и режимов сварки

Назначение флюса	Размеры зерен в мм		ГОСТ на сетку
	Максимальные	Минимальные	
Автоматическая сварка:	на токах до 600 а	1,6	0,25
	на токах от 600 до 1200 а	2,5	0,4
	на токах более 1200 а	3,0	1,6
Полуавтоматическая сварка и автоматическая проволокой диаметром 2 мм и меньше	1,6	0,25	3584-53
Примечание. Объемный вес флюса должен составлять 1,3—1,7 кг/дм³.			

ПЛАВНЫЕ ФЛЮСЫ

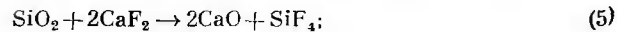
Особенности плавных флюсов для сварки малоуглеродистых и низколегированных сталей. Невысокое содержание марганца (0,35—0,60%) и практически полное отсутствие кремния или какого-либо другого сильного раскислителя



Фиг. 3. Переход кремния и марганца в шов в зависимости от напряжения на дуге при сварке под среднемарганцовистыми флюсами [1].

в исходных материалах при сварке малоуглеродистой стали малоуглеродистой проволокой может служить причиной возникновения в швах трещин и пор. Для получения оптимальной концентрации марганца (0,60—0,90%) и кремния (0,18—0,25%) необходимо дополнительно легировать шов указанными элементами. Этого можно достигнуть двумя способами: во-первых, за счет развития марганце- и кремневосстановительного процессов при применении плавных флюсов или за счет легирования ферросплавами при использовании керамических флюсов; во-вторых, через электродную проволоку, применяя для указанных целей проволоку с повышенной концентрацией марганца и кремния.

В отечественной промышленности при сварке малоуглеродистых сталей преимущественно применяется первый способ легирования сварных швов (за счет флюса). Отмеченным выше требованиям наиболее полно отвечают высокомарганцовистые флюсы, широко применяемые в промышленности. Значительная концентрация закиси марганца и двуокиси кремния в высокомарганцовистых флюсах обеспечивает развитие при сварке марганце- и кремневосстановительных процессов (1) и (2), что повышает концентрацию марганца и кремния в шве и дает возможность в большинстве случаев получить высококачественные сварные соединения. Наличие в составе высокомарганцовистых флюсов фтористого кальция улучшает их металлургические свойства благодаря уменьшению вязкости при высоких температурах и развитию реакций, связывающих водород в нерастворимый в жидкой стали фтористый водород:



Для сварки низколегированных сталей проволокой соответствующего состава может применяться большинство промышленных плавных флюсов (табл. 4 и 5), так как концентрация марганца и кремния в низколегированных сталях достаточна для раскисления сварочной ванны и нейтрализации вредного действия серы.

Однако в тех случаях, когда развитие кремневосстановительного процесса при сварке нежелательно, следует применять низкокремнистые марганцовистые флюсы (например, флюс АН-4 или АН-10 для сварки некоторых конструктивных низко- и среднелегированных сталей).

Особенности плавных флюсов для сварки высоколегированных сталей. Плавные флюсы-силикаты, обычно применяемые при сварке малоуглеродистых и низколегированных конструктивных сталей, являются не пригодными для сварки высоколегированных сталей, например аустенитных хромоникелевых. Высокое содержание в этих флюсах окислов марганца и кремния, окисляющих при сварке хром и титан, и некоторых других примесей, приводит к нежелательному снижению концентрации указанных элементов в шве. Уменьшение содержания хрома и титана, как известно, снижает коррозионную стойкость аустенитного шва и повышает его склонность к образованию горячих трещин (вследствие уменьшения количества альфа-фазы и засоренности шва неметаллическими включениями). Установлено также, что низкокремнистые флюсы дают швы с менее выраженной столбчатой структурой, чем высококремнистые, что уменьшает опасность образования горячих трещин в швах.

Изложенное выше приводит к заключению о необходимости применения для сварки высоколегированных сталей пассивных флюсов. Для указанных це-

лей обычно применяются основные флюсы $\left(\frac{\sum (\text{MeO})}{(\text{SiO}_2) + (\text{TiO}_2)} > 1 \right)$, либо совсем не содержащие окислов марганца, либо имеющие невысокую их концентрацию при ограниченной концентрации двуокиси кремния. В тех случаях, когда в шве необходимо сохранить достаточно высокую концентрацию элементов, обладающих большим сродством к кислороду (алюминий, титан), следует применять бескислородные флюсы, химически инертные по отношению к

4. Состав плавных флюсов, применяемых для автоматической, полуавтоматической и электродной сварки сталей

Марка флюса	Химический состав в %											
	SiO ₂	MnO	CaF ₂	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	K ₂ O+Na ₂ O	MnO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	(не более)	
											S	P
АН-1 (шххта)	36,0—38,0	15,0—17,0	16,0—18,0	—	11,0—13,0	13,0—15,0	2,0—3,0	—	1,5	—	—	—
ОСЦ-45 ¹	38,0—44,0	38,0—47,0	6,0—9,0	До 2,5	До 6,5	До 5,0	—	—	—	2,0	—	0,15
АН-348А ¹	41,0—44,0	34,0—38,0	4,0—5,5	5,5—7,5	До 6,5	До 4,5	—	0,4—0,30	—	2,0	0,15	0,12
АН-348АМ ¹	41,0—44,0	34,0—38,0	3,5—4,5	5,0—7,5	До 6,5	До 4,5	—	0,10—0,30	—	2,0	—	0,12
ОСЦ-45М ¹	38,0—44,0	38,0—47,0	6,0—9,0	До 2,5	До 6,5	До 5,0	—	—	—	2,0	—	0,10
ФЦ-4 ²	45,0—48,0	30,0—33,0	2,0—3,0	До 2,0	До 6,0	До 4,5	1,0—1,2	—	—	—	0,10	—
ФЦ-6	43,0—45,0	44,0—47,0	2,5—3,0	До 1,0	До 4,0	До 2,5	0,35—0,40	—	1,5	—	0,15	0,10
ФЦ-7	46,0—48,0	24,0—26,0	5,0—6,0	16,0—18,0	До 3,0	До 3,0	0,6—0,8	—	—	—	0,10	—
ФЦ-9	39,0—41,0	39,0—41,0	2,0—3,0	До 1,0	До 3,0	11,0—13,0	—	—	—	—	0,10	—
АН-10	20,0—23,0	29,5—33,5	18,0—24,0	До 1,2	3,0—7,0	19,0—21,0	0,40—0,60	—	1,2	—	0,15	0,20
ФЦ-10	44,0—47,0	—	2,0—3,0	28,0—30,0	До 3,0	—	—	—	—	—	0,10	0,10
АН-51 ³	33,0—31,0	5,0—6,5	7,0—8,5	14,0—17,0	12,0—15,0	21,0—23,0	—	—	1,5	—	0,15	0,05
ФЦ-1-2	34,0—37,0	—	6,0—7,5	16,0—18,0	32,0—34,0	6,0—7,0	—	—	1,2	—	0,10	0,10
АН-20	21,0—23,0	До 0,5	25,0—33,0	9,0—13,0	3,0—7,0	28,0—32,0	2,4—3,0	—	—	—	0,08	0,05
АН-22	18,0—21,5	6,0—9,0	20,0—24,0	11,5—15,0	12,0—15,0	19,0—23,0	1,3—1,7	—	1,0	—	0,06	0,06
АН-30	2,0—5,0	До 0,5	19,0—23,0	13,0—16,0	16,0—20,5	39,0—44,0	—	—	—	—	0,08	0,05
АН-26	30,0—32,0	2,5—3,5	20,0—24,0	16,0—18,0	5,0—6,5	20,0—22,0	—	—	—	—	0,07	0,10
АН-8	33,0—36,0	21,0—26,0	13,0—19,0	5,0—7,0	4,0—7,0	11,0—15,0	—	—	1,5	—	0,15	0,15
БКФ-5 ⁴	≤2,0	—	75,0—80,0	—	—	—	—	—	1,0	—	0,05	0,02

1 ГОСТ 9087-50. 2 ТУ 00-5-66. 3 ТУ 00-1-5-66. 4 NaF—17,0—25,0.

¹ ГОСТ 9087-59. ² TiO₂ — 5-6%. ³ TiO₂ — 1,5-2,5%. ⁴ NaF — 17,0-25,0.

5. Области применения отдельных марок флюсов

Марка флюса	Марка свариваемой стали	Проволока		Преимущественное применение
		Марка	ГОСТ	
АН-1	МСт.1, МСт.2, МСт.3; сталь хромансиль	Св-10ГС	—	Автоматическая сварка кольцевых швов цилиндрических изделий диаметром от 120 мм и выше
ОСЦ-45	МСт.1, МСт.2, МСт.3 МСт.4	Св-08, Св-08А	2246-60	Автоматическая и полуавтоматическая сварка всех типов соединений, за исключением кольцевых швов малого диаметра. Восприимчивость к ржавчине и склонность к горячим трещинам, наименьшая по сравнению с другими промышленными плавными флюсами
АН-348А				Автоматическая и полуавтоматическая сварка всех типов соединений. Выделяет небольшое количество вредных газов, поэтому пригоден для сварки в замкнутых сосудах
ФЦ-9				МСт.1, МСт.2, МСт.3
ФЦ-4	МСт.1, МСт.2, МСт.3, 15М	10, Св. 15М	2246-60; 1050-57	Автоматическая сварка мощными дугами стали большей толщины
ФЦ-6		Св-08, Св-08А, 10, Св-15М		Автоматическая многопроходная сварка стали большей толщины
ФЦ-7				Многопроходная сварка трехфазной дугой
АН-10				Автоматическая сварка конструкционных сталей

Марка флюса	Марка свариваемой стали	Проволока		Преимущественное применение
		Марка	ГОСТ	
ФЦ-10	МСт.1, МСт.2. МСт.3	Марганцовистая с содержанием 2,0—2,5 Мп	—	Автоматическая и полуавтоматическая сварка всех типов соединений. Выделяет небольшое количество вредных газов и не содержит окислов марганца, поэтому в санитарно-гигиеническом отношении является одним из наиболее приемлемых
АН-51		Св-10Г2	2246-60	Автоматическая и полуавтоматическая сварка всех типов соединений. Пригоден для сварки в замкнутых сосудах
ФЦЛ-2	1Х18Н9	Св-0Х18Н9	—	Автоматическая и полуавтоматическая сварка всех типов соединений
АН-20	1Х18Н9 и другие хромоникелевые высоколегированные стали	Св-0Х18Н9 Св-0ХН9С2, Х20Н10Г6Т	—	
АН-22				
АН-26				
АН-30	Хромоникелевые высоколегированные, а также стали типа Х12	Специальная	—	Автоматическая сварка и наплавка
БРФ-5 ФЦК	Высоколегированные стали и сплавы			
АН-3, ФЦ7:	МСт. 1, МСт. 2, МСт. 3	Св-08 Св-08А	2246-60	Электрошлаковая сварка
	Низколегированные стали	Низколегированная		

сварочной ванне. Представителем этой группы флюсов может служить флюс БКФ-1 (дробленый плавленый шпат), применяемый для сварки некоторых кислотостойких и жаропрочных сталей.

КЕРАМИЧЕСКИЕ ФЛЮСЫ

Керамические флюсы состоят из шлакообразующих компонентов и ферросплавов, спементированных жидким стеклом. Самоспекающиеся керамические флюсы, построенные на основе фтористых и хлористых солей, могут изготавливаться без добавки крепителя (жидкого стекла).

Положительной особенностью керамических флюсов является широкая возможность легирования с их помощью сварных швов. Некоторые керамические флюсы, предназначенные для сварки малоуглеродистых и низколегированных сталей, способствуют получению швов, в значительно меньшей степени склонных к образованию пор и горячих трещин, чем при сварке лучшими плавлеными флюсами. Отмеченные свойства керамических флюсов делают применение их в ряде случаев весьма целесообразным.

Состав некоторых керамических флюсов приводится в табл. 6.

6. Состав керамических флюсов, применяемых для автоматической и полуавтоматической сварки, в %

Компоненты флюсов	Марки флюсов									
	К-1	К-2	К-3	К-11	КС-1	П	КС-30ХГСНА	КС-III	КС-С	КВС-19
Марганцевая руда . .	—	—	—	60,0	—	—	—	—	—	54,0
Титановый концентрат	48,0	55,0	59,0	—	—	—	—	—	—	—
Полевой шпат	13,0	13,0	15,0	—	—	—	—	6,0	—	8,0
Хлористый калий . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	77,0
Плавленый шпат	10,0	10,0	10,0	10,0	20,0	20,0	20,0	—	20,0	7,0
Мрамор	—	—	—	—	57,7	72,5	50,3	42,4	35,8	—
Фтористый натрий . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Двуокись титана . . .	—	—	—	—	15,0	—	15,0	6,0	5,0	—
Глинозем	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Кварц	—	—	—	20,0	—	—	—	5,0	—	30,0
Ферросилиций ¹	15,0	8,0	8,0	10,0	0,8	2,0	4,2	—	4,7	7,0
Ферротитан	—	—	—	—	6,0	2,0	6,0	14,0	6,0	2,0
Ферроалюминий	—	—	—	—	—	3,0	—	4,5	—	—
Ферромарганец углеродистый	—	—	—	—	—	—	—	—	0,5	—
Никель металлический	—	—	—	—	—	—	1,4	—	2,0	—
Ферромарганец малоуглеродистый	14,0	14,0	8,0	—	0,5	0,5	1,7	—	—	—
Феррохром углеродистый	—	—	—	—	—	—	—	24,0	23,0	—
Графит	—	—	—	—	—	—	1,4	1,1	3,0 ²	—
Силикат натрия	15,0	13,0	13,0	19,0	20,0	20,0	20,0	17,0	15,0	30,0

¹ В сухой замес флюса ФЦК вводится 12,5% воды. ² Конс. ³ 75%-ный.

Флюсы К-1, К-2, К-11 и КВС-19, применяемые для сварки малоуглеродистых сталей, дают швы, малочувствительные к возникновению пор под влиянием ржавчины.

Флюсы К-3 и КС-30ХГСНА рекомендуются для сварки низколегированных сталей СХЛ-4 и 30ХГСНА соответственно. Флюсы КС-1 и П могут применяться в тех случаях, когда нежелательно дополнительное легирование металла шва.

Флюсы КС-III и КС-С являются примером сильно легирующих флюсов. Первый из них используется при наплавке штампов для холодной штамповки (дает наплавленный металл с содержанием 1,6—1,8% углерода и 11,5—12,5% хрома); второй рекомендуется применять в том случае, когда в результате наплавки требуется получить металл типа сормайта (1,6—1,8% С, 12—14% Сг, 1,5—2,0% Ni).

Для автоматической сварки под указанными флюсами применяется малоуглеродистая проволока марки Св-08 (ГОСТ 2246-60).

Флюс ФЦК предназначен для сварки высоколегированных, аустенитных, жаропрочных и коррозионноустойчивых сталей, а также перлитных, конструкционных и теплоустойчивых сталей.

Некоторым недостатком керамических легирующих флюсов, содержащих металлические добавки, является зависимость химического состава шва от напряжения на дуге. Колебания длины дуги в процессе сварки приводят к изменению химического состава шва, что может повлечь за собой нестабильность его механических свойств.

СЫРЬЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФЛЮСОВ

Химический состав минерального сырья для изготовления флюсов приводится в табл. 7.

Для изготовления керамических флюсов применяются те же ферросплавы и металлические порошки, что и для составления электродных покрытий. Расчет шихты плавленых флюсов производится по формуле

$$Q = \frac{a}{b} 100,$$

где Q — необходимое количество материала в весовых частях;
 a — процентное содержание в теоретическом составе шихты того соединения, которое вводится за счет данного материала;
 b — процентное содержание того же соединения в данном материале.

ПРОИЗВОДСТВО ФЛЮСОВ

Производство плавленых флюсов

Процесс производства плавленых флюсов состоит из следующих основных стадий: подготовки шихты, выплавки флюса, грануляции и последующей обработки флюса.

Подготовка сырых материалов к плавке заключается в просушке и измельчении их, в составлении шихты по произведенному расчету. Просушка материалов для достаточно полного удаления гигроскопической влаги должна вестись при температурах выше 100° (желательно при 150—200°). Значительная влажность сырья может привести к ошибкам в расчете шихты и интенсивному протеканию реакций, снижающих концентрацию фтористого кальция во флюсе (см. уравнение реакции (7)). Измельчение компонентов производится отдельно. Степень измельчения зависит от того, будет ли плавка производиться в электрической или пламенной печи. При плавке в электрической печи частицы компонентов шихты не должны быть очень мелкими (не мельче 2—4 мм в поперечнике). Наличие пыли в шихте приводит к бурному протеканию процессов, что служит причиной выбросов шихты из печи. Частицы шихты не должны быть также крупнее 8—10 мм в диаметре, так как при этом увеличивается продолжительность плавки и возрастает расход электроэнергии.

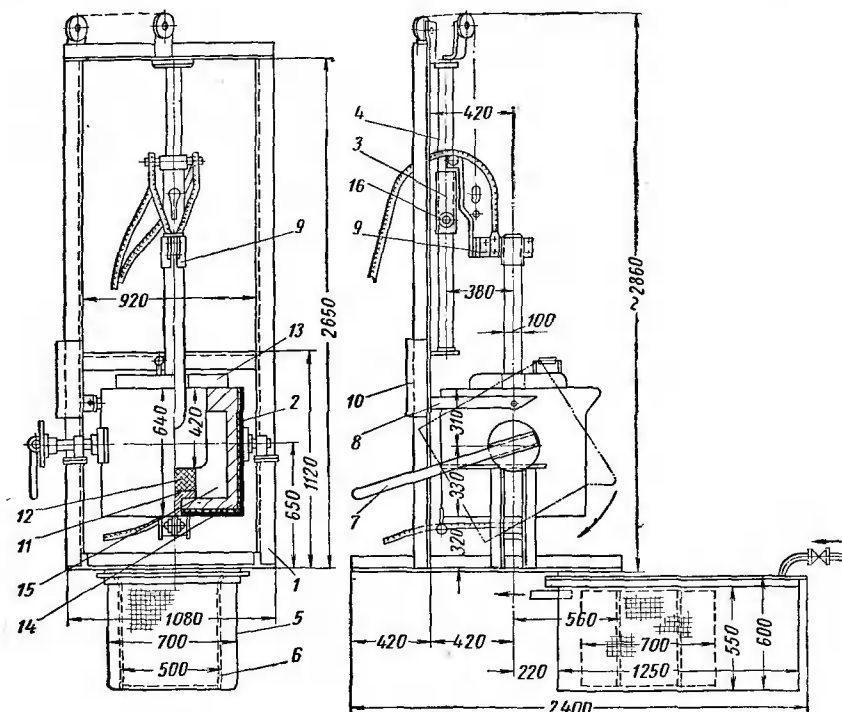
7. Сырье для изготовления флюсов

Наименование материалов	Содержание в %										ГОСТ или ТУ
	MnO	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	CaF ₂	K ₂ O + Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	S	P
Марганцевая руда . . .	>58,0	<10,0	<4,5	—	—	—	—	—	—	<0,1	<0,2
Песок	—	>97,0	—	—	—	—	—	—	—	Следы	<0,015
Плавленый шпат . . .	—	<5,0	—	—	<4,0	—	>85,0	—	—	<0,2	<0,015
Магнезит каустический	—	<4,0	<4,5	>75,0	—	—	—	—	—	—	—
Мел	—	—	>54,0	—	—	—	—	—	—	<0,06	<0,04
Каолин	—	—	—	—	>38,0	—	—	—	—	—	—
Порошковитовый концентрат	—	<12,0	<32,0	<12,0	2,0	>40,0	—	—	<7,0	<0,04	—
Полевой шпат	—	64,0—70,0	<1,5	<0,5	17,0—21,0	—	—	>10,0	—	<0,04	<0,04
Глинозем	—	<5,0	—	—	>92,0	—	—	—	<3,0	—	—

* С дополнительным ограничением содержания окиси кальция.

При выплавке флюса в пламенной печи составляющие шихты должны быть раздроблены возможно мельче. Более равномерное распределение температур в рабочем пространстве пламенной печи обеспечивает спокойное протекание процессов флюсоварения. Это дает возможность использовать для изготовления флюса более мелко раздробленную шихту, что облегчает процессы плавления и ускоряет варку флюса.

Пламенные печи применяются для массового изготовления флюсов и представляют собой ванны печи периодического действия, отапливаемые генераторным газом.



Фиг. 4. Электрическая печь для плавки флюса [6].

Электрические печи применяются двух типов: неподвижные, из которых флюс выпускается через летку, и наклоняющиеся.

Наклоняющаяся печь конструкции ЦНИИТМАШа (фиг. 4) производительностью до 0,55 т флюса в сутки состоит из каркаса 1, кожуха 2, устройства для подвески электрода и приспособлений для мокрой грануляции 5 и 6.

Каркас изготавливается из углового железа. Кожух имеет цилиндрическую форму и состоит из обечайки с приваренным к ней днищем. Кожух установлен на двух цапфах и при помощи рычага 7 легко наклоняется.

Футеровка печи состоит из нескольких слоев: внутрь кожуха закладывается слой асбеста толщиной 5—10 мм, затем слой огнеупорного кирпича 14 толщиной в 1/4 кирпича. На слой кирпича, расположенный по дну, укладывается стальная контактная плита 11, а на нее — кусок угольного электрода 12 диаметром 300—350 мм, служащий подиной рабочего пространства печи. Затем набиивается футеровка 15 печи.

Футеровка из 70% электродной массы или кокса (размер зерен от 3 мм до пыли) и 30% песка. Для выполнения футеровки в печь вставляется шаблон из тонкого листового железа, имеющий форму плавильного пространства, после чего свободное пространство между шаблоном и слоем огнеупорного кирпича заполняется указанной смесью и производится обжиг футеровки. В электрических печах вебольного тоннажа (50—70 кг) применяется также вместо футеровки металлический (стальной или медный) водоохлаждаемый кокиль.

Плавильное пространство печи сверху закрывается крышкой 13. Рабочее положение кожуха фиксируется стопорным штырем и откидной планкой 8.

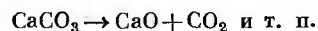
Устройство для подвески электрода состоит из направляющего стержня 4 и трубчатой обоймы 3 с укрепленным на ней зажимом 9 для электрода. Положение обоймы 3 на направляющем стержне 4 фиксируется стопорным винтом с маховиком 16. Подвижная часть с электродом уравновешена контргрузом 10. Электрод изолирован от корпуса прокладками из асбеста.

Для мокрой грануляции флюса предназначены бак 5 емкостью 0,5 м³ и сетчатая корзина 6 для собирания флюса. Питание электрических печей производится от сварочных трансформаторов типа ТС-150-3, ТСД-1000, ТСД-2000 или ТС-1000 и других соответствующей мощности и напряжения.

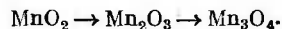
Процессы, имеющие место при выплавке флюсов, можно представить следующим образом.

При температурах до 100° происходит испарение из шихты гигроскопической влаги. Кристаллизационная влага удаляется из компонентов шихты в течение всего времени вплоть до ее плавления. При этом, если в состав шихты входит фтористый кальций, то пары воды взаимодействуют с ним, образуя фтористый водород [см. реакцию (7)].

Карбонаты CaCO₃, MgCO₃, MnCO₃, из которых первые два входят в состав шихты некоторых флюсов в довольно значительном количестве, а остальные присутствуют в ней как случайные примеси, полностью разлагаются при температурах 500—900°.



В твердом состоянии происходит разложение большей части окислов марганца, переход их из более богатых в более бедные кислородом соединения по схеме



Одновременно происходит восстановление окислов марганца за счет твердого углерода и его окиси.

Окислы марганца, являясь сильными окислителями, способствуют выгоранию из шихты серы.

Таковы основные процессы, протекающие среди компонентов шихты флюсов до полного ее расплавления.

Расплавление сопровождается интенсивным взаимодействием между отдельными составляющими шихты и образованием химических соединений: силикатов, титанатов, алюминатов и т. п.

Плавиковый шпат в образовании силикатов не участвует, а по-видимому, играет роль растворителя. Однако при высоких температурах (1500—1600°) фтористый кальций взаимодействует с двуокисью кремния, образуя летучее химическое соединение — фтористый кремний.

Указанная реакция является одним из источников потери фтора при выплавке флюсов.

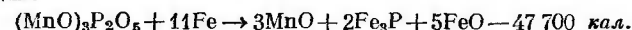
В расплаве продолжают реакции восстановления высших окислов марганца и окислов железа за счет твердого углерода, а по мере уменьшения окислительной способности флюса и повышения его температуры все большее развитие получают реакции, требующие большой затраты тепла и восстановительных условий.

Большое значение, с точки зрения получения вполне доброкачественного флюса, имеет реакция взаимодействия сульфида железа с закисью марганца



В результате этой реакции происходит превращение сернистого железа, хорошо растворимого в жидкой стали, в сернистый марганец, практически в ней нерастворимый. Поэтому при автоматической сварке под высокомарганцовистыми флюсами перехода серы в металл шва практически не происходит.

Для уменьшения концентрации фосфора во флюсе в ванну печи вводят металлическую добавку в виде чугунной или стальной стружки (10—25% от веса плавки). При этом на подине флюсовой печи под слоем металла образуется ванна жидкого металла. Между металлической и шлаковой фазами протекает следующая реакция:



В результате этой реакции концентрация фосфора во флюсе существенно снижается. При проведении повторных плавов металлическая добавка может быть использована многократно.

При высоких температурах, достигаемых в конце плавки флюса, может происходить испарение наиболее летучих из его составляющих, например, соединений щелочных металлов — калия и натрия.

Таким образом, в результате протекания в ванне флюсоплавильной печи указанных выше процессов образуется однородная масса, имеющая определенный химический состав и обладающая требуемыми физическими и химическими свойствами.

Грануляция флюса производится двумя способами — мокрым и сухим. При мокром способе расплавленный флюс сливают тонкой струей в бак с водой. Понадая в холодную воду, флюс дробится на относительно мелкие частицы. При сухой грануляции флюс выливается в металлические формы и после охлаждения дробится механическим способом. Мокрая грануляция более удобна, так как дает возможность получить не только стекловидный, но и пемзовидный флюс. Пемзовидный флюс выплавляется в электрической печи при значительном перегреве расплава с последующей мокрой грануляцией. Кроме того, при мокрой грануляции облегчается последующее дробление флюса и получается значительно меньше отходов в виде пылевидной фракции.

Сушка флюса после мокрой грануляции производится при температурах 150—250°. Готовый к употреблению флюс не должен содержать более 0,1% влаги. Дробление и просев флюса являются последними операциями его изготовления. Размер частиц определяется назначением флюса (см. табл. 3).

Контроль качества флюса во время плавки в печи производится по внешнему виду застывшей пробы расплава.

Готовый к употреблению флюс подвергается следующему контролю: определению химического состава, проверке гранулометрического состава и объемного веса, проверке однородности по внешнему виду и однородности зерен, определению содержания влаги. Указанные испытания охватывают все основные сварочные свойства флюсов и поэтому являются достаточными для определения их качества. Однако на практике для большей гарантии получения качественных флюсов их испытывают еще на склонность к образованию пор и трещин.

Проба для испытаний отбирается от каждой партии. Партией считается одна плавка или серия плавов флюса одной марки, проведенных при неизменном расчетном составе шихты, одних и тех же сырых материалах и неизменной технологии выплавки и обработки флюса; максимальный вес партии для флюсов, выплавляемых в пламенных печах, не более 20 т, а для флюсов, выплавляемых в электропечах, — не более 10 т. При хранении флюса в ларях или насыпью отбор пробы производится не менее чем в шести местах. При хранении в таре флюс отбирается из десяти уклованных мест. Отобранная проба тщательно смешивается, после чего доводится квартованием до 2,5 кг. Для определения химического состава и влажности флюса от каждой партии отбирается проба в количестве 0,5 кг; для определения гранулометрического состава флюса, его однородности и объемного веса — в количестве 2 кг (см. ГОСТ 9087-59).

Химический анализ флюса производится по основным составляющим. Для высокомарганцовистых флюсов типа ОЦ-45 и АН-348А это будут: MnO, SiO₂, CaF₂, CaO, MgO, Al₂O₃, FeO, S и P.

Для определения гранулометрического состава производится просев флюса через сито с определенным размером ячейки.

Выявление склонности флюсов к образованию пор производится наплавкой валика на пластину с канавкой, в которую предварительно засыпается определенное количество ржавчины. Чувствительность флюсов к образованию горячих трещин в швах проверяется на тавровых образцах, при сварке которых в корень шва засыпается дозированное количество сернистого железа. Испытываемый флюс не должен быть хуже проверяемого в тех же условиях эталонного флюса.

Производство керамических флюсов

Изготовление керамических флюсов сводится, в основном, к следующим операциям. Составляющие флюса дробятся, размалываются и просеиваются через сито. Минеральные компоненты должны проходить через сито 1600 *отв/см²*, ферросплавы и металлические порошки 900—1200 *отв/см²*.

Смесь, составленная из необходимого количества компонентов, тщательно перемешивается, после чего в нее добавляется водный раствор жидкого стекла и снова производится тщательное перемешивание*.

Полученная однородная масса может обрабатываться двумя способами: а) из массы готовятся брикеты, которые просушиваются и прокаливаются в течение 2—3 час. при 350—400°, дробятся и просеиваются через сито 25 *отв/см²*; б) масса гранулируется в сыром виде в специальных машинах (грануляторах) или (при изготовлении небольших опытных партий) путем протирания через проволочное сито с расстоянием между проволоками 2 мм.

Готовая крупка подсушивается в течение 15—20 мин. при температуре 150—200°, затем просеивается (сито 25 *отв/см²*) и прокаливается при 350—400° в течение 2—3 час.

Флюсы типа ФЦК прокаливаются без предварительной подсушки при температуре около 700°С в течение 1 часа.

Готовый флюс следует хранить и транспортировать в условиях, исключающих его увлажнение и истирание.

* Флюсы ФЦК изготавливаются без добавки жидкого стекла, но в их замес вводится вода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматическая электродуговая сварка, Институт электросварки им. Б. О. Патона АН УССР, ГНТИМЛ, Киев — Москва, 1953.
2. Исков Б. Б., Сварка шланговыми автоматами и полуавтоматами, Судпромгиз, 1952.
3. Любавский К. В., Металлургия автоматической сварки малоуглеродистой стали под флюсом, ЦНИИТМАШ, кн. 14, Машгиз, 1948.
4. Любавский К. В., Лазарев Б. И., Автоматическая сварка котельных сталей большой толщины мощными дугами, «Автогенное дело», № 1 и 2, 1949.
5. Любавский К. В., Раздел «Автоматическая сварка под флюсом» книги «Справочные материалы для сварщиков», ВНИГОС, Машгиз, 1951.
6. Любавский К. В., Папукианис Ф. И., Инструктивные материалы ЦНИИТМАШ по изготовлению и применению флюсов для автоматической сварки, ЦНИИТМАШ, М., 1951.
7. Медовар Б. И., Сварка хромоникелевых аустенитных сталей, Машгиз, 1954.
8. Подгаецкий В. В., Рабкин Д. М., Флюсы для автоматической и полуметаллической сварки, АН УССР, Киев, 1954.
9. Тимофеев М. М., Сера и фосфор при автоматической сварке под высокомагнетицидными флюсами, ЦНИИТМАШ, кн. 35, Машгиз, 1950.
10. Фрумин И. И., Кирдо И. В., Подгаецкий В. В., Образование пор в сварных швах и влияние состава флюса на склонность к порам, «Автогенное дело» № 10, 1949.
11. Хренов К. К., Кушнеров Д. М., Керамические флюсы для автоматической дуговой сварки, Гостехиздат, УССР, Киев, 1954.
12. Хренов К. К., Керамические флюсы для автоматической дуговой сварки, «Автоматическая сварка» № 12, 1960.

ГЛАВА III

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ГАЗОПЛАМЕННОЙ СВАРКИ И РЕЗКИ

СВОЙСТВА ГАЗООБРАЗНОГО И ЖИДКОГО КИСЛОРОДА

Газообразный кислород (O₂) при нормальной температуре и атмосферном давлении бесцветен, не имеет запаха и вкуса. 1 м³ его при температуре 20° и давлении 760 мм рт. ст. весит 1,33 кг.

Кислород не горит, но активно поддерживает процесс горения. Для промышленных целей его получают главным образом из атмосферного воздуха [1], в значительно меньших масштабах — электролизом воды. Кислород, получаемый электролизом воды, содержит до 2% водорода.

Температура кипения жидкого кислорода при атмосферном давлении —183°С. Удельный вес его при температуре —183° составляет 1,14 кг/л. Испарение 1 л жидкого кислорода дает около 860 л газообразного кислорода, приведенного к температуре 20° и давлению 760 мм рт. ст.

При соприкосновении сжатого кислорода, находящегося под давлением свыше 30 кг/см², с маслами и жирами происходит мгновенное их окисление, сопровождаемое выделением теплоты, в результате чего масло или жир могут воспламениться. При определенных условиях воспламенение может привести к взрыву.

В соответствии с ГОСТом 5583-58 газообразный технический кислород, предназначенный для газопламенной обработки металлов, выпускается трех сортов: высший сорт с содержанием кислорода не менее 99,5% (по объему), применяемый, в основном, при кислородной резке; первый — с содержанием кислорода не менее 99,2% и второй — не менее 98,5%. Содержание влаги в газообразном кислороде не должно превышать 0,07 г/м³.

Для неотчетливой газовой сварки, пайки, поверхностной закалки и других видов нагрева газовым пламенем может быть использован кислород чистой 92—98%, получаемый в специальных установках для технологических нужд металлургического производства, а так же как побочный продукт при производстве азота.

Газообразный кислород хранится и транспортируется в стальных баллонах, в которые он нагнетается до давления 150—165 кг/см² (намечается нагнетание до давления 200 кг/см²). В последние годы широко применяется транспортирование кислорода в жидком состоянии (см. ГОСТ 6331-52) с последующей газификацией его на месте потребления.

При перевозке кислорода в жидком виде вес тары, приходящийся на 1 кг кислорода, уменьшается, по сравнению с перевозкой газообразного кислорода, более чем в 10 раз. Значительно повышается безопасность транспортирования.

В газообразном кислороде, получаемом путем испарения жидкого кислорода, влага полностью отсутствует. В кислороде, нагнетаемом в баллоны, присутствие некоторого количества влаги обусловлено тем, что поршни и цилиндры кислородных компрессоров смазываются водой. Отсутствие влаги в кислороде повышает производительность и качество газопламенной обработки и предотвращает замерзание редукторов и вентиляей.

К недостаткам применения жидкого кислорода следует отнести значительные потери на испарение при перевозке и хранении.

СВОЙСТВА ГОРЮЧИХ

В качестве горючего при газопламенной обработке чаще всего используется ацетилен; применяются также смеси различных газообразных или жидких углеводородов и водорода (табл. 1). При сгорании этих горючих в смеси с кислородом образуется высокотемпературное пламя (см. том II, стр. 305) и выделяется значительное количество теплоты. Все углеводородные горючие (в том числе и ацетилен), а также водород в смеси с воздухом, и в особенности с кислородом, образуют взрывоопасные смеси.

Водород не имеет цвета и запаха, в воде практически не растворяется. Технический водород, транспортируемый в баллонах, получается путем электролиза воды или разложения водяного пара при высокой температуре в присутствии железа. Содержание кислорода в техническом водороде по ГОСТу 3022-45 не должно превышать 0,5%. Для газопламенной обработки металлов, в частности для сварки и пайки свинца, водород может быть получен непосредственно на месте производства работ в переносных генераторах путем взаимодействия кислоты с металлом [2], [3] или ферросилиция с раствором щелочи [4].

При сгорании в смеси с кислородом водород образует несветящееся пламя со слабо-желтой окраской. Зоны пламени водорода не имеют резких очертаний, что затрудняет регулирование пламени по внешнему виду. Теплотворная способность водородно-кислородного пламени низкая (см. табл. 1).

Стоимость компримированного водорода в баллонах сравнительно высока; поэтому он применяется в основном лишь при сварке и пайке свинца и при особых видах кислородной резки, где требуется подача горючего в резак под высоким давлением (например, при резке под водой).

В больших или меньших количествах водород содержится во всех используемых горючих газах и смесях. Чем больше водорода в горючем, тем ниже тепловые характеристики последнего, выше скорость воспламенения и верхний предел взрываемости.

Коксовый газ — смесь газообразных продуктов (в основном, водорода, метана и окиси углерода), получаемая при сухой перегонке каменного угля в коксовых батареях. Коксовый газ также имеет низкую теплотворную способность (см. табл. 1), но находит широкое применение на большинстве металлургических заводов, где он является побочным продуктом. Коксовый газ используется в качестве горючего при раздельной и поверхностной резке, а также при пламенной закалке. К месту работ транспортируется преимущественно по газопроводам под низким давлением (50—200 мм вод. ст.).

В случае надобности давление может быть повышено при помощи газодувок до 1—1,5 кг/см². Иногда для доставки к месту потребления коксовый газ нагревается в баллонах.

В неочищенном коксовом газе содержится значительное количество паров смолистых веществ и нафталина, которые при конденсации на стенках трубопроводов, в особенности в узких каналах газосварочной аппаратуры, могут вызвать их закупорку. Кроме того, в нем содержатся сернистые соединения, разъедающие стенки медных газопроводов и выходные каналы мундштуков. Поэтому коксовый газ, применяемый для газопламенной обработки, следует тщательно очищать от смолистых веществ, нафталина и сернистых соединений. Мундштуки рекомендуется изготовлять из латуни или чугуна.

При использовании коксового газа необходимо иметь в виду, что в нем содержится до 12% (по объему) ядовитой окиси углерода.

Природные и городские газы. Природные газы состоят в основном из метана (77—98%) с примесью этана, пропана, бутана и азота. Смесь природных газов с низкокалорийными газами (коксовым, генераторным и др.) носит название городского газа, который применяется для бытовых целей, а также для кислородной резки. К месту потребления природные и городские газы могут доставляться как в баллонах, так и по трубопроводу.

Нефтяные газы представляют собой смесь горючих газов, являющихся спутниками нефти; они получают также при термической переработке нефти и нефтепродуктов (см. табл. 1).

1. Физические и тепловые свойства горючих

Наименование горючего газа и химическая формула	Плотность в кг/м ³ при 760 мм вод. ст. и 20°	Максимальная температура плавления при давлении в атмосфере	Нижняя теплотворная способность при 760 мм вод. ст. и 20° в тыс. ккал/м ³	Наибольшие пределы взрываемости (процент содержания горючего газа в смеси)		Высшая скорость распространения пламени в м/сек		Количество кислорода в м ³ на 1 м ³ горючего газа	
				в воздухе	в кислороде	в воздухе	в кислороде	необходимое для полного сгорания	рабочее (под давлением в газопроводе)
Ацетилен (C ₂ H ₂)	1,09	3200	12,6	2,2—82,0	2,3—93,0	2,87	13,5*	2,5	1,4—1,7
Водород (H ₂)	0,084	2500	2,4	3,3—81,5	4,6—93,9	2,67	8,9	0,5	0,4
Окись углерода (CO)	1,16	2800	2,8	11,4—77,5	15,5—93,9	0,33	4,1	0,5	—
Метан (CH ₄)	0,67	2200	8,0	4,8—16,7	5,0—59,2	0,67	3,3	2,0	1,5
Этан (C ₂ H ₆)	1,27	2200	14,4	3,1—15,0	4,4—50,5	0,85	—	3,5	—
Пропан (C ₃ H ₈)	1,88	2750	20,8	2,0—11,0	2,0—48,0	0,82	3,7	5,0	3,5
Бутан (C ₄ H ₁₀)	2,54	2500	27,8	1,5—8,4	3,0—45,0	0,83	—	6,5	4,0
Городские газы ** (тип московского)	0,84—1,05	2000—2300	4,4—6,5	3,8—40,0	8,5—73,6	0,65	—	0,95—2	0,8—1,2
Природные газы **	0,68—0,90	2000—2200	7,5—9,0	4,8—14,0	—	0,7	—	1,8—2	1,0—1,5
Коксовые газы **	0,40—0,55	2000—2100	3,5—4,4	7—21	—	—	—	0,9—1,1	0,6—0,8
Нефтяные газы **	0,60—1,37	2000—2400	7,0—14,8	3,5—16,3	—	1,15	—	1,5—2,5	1,2—2,2
Сланцевые газы **	0,74—1,00	1500—2000	3,0—3,4	—	—	—	—	до 0,8	0,6—0,7
Пара бензина (~C ₇ H ₁₆)	(0,70—0,74 кг/л)	2400	(~10 тыс. ккал/кг)	0,7—6,0	2,1—28,4	0,31	—	—	(~2,5 м ³ /кг)
Пара керосина (~C ₁₂ H ₂₄)	(0,79—0,82 кг/л)	2300	(~10 тыс. ккал/кг)	1,4—5,5	—	—	—	—	(2 м ³ /кг)

* При нормальном соотношении горючей смеси (соотношении между кислородом и ацетиленом, равном 1,1) скорость распространения пламени составляет ~7,2 м/сек.
 ** Широкие пределы изменения удельного веса, температуры пламени и теплотворной способности объясняются изменением химического состава указанных газов, зависшим от месторождения или места производства.

Пропано-бутановые смеси (так называемый технический пропан) получают при переработке природных нефтяных газов, а также как побочные продукты при крекинг-процессе на нефтеперерабатывающих заводах.

Пропано-бутановые смеси можно сжигать под давлением, не превышающим 25 кг/см^2 , и транспортировать в жидком виде в цистернах и баллонах. Температура кипения пропана минус $-44,5^\circ$, а нормального бутана $+0,5^\circ$. В связи с этим состав паров при испарении жидких технических смесей непостоянен. Обычно отбор газа производится из газовой подушки над жидкостью, при этом в первую очередь испаряется пропан, в результате чего жидкость обогащается бутаном, а давление в баллоне снижается.

Сланцевый газ получается при газификации горючих сланцев в специальных генераторах и применяется для химической переработки и бытовых целей (как городской газ). С некоторыми ограничениями (см. табл. 2) он может быть использован также при отдельных процессах газопламенной обработки.

Бензин — летучая и огнеопасная жидкость, получаемая при разгонке нефти. Бензин легко воспламеняется и взрывается в смеси с воздухом и кислородом; весьма легко электризуется, что еще более увеличивает опасность его воспламенения. Пары бензина ядовиты и при продолжительном вдыхании могут вызвать головную боль и головокружение. Бензин применяется преимущественно при кислородной резке в связи с его общедоступностью и простотой транспортирования. Однако для этой цели более целесообразным является применение осветительного керосина как менее взрыво- и огнеопасного.

Пиролизный газ — продукт термического разложения нефтяного мазута. После обычной очистки в газе остаются сернистые соединения, взаимодействующие с медью; поэтому медные мундштуки выходят из строя после трех-четырех смен работы. Рекомендуется тщательная очистка газа и изготовление мундштуков из латуни и чугуна.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГОРЮЧИХ-ЗАМЕНИТЕЛЕЙ АЦЕТИЛЕНА

Большинство горючих газов с теплотворной способностью не ниже 2400 ккал/м^3 , а также бензин и керосин являются удовлетворительными заменителями ацетилена при кислородной резке и некоторых других процессах газопламенной обработки (табл. 2).

При правильном выборе мощности пламени газа-заменителя и размеров отверстий в мундштуках, смесительной камере и инжекторном сопле резака или горелки, несмотря на некоторое снижение скорости процесса, увеличение длительности начального подогрева и увеличение расхода кислорода, достигается заметная экономия средств (см. стр. 149).

Для процессов газопламенной обработки могут быть использованы все горючие газы (в том числе и сжижаемые) теплотворной способностью не ниже 2400 ккал/м^3 .

Основные расчетные характеристики газов — заменителей ацетилена

Для расчета основных размеров аппаратуры при работе на горючих — заменителях ацетилена — надо знать часовой расход горючего ($V_2 \text{ м}^3/\text{час}$), объемное (для жидких горючих — весовое) соотношение между кислородом и горючим в смеси (β_2) и относительную скорость воспламенения смеси (S_0).

Обычно по технологическим данным известен необходимый расход ацетилена V_a ; тогда искомый расход газа-заменителя определится как $V_2 = K_2 V_a$, где K_2 — коэффициент замены ацетилена или относительный расход горючего.

При нагреве металла перемещающимся пламенем смеси различных горючих с кислородом количество теплоты, вводимое в металл в единицу времени (эффективную тепловую мощность пламени), в первом приближении можно принять прямо-пропорциональным количеству теплоты, которое выделяется при полном сгорании данного горючего, и мало изменяющимся во времени. При нагреве неподвижным пламенем эффективная тепловая мощность пламени существенно изменяется во времени и тем резче, чем ниже температура пламени

2. Область применения горючих-заменителей ацетилена

Виды газопламенной обработки		Горючие-заменители							
		Ацетилен	Пропан	Коксовые газы	Нефтяные газы	Керосин	Бензин	Природные и городские газы	Сланцевый газ
Сварка тонколистовой стали, чугуна, меди, алюминия и их сплавов		+	+				+		—
Сварка свинца, стекла		+	+	+			+		+
Пайка с пламенным нагревом		+	+	+	+	+	+	+	+
Поверхностная закалка		+	+	+	+	+	+		
Напыление легкоплавких материалов		+	+	+				+	
Нагрев при гибке, правке и т. п.		+	+	+	+	+	+	+	+
Кислородная резка	Разделительная	Машинная чистовая и заготовительная — вертикальная	+	+	+	+	+	+	+
		То же, со скопом — кромок	+	+		+	+	+	—
		Ручная заготовительная и резка лома	+	+		+	+		—
		Резка стального литья, в том числе прибылей	+	+		+	+		—
		Резка при строительно-монтажных работах	+	—	+	—	—	+	+
		Резка больших толщин (свыше 200 мм)	+	+	+	+	+	+	+
		Скоростная резка тонкого металла	+	+	+	+	+	+	—
		Подводная резка	—	+	—	+	+	+	—
		Кислородно-флюсовая резка	+	+	+	+		+	
	Поверхностная	Зачистка металлургическая обычная	+	+	+	+		+	
		То же, кислородно-флюсовая	+					+	
		Сплошная машинная зачистка	+	+				+	
		Вырезка отдельных канавок	+	+	+	+	+	+	

Примечания: 1. Знаком плюс (+) обозначены те виды газопламенной обработки, при которых использование данного горючего технически возможно.

2. Знаком минус (—) обозначены те виды обработки, при которых использование данного горючего не рекомендуется.

3. Пустые клетки соответствуют случаям, для которых нет еще достаточных данных.

данного горючего. Поэтому на основании опытных данных при расчете расхода газа-заменителя для нагрева неподвижным пламенем коэффициент замены, подсчитанный для движущегося пламени, следует увеличивать в 1,5–2 раза.

Коэффициент замены ацетилен

При разделительной резке и других видах нагрева перемещающимся пламенем

$$K_z = \frac{V_z}{V_a} \approx \frac{Q_a}{Q_z} = \frac{12\,600}{Q_z},$$

где Q_a — низшая теплотворность ацетилена в ккал/м^3 при температуре 20° и давлении 760 мм рт. ст.;

Q_z — низшая теплотворность горючего.

Для составных горючих газов

$$Q_z = 0,01 \sum (Q_i r_i),$$

где Q_i — низшая теплотворность элементарных горючих, входящих в составной газ (см. табл. 1);

r_i — содержание в составном газе соответствующих элементарных горючих газов в объемных процентах.

Таким образом,

$$Q_z = 24 r_e + 80 r_m + 28 r_o + 200 r_n,$$

где r_e , r_m , r_o и r_n — содержание в составном газе водорода, метана, окиси углерода и пропана в объемных процентах.

Если сумма всех углеводородных горючих, кроме метана, не превышает 8% общего объема, их можно включать в содержание пропана. В остальных случаях необходимо учитывать их действительную теплотворность.

Рабочее соотношение кислорода и горючего в смеси

Для элементарных горючих оптимальные рабочие соотношения приведены в табл. 1.

Для сложных горючих

$$\beta_z = \frac{V_{\kappa}}{V_z} = 0,01 \sum (\beta_i r_i) - r_{\kappa},$$

где r_{κ} — объемное содержание в составном газе кислорода, откуда

$$\beta_z = 0,01 [0,4 (r_e + r_o) + 1,5 r_m + 3,5 r_n - r_{\kappa}].$$

Относительная скорость распространения пламени

Относительные скорости распространения пламени (по отношению к скорости распространения пламени ацетилено-кислородной смеси нормального состава, принимаемой за единицу) элементарных горючих определяются по данным табл. 1.

Скорости распространения пламени составных горючих газов можно приближенно подсчитать по формуле

$$S_0 = \frac{1,2 r'_e + r'_m + 0,14 r'_o + 3 r'_n}{r'_e + 2,3 r'_m + r'_o + 6,1 r'_n} - 0,007 (r_y + r_a + r_{\kappa}),$$

где r_y и r_a — объемные содержания углекислого газа и азота в составном газе;

r'_e , r'_m , r'_o и r'_n — объемные содержания соответствующих элементарных горючих в горючей части газа.

При расчете по этой формуле в содержание пропана можно, в первом приближении, включать содержание остальных углеводородных горючих, кроме метана (без ограничения по количеству).

Зная величины V_z , β_z и S_0 и задавшись числом выходных отверстий (n_m) в мундштуке резака или горелки или наружным диаметром внутреннего мундштука (d_m) в резке типа УР, можно рассчитать необходимые размеры цилиндрических отверстий в мундштуке, смесительной камере и инжекторном сопле. В табл. 3 приведены расчетные значения V_m , β_z , S_0 , D_e , d_m , d_u и $d_{c,\kappa}$, соответствующие средним составам газов.

В действительности все упомянутые в табл. 3 составные горючие газы имеют весьма широкий диапазон изменения состава, теплотворности и относительной скорости воспламенения.

Приведенные в табл. 3 рекомендации по относительному расходу горючего, оптимальному соотношению между кислородом и горючим газом и размерам отверстий в мундштуках, инжекторных соплах и смесительных камерах не могут считаться оптимальными для всех случаев применения указанных газов; при большом отклонении действительной теплотворности газа от приведенной в таблице необходимо провести расчет по описанной выше методике.

Однако в большинстве случаев при рекомендованных в табл. 3 размерах получаются вполне приемлемые результаты как по качеству резки, так и по производительности.

Пример расчета рабочих размеров резака для кислородной резки коксовым газом.

Химический состав коксового газа (в %): водорода 59,3; метана 26,4; окиси углерода 5,8; прочих горючих 2,7; азота 3,3; углекислого газа 1,9; кислорода 0,6. Итого 100%.

Объемное содержание элементарных составляющих коксового газа:

$$r_e = 59,3; \quad r_m = 26,4; \quad r_o = 5,8; \quad r_n \approx 2,7; \quad r_a = 3,3;$$

$$r_y = 1,19; \quad r_{\kappa} = 0,6; \quad r'_e = 62,9; \quad r'_m = 28,0; \quad r'_o = 6,2; \quad r'_n = 2,9.$$

По приведенным выше формулам

$$Q_z = 24 \cdot 59,3 + 80 \cdot 26,4 + 28 \cdot 5,8 + 200 \cdot 2,7 = 4250 \text{ ккал/м}^3;$$

$$K_z = \frac{12\,600}{4250} = 2,97;$$

$$\beta_z = 0,01 [0,4 (59,3 + 5,8) + 1,5 \cdot 26,4 + 3,5 \cdot 2,7 - 0,6] = 0,75;$$

$$S_0 = \frac{1,2 \cdot 62,9 + 28,0 + 0,14 \cdot 6,2 + 3 \cdot 2,9}{62,9 + 2,3 \cdot 28,0 + 6,2 + 6,1 \cdot 2,9} - 0,007 (1,9 + 3,3 + 0,6) = 0,706.$$

Если, пользуясь этими характеристиками газа, имеющими отклонения от данных табл. 3 не более чем на 7%, рассчитать размеры отверстий в основных деталях резака, то они практически совпадут со средними значениями этих размеров, приведенными в табл. 3.

Жидкие горючие

Для использования при резке горючих жидкостей (бензина, керосина, бензола и других горючих) вместо ацетилена необходимы специальные резаки с испарителями (керосинорезы) и бачки для горючего.

При работе резаками с испарителями расходуется дополнительное время на разогрев испарителя, периодическую чистку, перемотку оплетки и др. Тем не менее общедоступность и удобство транспортирования керосина и других жидких горючих делает последние наиболее универсальными заменителями ацетилена.

Показанная на стр. 506, т. I конструкция машинного резака с распылением жидкого горючего позволяет еще успешнее использовать керосин и бензин

Горючий газ	Расчетная низшая теплотворная способность при 20° С и 760 мм рт. ст. в тыс. ккал/м³ Q_p	Относительный расход горючего газа (коэффициент замены) K_2	Относительное соотношение между кислородом и горючим в смеси β_2	Относительная скорость распространения пламени S_0	Внутренний диаметр выходного отверстия в мундштуках типа УР в мм D_g			Диаметр одного отверстия в мм с шестью отверстиями для горючей смеси d_m			Диаметр горючего отверстия в мм	в смеси с кислородом в мм $d_{см}$	в смеси с кислородом в мм $d_{см}$
					№ 1	№ 2	№ 3	№ 4—5	№ 6—7				
Ацетилен	12,6	1	(1,1)	1	4,5	5,5	0,8	0,9	1,0	0,6	2,0		
Водород	2,4	5,2	0,4	1,2	5,5	6,7	1,2	1,4	1,5	0,8	3,2		
Нефтяной газ	10,5	1,2	2,0	0,5	5,7	7,0	1,3	1,5	1,6	0,9	3,4		
Коксовый газ	4,0	3,2	0,8	0,7	5,8	7,3	1,4	1,6	1,7	0,9	3,6		
Пропан технический	20,0	0,65	3,3	0,3	6,0	7,5	1,4	1,6	1,7	0,8	3,6		
Городской газ	4,5	2,8	1,2	0,5	6,0	7,5	1,5	1,7	1,8	0,9	3,7		
Природный газ	7,8	1,6	1,5	0,4	6,2	7,7	1,5	1,7	1,8	0,9	3,7		
Сланцевый газ	3,2	4,0	0,7	0,5	7,0	—	1,7	1,9	—	0,9	4,0		

Примечания: 1. Данные по ацетилену приводятся для сравнения. Соотношение 1,1 принималось ранее (оптимально для процесса сварки). Действительное оптимальное соотношение для кислородной резки равно 1,7.
2. Внутренние мундштуки резанок типа УР, как правило, остаются без изменения.
3. Для горючих газовых смесей приводимые данные относятся к средним составам этих газов.

в качестве горючего при кислородной резке, так как отпадает необходимость в периодической чистке, отсутствует асбестовая оплетка и сокращается расход горючего (испаритель с пламенным подогревом отсутствует, испарение осуществляется в мундштуке, нагретом отраженным теплом пламени).

При замене ацетилена другими горючими следует учитывать:

- ограниченность применения большинства заменителей;
- некоторое снижение производительности за счет увеличения длительности начального подогрева (в особенности при отрезке прибылей и при поверхностной резке); снижение производительности при скоростной резке.
- необходимость частичной переделки существующего оборудования или приобретения нового;
- ограниченность распространения большинства заменителей; в связи с этим для многих местностей — повышенные расходы на транспортирование (при поставке горючего в баллонах);
- недостаточное в некоторых случаях давление горючих, подаваемых по трубопроводам, и необходимость в дополнительной установке газодувок.
- увеличение расхода подогревающего кислорода в среднем в 2,5 раза по сравнению с резаками, работающими на ацетилене.

К достоинствам заменителей ацетилена можно отнести следующие:

- при использовании ими отпадает необходимость в дефицитном и требующем специального хранения карбиде кальция;
- все заменители ацетилена значительно менее взрывоопасны, чем ацетилен;
- отпадает необходимость в обслуживании переносных генераторов резчиков (сварщиков), в результате чего заметно повышается производительность труда;
- при использовании большинства заменителей ацетилена отпадают трудности, имеющие место при эксплуатации ацетиленовых генераторов в зимнее время (замерзание воды в газообразователях и предохранительных затворах);
- стоимость заменителей ацетилена значительно ниже стоимости ацетилена. Так, например, коксовый газ даже при нагнетании его в баллоны примерно в 10 раз дешевле ацетилена, получаемого в переносных генераторах. Поэтому, несмотря на повышенный по сравнению с ацетиленом расход горючих-заменителей и кислорода, общая стоимость выполнения работ при использовании заменителей (кроме компримированного водорода) по крайней мере на 10—15% ниже, чем при работе на ацетилене, а во многих случаях получаемая экономия значительно больше. На 1 т заменяемого карбида кальция экономия составляет 60—80 руб.

АЦЕТИЛЕН

Ацетилен [6]—[9] относится к группе непредельных углеводородов ряда C_nH_{2n-2} . Химическая формула его C_2H_2 , а структурная $H-C \equiv C-H$. На образование ацетилена из элементов расходуется значительное количество тепла (54 ккал/моль). Это же количество тепла выделяется при разложении ацетилена. При определенных условиях (давление, температура) разложение ацетилена легко может принять характер взрыва.

Ацетилен взрывоопасен при следующих условиях:

- если температура сухого газа, находящегося под давлением выше 1,5 атм, превысит 550°; в этом случае возможен взрыв без внешнего воспламенения;
- при температуре 240—280° в присутствии катализаторов, которыми могут служить, например, окислы меди и железа, взрыв также возможен без внешнего источника воспламенения;
- в смеси с воздухом при содержании ацетилена в смеси от 2,2 до 82%; в смеси с кислородом при содержании ацетилена в смеси от 2,3 до 93%; указанные смеси в обычных условиях взрываются при наличии искры, открытого пламени или другого источника воспламенения;
- в смеси с хлором; указанная смесь может взорваться под действием дневного света.

При длительном соприкосновении ацетилена, содержащего влагу и аммиак, с медью может образоваться взрывчатая ацетиленистая медь.

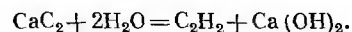
Для изготовления арматуры, соприкасающейся с ацетиленом, разрешается применять технические медные сплавы с содержанием меди до 70%.

Взрывы ацетилена сопровождаются резким повышением давления и температуры и могут вызвать значительные разрушения.

Получение ацетилена из карбида кальция

Основным промышленным способом получения ацетилена для газопламенной обработки является разложение в воде карбида кальция.

При взаимодействии карбида кальция с водой реакция протекает по уравнению:

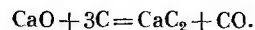


При этом выделяется значительное количество тепла (около 400 ккал на 1 кг карбида).

Получение ацетилена из карбида кальция осуществляется в аппаратах, называемых ацетиленовыми генераторами (см. т. I, стр. 475).

Карбид кальция представляет собой соединения кальция с углеродом (CaC_2).

Технический карбид кальция получается в результате взаимодействия негашеной извести с коксом или антрацитом в электрических печах по реакции



Технический карбид кальция содержит 60—75% CaC_2 , 15—20% CaO , остальное — ферросилиций, углерод и др.

Объем ацетилена в л, выделяемый при разложении 1 кг карбида, приведенный к 20° и 760 мм рт. ст., называется выходом ацетилена (литражом карбида).

4. Нормы выхода ацетилена из карбида кальция по ГОСТу 1460-56 для различных размеров кусков

Размеры кусков в мм	Условное обозначение размеров	Нормы выхода ацетилена в л, кг	
		I сорт	II сорт
От 2 до 8	2/8	255	235
От 8 до 15	8/15	265	245
От 15 до 25	15/25	275	255
От 25 до 80	25/80	285	265
Смешанных размеров	—	275	265

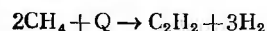
В соответствии с дополнением к ГОСТу 1460-56, карбид кальция грануляции 2/8, 8/15 и 15/25 должен поставаться с согласия потребителей.

Карбид кальция упаковывается в железные барабаны весом нетто 50—130 кг. При раскупоривании барабанов необходимо иметь в виду, что в них может находиться взрывчатая ацетилено-воздушная смесь, образующаяся вследствие разложения карбида влагой воздуха, попадающего в барабаны при закупоривании.

Перед загрузкой в генератор от карбида кальция должна быть отсеяна пыль.

Другие способы получения ацетилена

В настоящее время разработаны и внедряются способы получения ацетилена путем крекингования углеводородов, главным образом природного газа (метана). Реакция протекает по уравнению



и требует значительных расходов тепла. Тепло, необходимое для осуществления этой реакции, можно получать одним из следующих трех способов:

1) одновременным сжиганием некоторого количества природного газа в смеси с кислородом (способ частичного сжигания);

2) использованием тепла вспомогательного горючего путем косвенного теплообмена или в регенеративной печи (пиролиз);

3) электроразрядом в разлагаемом газе.

Основной принцип, на котором основаны эти три способа превращения углеводородов в ацетилен путем их разложения, состоит в быстром нагревании потока газа при очень высокой температуре реакции с резким охлаждением после кратковременного (от 0,01 до 0,1 сек.) пребывания газа в зоне реакции. При всех указанных способах получают газовые смеси, содержащие 8—11% ацетилена.

Для выделения ацетилена из полученных смесей применяются растворители (диметилформамид, жидкий аммиак и др.).

Разрабатывается также способ выделения ацетилена гиперсorbцией.

Все три новых способа могут считаться высокоэффективными при условии рационального использования других продуктов, образующихся при разложении исходного вещества.

В табл. 5 приведены сравнительные технико-экономические показатели получения ацетилена различными способами.

5. Сравнительные технико-экономические показатели в % различных способов получения ацетилена

Показатели	Производство ацетилена			
	из карбида кальция	электрокрекингом	термокрекингом с добавкой кислорода	высокотемпературным пиролизом пропана
Капитальные затраты . . .	100	70—75	30—35	25—40
Себестоимость		30—35	30—40	25—35
Энергетические затраты . .		60—70	45—55	46—50
Производительность труда		300—400	200—300	200—300

Химическая очистка ацетилена

Ацетилен, получаемый при разложении карбида кальция водой, должен содержать не более 0,08% (по объему) фосфористых соединений в пересчете на фосфористый водород и не более 0,15% (по объему) сернистых соединений в пересчете на сероводород.

Очистка ацетилена от фосфористых и сернистых соединений осуществляется пропусканием его через слой специальной очистительной массы — гератоля.

Гератоль представляет собой рыхлый порошок желто-оранжевого цвета, влажный на ощупь в превращающийся при сжатии в руке в нерассыпавшийся комок. Изменение желтого цвета массы на темно-зеленый или темно-бурый указывает, что очистительная способность массы исчерпана.

Гератоль готовится путем пропитывания инфузорной земли раствором, содержащим натровый хромпик и серную кислоту. Гератоль имеет следующий состав (в % по весу): хромовый ангидрид 11—13; серная кислота 17—20; инфузорная земля 45—55; влага 18—28.

ПРИСАДОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ГАЗОВОЙ СВАРКИ

Присадочный металл для газовой сварки применяется в виде проволоки или литых прутков, которые должны отвечать следующим требованиям:

а) поверхность проволоки должна быть чистой и ровной; на поверхности не должно быть окалины, ржавчины, краски, масляных и жировых веществ;

б) поверхность прутков должна быть свободна от формовочной земли, пригара, шлака, ржавчины и пр.; на них не должно быть раковин, наростов, задигов и трещин;

в) при расплавлении проволоки или прутков не должны разбрызгиваться;

г) расплавленный металл проволоки или прутка не должен кипеть и в застывшем металле не должно быть пористости;

д) за исключением специальных случаев сварки (чаще всего разнородных металлов) проволока и прутки должны иметь химический состав, близкий к составу свариваемого металла.

Для повышения механических свойств сварного шва при сварке малоуглеродистой стали и для возможности использования при сварке газов — заменителей ацетиленов следует применять присадочную проволоку с повышенным содержанием марганца и кремния (марки Св-12ГС по ГОСТу 2246-60).

При сварке серого чугуна имеет место интенсивное выгорание графитообразующих компонентов (углерода и кремния). Чтобы не получить в сварном соединении структуры отбеленного чугуна, рекомендуется применять присадочные прутки с суммарным содержанием кремния и углерода 6,5—7,5%.

Химический состав прутков для обычной газовой сварки чугуна, предусмотренный ГОСТом 2671-44, приведен в табл. 6, для низкотемпературной сварки в табл. 7. Диаметр прутков для обычной сварки — 4, 6, 8, 10 и 12 мм, для низкотемпературной — 4, 6 и 8 мм.

6. Химический состав прутков для газовой сварки чугуна по ГОСТу 2671-44

Марка	Содержание элементов в %						
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
					не более		
A	3—3,6	3—3,5	0,5—0,8	0,2—0,5	0,08	0,05	0,30

7. Химический состав прутков для низкотемпературной сварки чугуна (по техническим условиям ВНИИАвтогена)

Марка	Содержание элементов в %							
	C	Si	Mn	Ni	P	Ti	Cr	S
							не более	
НЧ-1	3,0—3,5	3,0—3,4	0,6—0,7	0,4—0,6	0,2—0,4	0,03—0,05	0,1	0,05
НЧ-2	3,0—3,5	3,5—4,0	0,6—0,7	0,4—0,6	0,2—0,4	0,03—0,05	0,1	0,05

При сварке меди, латуни и бронзы присадочный материал выбирается близким по составу к свариваемому металлу или сплаву. При сварке латуни и бронзы желательно, чтобы присадочная проволока или прутки содержали раскислители, например алюминий, кремний или марганец.

Химический состав присадочной проволоки и прутков для сварки меди, латуни и бронзы приведен в табл. 8, а рекомендуемые размеры проволоки или литых прутков — в табл. 9.

8. Химический состав проволоки и прутков для сварки меди, латуни и бронзы

Марка	ГОСТ или ТУ	Химический состав в %										Темпера- тура плавления в °С	Области применения
		Cu	Sn	Pb	Si	Al	Mn и В	Fe	Ni	Zn			
М2 М3	ГОСТ 859-41	≥99,7 ≥99,5	≤0,05	≤0,01 ≤0,05	—	—	—	≤0,05	≤0,20	—	1083	Для сварки меди	
ЛО 10-1	ГОСТ 1019-47	59—61	1,0—0,5	≤0,30				≤0,10	Остаточное	≤0,10	900	—	Для сварки латуни
Л-62		60,5—63,5	—	≤0,08				≤0,15					
ЛК-1	—	58—60	0,7—1,0	—	0,2—0,35	≤0,15	905	Для сварки латуни					
ЛК 62-0-5	ТУ ЦМО 1327-54	60,5—63,5	—	≤0,08	0,3—0,7	≤0,15	900	Для сварки кремнистой бронзы					
ЛК 80-3	ГОСТ 1019-47	79—81	—	≤0,10	2,5—4,0	—	—	—	—	Для на- плавки на черные ме- таллы			
ЛК 62-2	—	60,5—63,2	—	—	0,15—0,2	—	—	—	—	Самофлю- сующийся присадок для сварки латуни			
ЛКН 56-03-6	—	55—57	—	—	0,25—0,3	—	—	—	—	—			
ЛК БО 62-02-004-05	—	60,5—63,5	0,4—0,6	—	0,15—0,2	—	0,03—0,07 В	—	—	—			
АЖМд 10-3-1,5	ГОСТ 493-54	81,5—86,5	≤0,10	≤0,03	0,10	9—11	1,0—2,0 Mn	2,0—4,0	≤0,5	≤0,5	1045	Для сварки алюминие- вой бронзы	

9. Рекомендуемые размеры проволоки или литых прутков из меди и медных сплавов

Диаметр в мм	Проволока		Прутки		
	2	4	9	12	16
Допускаемые отклонения в мм . . .	$\pm 0,2$		$\pm 0,5$		

При сварке алюминия, а также алюминиевых и магниевых сплавов в качестве присадочного материала применяют проволоку или прутки того же химического состава, что и свариваемый металл или сплав (табл. 10). В тех случаях, когда сварка ведется в приспособлении или свариваются сплавы высокой прочности, в качестве присадочного материала применяются сплавы алюминия с кремнием, содержащие до 6 % кремния. Они отличаются хорошей жидкотекучестью, небольшими усадкой и температурным интервалом кристаллизации. Швы обладают хорошей вязкостью и прочностью и не подвергаются краснотомкости.

10. Химический состав проволоки или прутков для сварки алюминиевых и магниевых сплавов

Марка сплава	Химический состав в %							Область применения
	Cu	Mg	Mn	Si	Fe	Zn	Al	
A	$\leq 0,05$	—	$\leq 0,1$	$\leq 0,6$	$\leq 0,4$	—	Остальное	Для сварки алюминиево-магнелиевых сплавов
АМц	—	$\leq 0,05$	1,0—0,6		$\leq 0,7$	$\leq 0,1$		
АК	$\leq 0-2$	—	—		$\leq 0,6$	—		Для сварки алюминиево-марганцовистых сплавов
МА 1	$\leq 0,05$	Остальное	1,3—2,5	$\leq 0,3$	$\leq 0,05$	$\leq 0,1$	$\leq 0,3$	Для сварки магниеево-марганцовистых сплавов

ФЛЮСЫ ДЛЯ ГАЗОВОЙ СВАРКИ

Флюсами называются неметаллические вещества, наносимые на поверхность свариваемого и присадочного металла, а также вводимые в сварочную ванну. Применение флюсов способствует образованию химических соединений с малым удельным весом, не растворяющихся в жидком металле, а также растворению окислов металла в расплавленном флюсе или образовавшихся при флюсовании соединений.

В соответствии с этим различают два вида флюсов: химически действующие и растворители [11].

Химически действующие флюсы по характеру взаимодействия с окислами и своему составу подразделяются на кислые и основные.

К кислым относятся флюсы, содержащие большое количество кремниевой кислоты и окислов бора.

Из кислых флюсов наиболее широко применяется бура, $(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O})$, используемая при сварке меди и ее сплавов, а также чугуна.

В качестве основных флюсов наиболее часто применяются сода (Na_2CO_3) и поташ (K_2CO_3) .

Выбор основного или кислого флюса зависит от свойств окислов, образующихся на поверхности металла. При кислых окислах должны применяться основные флюсы, при основных — кислые.

В некоторых случаях, как, например, при сварке алюминия и его сплавов, применяются флюсы-растворители, действие которых является в основном физическим и лишь частично сопровождается побочными химическими реакциями. Основными составляющими этих флюсов являются хлористые и фтористые соли. Иногда во флюс вводят бисульфат натрия, который при взаимодействии с фтористыми и хлористыми соединениями образует фтористую и соляную кислоты, усиливающие растворяющую способность хлористых и фтористых солей.

В табл. 11 приведены некоторые физические свойства наиболее часто применяемых флюсующих веществ [12].

Составы пихты флюсов в весовых процентах для сварки меди и ее сплавов, чугуна, нержавеющей стали, алюминия, алюминиевых и магниевых сплавов приведены в табл. 12—16.

Исходные материалы, применяемые для изготовления флюсов, должны соответствовать требованиям ГОСТов или ТУ, указанных в табл. 12—16.

11. Физические свойства флюсующих веществ, применяемых при газовой сварке

Физические свойства	Флюсующие вещества									
	B ₂ O ₃	Na ₂ B ₄ O ₇ × 10H ₂ O	LiF	KF	NaF	CaF	LiCl	KCl	NaCl	CaCl
Температура плавления в °С	577	741	842	846	988	1375	606	768	800	775
Температура кипения в °С	—	—	1676	1505	1695	—	1382	1417	1439	—
Теплота образования в ккал/моль	282	—	144,7	134	136	289	98	105,8	97,7	191
Удельный вес в г/см ³	1,8	—	2,6	2,4	2,7	3,16	2,1	2,8	2,2	2,15

12. Составы флюсов для сварки меди, латуни и бронзы в весовых процентах

Наименование составляющих	ГОСТ	Номера флюсов					
		1	2	3	4	5	6
Бура техническая	8429-57	50	60—70	—	—	68	90—80
Кислота борная	2629-44	35	20—10	50	—	—	—
Кислый фосфорнокислый натрий	—	15	—	—	—	15	—
Натрий хлористый	4233-48	—	30—20	—	—	—	20—10
Калий фтористый	4522-48	—	—	50	42±2	—	—
Борный ангидрид	ТУ завода-изготовителя	—	—	—	35±2	—	—
Фтороборат калия	—	—	—	—	23±2	—	—
Кислота кремниевая водная . .	4214-48	—	—	—	—	15	—
Древесный уголь	—	—	—	—	—	2	—

13. Составы флюсов и паст для низкотемпературной сварки чугуна (в весовых %)

Наименование составляющих	ГОСТ	Флюсы		Флюсы-пасты	
		№ 1	№ 2	22-1	23-1
Бура техническая . . .	8429-57	23	18	23	18
Натрий углекислый безводный	83-41	27	25	27	25
Натрий азотнокислый	4168-55	50	56,5	50	56,5
Углекислый литий	—	—	0,5	—	0,5
Керосин	—	—	—	15 см ³ на 100 г порошка	15 см ³ на 100 г порошка

14. Составы флюсов для сварки высоколегированной хромистой и хромоникелевой стали в весовых %

Наименование составляющих	ГОСТ или ТУ	Номера флюсов				
		1	2	3	4	5
Алюминий хлористый	4452-48	25	20	23	—	—
Натрий »	4233-48	17	14	38	—	—
Литий »	МПУ 3043-51	16	—	—	—	—
Калий »	4568-49	—	33	—	—	—
Силикат натрия электродный	4420-48	42	33	39	—	—
Шпат полевой электродный	4422-48	—	—	—	80	—
Ферротитан	4761-54	—	—	—	20	5
Ферромарганец	4755-49	—	—	—	—	10
Феррохром	4757-49	—	—	—	—	10
Двуокись титана	—	—	—	—	—	5
Кислота борная	2629-44	—	—	—	—	55
Двуокись кремния	—	—	—	—	—	10
Шпат плавленый	ГОСТ 7618-55	—	—	—	—	5

Флюсы чаще всего применяются в виде порошков и вводятся в сварочную ванну с помощью присадочного прутка. Иногда они наносятся предварительно в виде пасты на кромки свариваемого металла или в виде обмазки на присадочный прутки.

Для приготовления флюса все составляющие должны быть измельчены и просеяны через сито (№ сетки 022—018 по ГОСТу 6613-53). Размол составляющих, за исключением ферросплавов, следует производить в фарфоровой мельнице или фарфоровой ступе. Размол на бегунах не допускается.

Хлористый литий перед измельчением обезвоживается выпариванием.

Подготовленные составляющие тщательно смешиваются. Последовательность введения компонентов зависит от состава флюса. При наличии в составе флюса хлористого лития, отличающегося особо высокой гигроскопичностью, его нужно вводить в смесь после смешивания негигроскопичных солей.

Большинство составляющих, особенно соли лития, хлора и фтора, очень гигроскопичны, поэтому хранить их так же, как и приготовленные флюсы, следует в герметически закрытых сосудах и в сухом месте.

15. Составы флюсов для сварки алюминия и его сплавов в весовых %

Наименование составляющих	ГОСТ или ТУ	Номера флюсов							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Натрий хлористый	ГОСТ 4233-48	30—33	28—30	40	19	42—48	30	41—39	—
Калий »	ГОСТ 4568-49	45	50—45	—	29	27—33	45	50	—
Литий »	МПУ 3043-51	15	14—15	40	—	9—12	15	—	—
Барий »	ГОСТ 742-41	—	—	—	48	—	—	—	15
Натрий фтористый	ГОСТ 4463-48	—	8—10	—	—	—	3,5	7—8	—
Калий »	ГОСТ 4522-48	7	—	—	—	12—16	—	—	—
Литий »	ТУ завода-изготовителя	—	—	—	—	—	3,5	—	31
Кальций »	ГОСТ 7167-54	—	—	20	—	—	—	—	7
Магний »	ТУ МХП 219-48	—	—	—	—	—	—	—	14
Алюминий »	ЦМТУ 988-40	—	—	—	—	—	—	—	33
Натрий кислый серноокислый	ГОСТ 6053-51	3—0	—	—	—	—	3	2—3	—
Шпат плавленый	ГОСТ 7618-55	—	—	—	4	—	—	—	—

16. Состав флюсов для сварки магниевых сплавов в весовых % (присадочный металл МА-1, МА-8)

Наименование составляющих	ГОСТ или ТУ	№ флюсов, содержащих хлориды				№ бескислородных флюсов		Преимущества и недостатки
		1	2	3	4	5	6	
Барий хлористый	742-41	40	—	40	—	—	—	Более просты в употреблении, позволяют сравнительно легко сваривать листы и заваривать как массивные, так и тонкостенные отливки. При попадании в металл вызывают интенсивную коррозию отливки в месте заварки
Литий хлористый	МПУ 3043-51	8	14	20	25	—	—	
Натрий хлористый	4233-48	14	28	15	25	—	—	
Калий хлористый	4568-49	30	50	15	45	—	—	
Натрий фтористый	4463-48	8	8	10	5	—	—	
Барий фтористый	7168-54	—	—	—	—	34	39	Применение указанных флюсов требует навыка в работе и высокой квалификации сварщика, особенно при сварке тонкостенных деталей. При попадании в металл не вызывают коррозии по заваренному месту
Кальций фтористый	7167-54	—	—	—	—	20	26	
Магний фтористый	7204-54	—	—	—	—	25	22	
Литий фтористый	ТУ завода-изготовителя	—	—	—	—	20	11	
Оксид магния	4526-48	—	—	—	—	до 1	до 2	

При сварке, наплавке и пайке ацетилено-кислородным пламенем значительный эффект дает применение газообразного флюса БМ-1, разработанного ВНИИАвтогеном.

Флюс представляет собой летучую борорганическую жидкость, пары которой подаются в горелку вместе с ацетиленом и, сгорая в сварочном пламени, образуют флюсующий агент — борный ангидрид.

Основным компонентом газообразного флюса является метилборат, представляющий собой эфир борной кислоты $B(ONH_3)_3$. Метилборат образует с метиловым спиртом азеотропную смесь, содержащую 75,5% метилбората. Удельный вес флюса при 20° около 0,89 г/л. В одном объеме чистого метилбората при 25° растворяется 12 объемов ацетилена.

Флюс БМ-1 может применяться для сварки латуни и наплавки ее на черные металлы, для пайки малоуглеродистой стали, меди и ее сплавов мягкими и тугоплавкими припоями.

Флюс БМ-1 повышает прочность и пластичность сварных соединений. С его применением создается возможность автоматизации процесса сварки, наплавки и пайки. Кроме того, процесс становится бездымным, что улучшает условия труда сварщика.

ФЛЮСЫ ДЛЯ КИСЛОРОДНО-ФЛЮСОВОЙ РЕЗКИ

Известно, что не все металлы и сплавы допускают кислородную резку обычным способом.

Высоколегированная хромистая и хромоникелевая сталь различных марок с содержанием хрома более 4—5% не поддается обычной кислородной резке, так как под действием кислорода на поверхности реза образуется тугоплавкая пленка, содержащая до 20% окислов хрома и имеющая температуру плавления, близкую к 2000°.

Чугун также не поддается кислородной резке обычными приемами, так как при воздействии струи кислорода на нагретую докрасна поверхность чугуна на ней образуется плотная пленка кремнесодержащих окислов, более тугоплавких, чем разрезаемый металл.

Медь, латунь и бронза до последнего времени также считались неподдающимися кислородной резке по следующим причинам: относительно низкие тепловые эффекты окисления меди и ее сплавов, образование относительно тугоплавких окислов (температура плавления окислов меди 1230°, цинка — 1260° и олова — около 2000°), высокая вязкость, малая подвижность и химическая инертность окислов меди при температуре плавления.

Для беспрепятственного ведения процесса кислородной резки высоколегированной стали, чугуна, меди и ее сплавов необходимо обеспечить возможность непрерывного расплавления и перехода в шлак образующихся тугоплавких окислов. Только при этих условиях продукты окисления будут удаляться из места реза струей кислорода, обнажая поверхность металла для непрерывного воздействия на него кислорода.

Практически это достигается созданием условий для повышения температуры в зоне реакции, понижения концентрации тугоплавких окислов в шлаке и разжижения шлака путем специальных флюсующих добавок или созданием условий, обеспечивающих механическое удаление окисных пленок из разреза.

Резка возможна как при совокупном действии нескольких факторов, так и при действии одного из них.

За последние годы разработка процесса кислородной резки высоколегированных сталей и чугуна получила три направления.

Удаление окислов термехимическим способом. В зону реакции вводится железный прутки или мелкогранулированный железный порошок. Возможно применение смеси железного порошка с алюминиевым, смеси алюминий-магний-магниевого порошка с силикокальцием или ферросилицием, а также смесей из других металлов или ферросплавов. Прутки или порошок, воспламеняясь и сгорая в зоне реакции, значительно повышает температуру в ней; продукты окисления сплавляются с окислами поверхностной пленки и дают шлаки с более низкой температурой плавления, более жидкотекучие и поэтому легче поддающиеся удалению из полости реза.

Продукты окисления железа (распыленные окислы железа и некоторое количество металлического железа) нетоксичны. Этот способ широко применяется в промышленности, как обеспечивающий устойчивое ведение процесса резки.

Удаление окислов химическим способом. Тугоплавкие окислы хрома в результате химического взаимодействия с флюсом, состоящим из смеси натриевых солей (например, 1—1,5% фосфористого натрия и углекислый натрий — основное), разжижаются и удаляются из области реза струей режущего кислорода. Однако применение в качестве флюса натриевых солей сопровождается выделением газов, вызывающих раздражение слизистой оболочки у резчика, вследствие чего он вынужден пользоваться затрудняющим работу респиратором.

Механический способ удаления окислов основан на использовании кинетического действия мелкогранулированного кварцевого песка, подаваемого к месту реза в смеси с режущим кислородом. Процесс удаления окислов протекает в основном за счет абразивного действия твердых частиц песка, непрерывно удаляющих образующиеся окислы. Однако, несмотря на дешевизну кварцевого песка, этот способ широкого промышленного внедрения не получил вследствие значительного снижения производительности резки из-за повышенной вязкости образующихся шлаков. Кроме того, применение в качестве флюса кварцевого песка требует соблюдения соответствующих мер предосторожности, так как значительное количество кварцевой пыли, попадающей в дыхательные органы резчика, может вызвать заболевание силикозом.

Для механического удаления окислов более целесообразным является использование флюса на основе доломита и кальцита, так как наряду с механическим действием указанный флюс способствует разжижению тугоплавких окислов хрома. Производительность резки в данном случае выше, чем при использовании кварцевого песка. Однако для применения доломитизированных известию требуется организация специального помола, что затрудняет их использование.

Состав флюсов и области их применения

Наиболее рациональным является использование в качестве флюса железного порошка, в отдельных случаях заменяемого специальными смесями (при резке мартеновского скрапа с большим количеством шлаковых включений, а также сплавов с высоким содержанием никеля).

Опыт показал, что в указанных случаях тепло, выделяющееся при сгорании железного порошка, недостаточно, и для интенсификации горения желательнее добавлять во флюс алюминий, при полном сгорании которого тепла выделяется в 3 раза больше, чем при сгорании чистого железа. При резке хромоникелевых сталей и сплавов наибольшая эффективность процесса достигается добавлением к железному порошку не более 15% алюминиевого порошка [14]. При таком составе флюса образуются достаточно жидкотекучие шлаки, температура плавления которых не превышает 1300°.

Для поверхностной зачистки нержавеющей сталей успешно используется в качестве флюса смесь, состоящая из 25—30% алюминий-магниевого порошка марки ПАМ-2 или ПАМ-3 и 70—75% силикокальция марки КАСИ-1 или КАСИ-2. Входящий в порошковую смесь алюминий-магний порошок, сгорая в струе кислорода, повышает температуру пламени, а силикокальций действует на окислы хрома как флюсующая добавка.

Составы флюсов и области их применения приведены в табл. 17.

Исходными материалами для приготовления флюсов являются:

1. Железный порошок по ЧМТУ 3648-53, следующего состава (в %): железо общее 94—96 (по весу); углерод 0,2—0,4; марганец не более 0,5, нерастворимые остатки (включая двуокись кремния) не более 1,5; сера и фосфор не более 0,05 каждого. Для кислородно-флюсовой резки могут быть использованы железные порошки, получаемые при восстановлении прокатной окалины и богатой железной руды, а также механическим дроблением проволоки или металлической стружки на вихревых мельницах.

Гранулометрический состав железных порошков и области их применения приведены в табл. 18.

17. Флюсы для кислородно-флюсовой резки

№ флюса	Наименование составляющих	Содержание в % по весу	Назначение флюса
1	Железный порошок	100	Разделительная резка высоколегированной хромистой и хромоникелевой стали
2	Железный порошок Алюминиевый порошок	70—90 10—30	
3	Кварцевый песок	100	
4	Доломит Кальцит	15 85	
5	Железный порошок Окалина	70—80 20—30	
6	Алюминиево-магний-порошок Ферросилиций	60—70 30—40	
7	Железный порошок Феррофосфор	65—70 30—35	
8	Железный порошок Кварцевый песок Алюминиевый порошок	65—75 20—25 5—40	Разделительная резка чугуна
9	Железный порошок Алюминиевый порошок	70—80 20—30	Разделительная резка меди, латуни и бронзы
10	Железный порошок Алюминиевый порошок Феррофосфор	70—75 15—20 10—15	
11	Железный порошок	100	Поверхностная резка высокохромистой и хромоникелевой стали
12	Алюминиево-магний-порошок Силикокальций	35—30 70—75	

18. Гранулометрический состав и область применения железных порошков

Марка железного порошка по ГОСТу 3648-53	Область применения		Номера сеток по ГОСТу 3584-53 или 6613-53	
	Для ручной и машинной кислородно-флюсовой резки высокохромистых и хромоникелевых сталей с мощностью установок УРХС-3 и УФР-2		Для ручной и машинной кислородно-флюсовой резки высокохромистых и хромоникелевых сталей с помощью установки УРХС-4	
BC	+028 (60 меш) не более 10%	+014 (100 меш) не менее 70%	+0125 (110 меш) не более 13%	+01 (150 меш) не более 5%
BK	+045 (40 меш) не более 5%	+028 (60 меш) не более 30%	+014 (100 меш) не менее 50%	—014 (100 меш) не более 15%
BM	+014 (100 меш) не более 10%	+0075 (200 меш) не менее 30%	—0075 (200 меш) не более 60%	—

Примечание. Знак плюс (+) указывает, что при просеивании порошок остается на сетке; знак минус (—) указывает, что при просеивании порошок проходит через сетку.

2. Феррофосфор доменный марки ФФ, поставляемый по ЧМТУ 3074-52 и содержащий фосфора 14—18%; кремния не более 2,2%; марганца не более 6,0%; углерода около 1,2%; серы не более 0,5%.

3. Алюминиевый порошок марки АПВ, поставляемый по МПТУ 2640-50. Содержание примесей в алюминиевом порошке должно быть не более 13%, в том числе меди до 5%; цинка до 1,5%; марганца и никеля не более 2,3% каждого; олова и свинца до 0,7% каждого.

4. Песок кварцевый (ГОСТ 4417-49) чистый и однородный по окраске (белого или желтоватого цвета). Химический состав кварцевого песка должен удовлетворять следующим требованиям: двуокиси кремния не менее 97%, серы и фосфора следы, других примесей не более 3%. Не допускаются примеси, видимые невооруженным глазом (глина, уголь, руда, растительные остатки и др.).

5. Прокатная окалина не должна содержать заметного количества механических примесей, а также большого количества углерода и легирующих примесей.

6. Силикокальций марок CaSi-O , CaSi-1 или CaSi-2 по ГОСТу 4762-49 должен содержать кальция не менее 23—31%; кремния не менее 62—59%; алюминия не более 1,5—3,0%; серы не более 0,04%; фосфора не более 0,05%.

7. Алюминиево-магний порошок ПАМ-2 и ПАМ-3 по МПТУ 2640-50 должен содержать активного металла не менее 97,5%, в том числе алюминия $50 \pm 3\%$ и железа не более 0,4%.

Железный порошок, прокатная окалина, кварцевый песок, феррофосфор, алюминиевый порошок, алюминиево-магний порошок, силикокальций, окись кальция и ферросилиций должны быть измельчены до размеров частиц 0,1—0,4 мм с отсевом крупной фракции через сито № 045 (ГОСТы 3584-53 и 6613-53).

После соответствующей дозировки (отвешивания) всех составляющих флюса последние должны быть тщательно перемешаны.

Приготовленный флюс, а также все составляющие флюсов должны храниться в герметично закрывающейся таре; в противном случае перед употреблением они должны быть просушены для удаления атмосферной влаги. Не следует хранить флюсы и их составляющие на открытом воздухе и в сырых помещениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глизманенко Д. Л. Основы кислородного производства, Гостехиздат, 1947.
2. Далидчик И. Д., Водородный генератор, «Автогенное дело» № 7, 1946.
3. Журахов А. С., Водородный генератор для получения водорода из стружки силумина, дуралюмина и алюминия, Сб. «Сварка и термическая обработка металлов», Оборонгиз, 1951.
4. Наставление по обеспечению водородом гидрометеорологических станций, Гидрометеостанции, 1948.
5. Нинбург А. К., Использование газов-заместителей ацетилен при газопламенной обработке металлов, Справочные материалы ВНИИАвтогена, вып. 11, Машгиз, 1960.
6. Стрижевский И. И. и Гузов С. Г., Производство ацетилена для газопламенной обработки металлов, Справочные материалы по газопламенной обработке металлов ВНИИАвтогена, вып. 14, Машгиз, 1958.
7. Стрижевский И. И. и Ковальский В. А., Эксплуатация переносных ацетиленовых генераторов, Руководящие материалы ВНИИАвтогена, вып. 18, Машгиз, 1960.
8. Стрижевский И. И., Гузов С. Г. и Ковальский В. А., Ацетиленовые станции, 2-е издание, Машгиз, 1959.
9. Правила техники безопасности и производственной санитарии при производстве ацетилена, кислорода и газопламенной обработке металлов. Утверждены президиумом ЦК профсоюза рабочих машиностроения 29/IX 1958 г.
10. Клаузер. Выбор материалов для твердой и мягкой пайки, «Materials & Methods», 1952, № 35, 3.
11. Глизманенко Д. Л. и Евсеев Г. Б., Газовая сварка и резка металлов, Машгиз, 1954.
12. Асиновская Г. А., Газопламенная пайка металлов. Руководящие материалы ВНИИАвтогена, вып. 7, Машгиз, 1955.
13. Справочник машиностроителя, т. II, гл. XI, Машгиз, 1951.
14. Спектор О. Ш., Влияние состава флюса при кислородно-флюсовой резке нержавеющей сталей на физико-химические свойства шлака, «Сварочное производство» № 4, 1959.

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ И РЕЗКИ

ГЛАВА IV

РУЧНАЯ ДУГОВАЯ СВАРКА

Ручная дуговая сварка может осуществляться металлическим (плавящимся) электродом, угольным электродом без защиты, а также вольфрамовым или угольным электродом в среде защитных газов. Последний способ так же, как и ручная дуговая сварка и резка под водой, рассматривается в других главах справочника.

Для производства ручной сварки требуются источник питания сварочной дуги, сварочные провода, электрододержатель и электроды. Для защиты от лучей дуги и брызг металла сварщик должен иметь защитный щиток или маску и спецодежду.

СВАРКА МЕТАЛЛИЧЕСКИМ (ПЛАВЯЩИМСЯ) ЭЛЕКТРОДОМ

Зажигание и поддержание дуги

Зажигание дуги производится прикосновением конца электрода с одним полюсом источника тока к свариваемому металлу, соединенному с другим полюсом того же источника с последующим быстрым отводом его на расстояние 3—4 мм. До зажигания дуги напряжение между электродом и свариваемым изделием обычно равно не менее 60 в; в момент касания электрода к изделию напряжение падает почти до нуля и после зажигания дуги и нормального ее горения поддерживается в пределах ~16—30 в в зависимости от длины дуги и типа электрода.

Возбуждение дуги можно производить двумя приемами (фиг. 1): касанием впритык и отводом перпендикулярно вверх, или «чирканием» электродом, как спичкой.

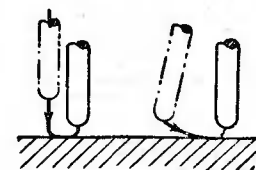
Второй способ удобнее, но неприемлем в узких и неудобных местах.

В процессе сварки необходимо поддерживать определенную длину дуги. Необходимая ее величина зависит от марки и диаметра электродов. Ориентировочно нормальная длина дуги должна быть в пределах $l = (0,5 + 1,1) \cdot d$, где l — длина дуги в мм, d — диаметр электрода в мм.

Длина дуги оказывает существенное влияние на качество сварного шва и его геометрическую форму. Длинная дуга способствует более интенсивному окислению и азотированию расплавленного металла, увеличивает разбрызгивание металла, а при сварке электродами основного типа приводит к пористости металла шва.

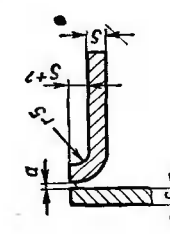
Техника манипулирования электродом

Сварщик должен сообщать электроду движение в трех направлениях. Первое движение — поступательное по направлению оси электрода. Этим движением поддерживается постоянная, в известных пределах, длина дуги в зависимости от скорости плавления электрода.



Фиг. 1. Приемы возбуждения дуги.

При сварке тонких листов большой длины не исключена опасность прожога и значительные коробления листов. Поэтому рекомендуется тонкие листы сваривать на медных или бронзовых массивных подкладках. Свариваемые листы должны плотно прилегать к подкладке. Для этого при сборке следует применять



Условные обозначения		Подготовка кромок	Выполненный шов	Размеры в мм									
Графическое	Буквенно-цифровое												
	C1			<table><tr><td>s</td><td>1—2</td><td>3</td></tr><tr><td>a</td><td>0+1</td><td>0+1,5</td></tr><tr><td>b</td><td>2s+2</td><td>2s+3</td></tr></table>	s	1—2	3	a	0+1	0+1,5	b	2s+2	2s+3
s	1—2	3											
a	0+1	0+1,5											
b	2s+2	2s+3											
	У1			<table><tr><td>s</td><td>1—2</td><td>3</td></tr><tr><td>a</td><td>0+1</td><td>0+1,5</td></tr><tr><td>b</td><td>2s+2</td><td>2s+3</td></tr></table>	s	1—2	3	a	0+1	0+1,5	b	2s+2	2s+3
s	1—2	3											
a	0+1	0+1,5											
b	2s+2	2s+3											

2. Швы стыковые без скоса кромок
(Размеры и обозначения по ГОСТу 5264-58)

Условные обозначения	Подготовка кромок	Выполненный шов	Размеры в мм				Режимы для сварки в нижнем положении	
			s	a	b	h	Диаметр электрода в мм	Ток в а
C2			3—3,5	$1^{+0,5}_{-1,0}$	8 ± 4	0+2	3—4	120—180
			4—4,5	$1,5^{+0,5}_{-1,0}$		0+3		
			5—5,5		9 ± 4		4—5	160—225
			6	$2^{+1,5}_{-1,0}$				
			7					
C3			8					
			1	$0,5 \pm 0,5$	5 ± 2	0+1,5	2—3	90—140
			1,5					
C4			2					
			2,5	$1 \pm 1,0$	6 ± 2	0+2,5	3—4	120—180
			3—3,5					
C4			4—6	$2^{+2,0}_{-0,5}$	9 ± 4	0+3	4—5	160—225

специальные прижимы, струбцины, магниты и другие приспособления, обеспечивающие плотное прижатие кромок свариваемых листов к подкладке.

Если позволяет конструкция, то очень удобной является сборка и сварка шва на остающейся стальной подкладке толщиной 2—4 мм.

Сварку стыковых швов без скоса кромок при толщине листов свыше 4 мм следует производить с двух сторон, так как при односторонней сварке трудно получить провар по всему сечению.

Характеристика стыковых швов с V-образным скосом кромок приведена в табл. 3.

Подготовка кромок под сварку может производиться газовым резаком (вручную, полуавтоматом, автоматом), на кромкострогальном станке и пневматическим зубилом.

Сборка должна обеспечивать постоянство зазора по всей длине шва в пределах допусков и отсутствие смещения кромок в плоскости свариваемых листов.

Стыковые X-образные швы (табл. 4) имеют при той же толщине металла меньшее количество наплавленного металла (в 1,6—1,7 раза) по сравнению со швами с V-образной подготовкой.

В этих швах наплавленный металл располагается симметрично по отношению оси сечения шва, что благоприятно влияет на уменьшение деформации.

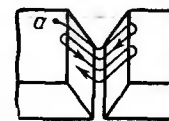
Чашеобразная подготовка кромок (табл. 5) применяется при сварке листов толще 20 мм. При такой подготовке уменьшается объем наплавленного металла и более надежно обеспечивается провар. Швы выполняются многопроходной сваркой.

Для потолочных швов и горизонтальных швов в вертикальной плоскости допускается угол разделки кромок $45 \pm 5^\circ$ с зазором 4 ± 1 мм.

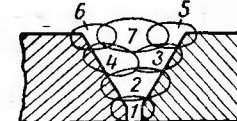
Некоторые типы швов соединений угловых, тавровых и внахлестку показаны в табл. 6—9.

Особенности выполнения различных типов сварных швов

Сварка стыковых швов без подготовки кромок производится накладыванием валика с одной или обеих сторон стыка вдоль шва с небольшим поперечным уширением. При этом для обеспечения провара надо следить за тщательным расплавлением обеих кромок свариваемых элементов по всей их толщине. Сварка в стык с V-образной подготовкой кромок в зависимости от толщины свариваемых элементов может производиться в один или несколько слоев. При сварке в один слой дуга возбуждается в точке а (фиг. 3) на краю скоса, затем электрод спускается вниз, проваривает корень шва и дальше передвигается по траектории,



Фиг. 3. Сварка V-образного шва.



Фиг. 4. Многослойная сварка V-образного шва.

показанной на фиг. 3. При переходе на скосы кромок движение электрода несколько замедляется для обеспечения провара, а при переходе с одной кромок на другую ускоряется, чтобы на прожечь кромки в тонком месте. Шов должен иметь усиление порядка 2—3 мм. С обратной стороны, если имеется доступ, выполняется подварочный валик. Перед наплавкой подварочного валика необходимо очистить место наплавки от грата, подтеков и пр. В особо ответственных случаях следует сделать небольшой глубины вырубку, которая заполняется подварочным валиком.

При сварке стыкового шва в несколько слоев требуется весьма тщательно проварить первый слой, особенно, если конструкция изделия не позволяет произвести подварки с обратной стороны. При сварке последующих слоев каждый слой наплавляется уширенным валиком, число которых по ширине шва возрастает по мере заполнения его наплавленным металлом (фиг. 4). Порядковые

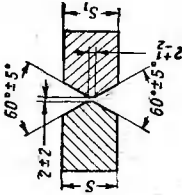
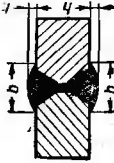
8. Швы стыковые с V-образным скосом кромок
(Размеры и обозначения по ГОСТу 5264-58)

Условные обозначения	Подготовка кромок	Выполненный шов	Размеры в мм				Режимы для сварки в нижнем положении		
Графическое	Буквенно-цифровое		s	b	h	s ₂	Число слоев, кроме подварочного	Диаметр электродов в мм	Ток в а
	C5		3-7	s+12	0+3	1±1,0	1-2	4-5	160-250
	C6		8-11	s+14			2-3		180-260
	C7		12-17	s+16	0+4	2 ⁺¹ ₋₂	4-6	5-6	260-350
			18-26	s+19			8-12		

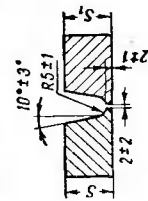
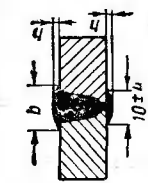
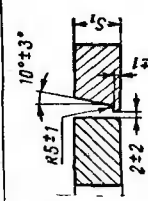
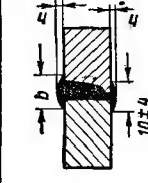
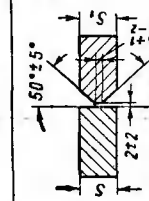
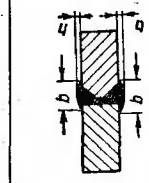
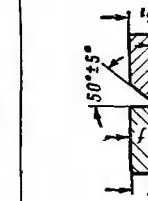
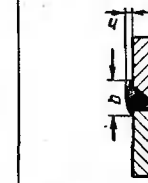
Продолжение табл. 8

Условные обозначения	Подготовка кромок	Выполненный шов	Размеры в мм				Режимы для сварки в нижнем положении		
Графическое	Буквенно-цифровое		s	b	h	s ₂	Число слоев, кроме подварочного	Диаметр электродов в мм	Ток в а
	C8		3-8	s+11	0+3	1±1,0	1-2	4-5	160-250
	C9		9-14	s+13			3-5		
	C10		15-21	s+15	0+4	2 ⁺¹ ₋₂	6-9	5-6	260-350
			22-26	s+16			9-15		

4. Швы стыковые Х-образные
(Размеры и обозначения по ГОСТу 5264-58)

Условные обозначения		Подготовка кромок	Выполненный шов	Размеры в мм			Режимы для сварки в нижнем положении		
Графическое	Буквенно-цифровое			s	b	h	Число слоев с каждой стороны	Диаметр электрода в мм	Ток в а
X	C15			12—17	s+3	0+3	1—2	4—5	180—260
				18—29	s+1	0+4	2—4	5—6	260—350
				30—41	s—3		4—7		
				42—50	s—8		8—12		
				51—60	s—11	0+5	12—17	5—6—7	260—350—420

6. Швы стыковые с часеобразной и К-образной подготовкой кромок
(Размеры и обозначения по ГОСТу 5264-58)

Условные обозначения		Подготовка кромок	Выполненный шов	Размеры, мм									
Графическое	Буквенно-цифровое			s	20—23	24—29	30—33	34—41	42—49	50—55	56—60		
У	C11			b	s+9	s+7	s+4	s	s-3	s-7	s-12		
				h	0+4							0+5	
				s	20—23	24—29	30—35	36—44	42—49	50—55	56—60		
Р	C12			b	s-1	s-4	s-9	s-12	s-18	s-24	s-29		
				h	0+4							0+5	
				s	12—15		16—23		24—33		34—40		
К	C13			b	s+4		s+2		s		s-2		
				h	0+3							0+4	
				s	12—15		16—23		24—33		34—40		
Ж	C14			h	0+3				0+4				
				s	12—15		16—23		24—33		34—40		
				Размеры f, b, b ₁ устанавливаются при проектировании.									

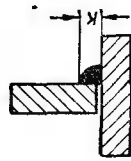
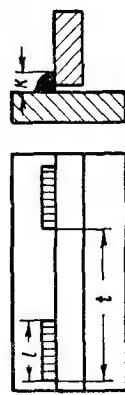
6. Швы угловых соединений

(Размеры и обозначения по ГОСТу 5264-58)

Условные обозначения		Подготовка кромок	Выполненный шов	Размеры в мм
Графическое	Буквенно-цифровое			
	У2	 Без скоса кромок	При $l = 0 \div \frac{s}{2}$ Двусторонний впритык 	s $\begin{matrix} 2- \\ -2,5 \end{matrix}$ $\begin{matrix} 3- \\ -4,5 \end{matrix}$ $\begin{matrix} 5-6 \\ \pm 4 \end{matrix}$ $\begin{matrix} 7-8 \\ \pm 4 \end{matrix}$ s_1 2—8 b $\begin{matrix} 6 \pm 2 \\ 0+1,5 \end{matrix}$ $\begin{matrix} 8 \pm 3 \\ 0+2 \end{matrix}$ $\begin{matrix} 10 \pm 12 \\ 0+3 \end{matrix}$ $\begin{matrix} \pm 4 \\ \pm 4 \end{matrix}$ k_1 3 h $\begin{matrix} 0+1,5 \\ 0+2 \end{matrix}$ $\begin{matrix} 0+2 \\ 0+3 \end{matrix}$ $\begin{matrix} 0+3 \end{matrix}$
	У3		Односторонний впритык 	s 1—2,5 3—5 6 s_1 2—6 b $\begin{matrix} 6 \pm 3 \\ 0+1,5 \end{matrix}$ $\begin{matrix} 8 \pm 4 \\ 0+2 \end{matrix}$ $\begin{matrix} 10 \pm 4 \\ 0+3 \end{matrix}$ h $\begin{matrix} 0+1,5 \\ 0+2 \end{matrix}$ $\begin{matrix} 0+2 \\ 0+3 \end{matrix}$ $\begin{matrix} 0+3 \end{matrix}$
	У4		При $l = \frac{s}{2} \div s$ Двусторонний 	s 2—30 s_1 2—30 k 0,5s—s k_1 3
	У5		Односторонний 	s 1—30 s_1 2—30 k 0,5s—s k_1 3
	У6	 Со скосом одной кромки	Двусторонний 	s $\begin{matrix} 4-7 \\ +11 \end{matrix}$ $\begin{matrix} 8- \\ +13 \end{matrix}$ $\begin{matrix} 12- \\ +15 \end{matrix}$ $\begin{matrix} 18- \\ +18 \end{matrix}$ s_1 4—26 b $\begin{matrix} s+ \\ +11 \end{matrix}$ $\begin{matrix} s+ \\ +13 \end{matrix}$ $\begin{matrix} s+ \\ +15 \end{matrix}$ $\begin{matrix} s+ \\ +18 \end{matrix}$ k_1 3 h $\begin{matrix} 0+3 \\ \pm 1,0 \end{matrix}$ $\begin{matrix} 0+4 \\ 2+1,2 \end{matrix}$ s_2 $\begin{matrix} 1 \pm \\ \pm 1,0 \end{matrix}$ $\begin{matrix} 2+1 \\ 2 \end{matrix}$
	У7		Односторонний 	s $\begin{matrix} 4-7 \\ +11 \end{matrix}$ $\begin{matrix} 8- \\ +13 \end{matrix}$ $\begin{matrix} 12- \\ +15 \end{matrix}$ $\begin{matrix} 18- \\ +18 \end{matrix}$ s_1 4—26 b $\begin{matrix} s+ \\ +11 \end{matrix}$ $\begin{matrix} s+ \\ +13 \end{matrix}$ $\begin{matrix} s+ \\ +15 \end{matrix}$ $\begin{matrix} s+ \\ +18 \end{matrix}$ k_1 3 h $\begin{matrix} 0+3 \\ \pm 1,0 \end{matrix}$ $\begin{matrix} 0+4 \\ 2+1,2 \end{matrix}$ s_2 $\begin{matrix} 1 \pm \\ \pm 1,0 \end{matrix}$ $\begin{matrix} 2+1 \\ 2 \end{matrix}$

7. Швы таптовых соединений без скоса кромок (размеры и обозначения по ГОСТу 5264-58)

Условные обозначения		Подготовка кромок	Выполненный шов	Размеры в мм
Графическое	Буквенно-цифровое			
	T1		Двусторонний 	s 2—2,5 3—4,5 5—6 7—9 10—30
	T2		Двусторонний шахматный 	s_1 $> s$
	T3		Двусторонний цепной 	k 3 4 5 6—8 l 20 40 50 t 40—79 80—99 100—200

Условные обозначения		Подготовка кромок	Выполненный шов	Размеры в мм						
Графическое	В буквенно-цифровом			s	2—2,5	3—4,5	5—6	7—	10—30	
	T4	(См. эскиз на стр. 173)	Односторонний							
			Односторонний прерывистый							
			k	3	4	5	6—8			
			l	20	40	50				
			t	40—79	80—99	100—200				

Примечания: 1. Допускаемые отклонения по размеру катета k при отсутствии зазора +2. При наличии зазора размер катета принимается равным $k_{\text{нор}} + \text{зазор} + 2 \text{ мм}$.
2. Размеры k , l , t , приведенные в таблице, относятся к нерасчетным швам; для расчетных швов k , l , t устанавливаются при проектировании.

8. Шты тавровых соединений со скосом кромки
(Размеры и обозначения по ГОСТУ 5264-58)

(Размеры и обозначения по ГОСТ 9204-60)

Размеры в мм

Подготовка кромок

Выполненный шов

Условные
обозначения

Графическое

Буквенно-цифровое

У

Т8

С одним скосом одной кромки

Двусторонний

Односторонний

s

4-7

8-11

12-17

18-26

s_1

$> s$

b

$s+9$

$s+11$

$s+13$

$s+16$

h

3 ± 3

4 ± 3

5 ± 3

Т9

3 (ориентировочно)

s_2

$1 \pm 1,0$

2 ± 1
 -2

С двумя скосами одной кромки

Двусторонний

s_1

$> s$

b

$s+2$

s

$s-2$

$s-3$

$s-4$

$s-5$

h

3 ± 3

5 ± 3

6 ± 3

9 ± 3

11 ± 3

13 ± 3

К

Т10

9. Швы соединений внахлестку (Размеры и обозначения по ГОСТу 5264-48)

Условное обозначение		Подготовка кромок	Выполненный шов	Размеры в мм			
Графическое	Буквенно-цифровое						
	Н1			s	2—5	6—10	12—60
				s_1	$\geq s$		
				k	$s + 2$		
				L	$\geq 2(s + s_1)$		
	Н2			a	0+1,5	0+3	0+4
				Размеры l, t устанавливаются при проектировании			

цифры показывают последовательность наложения валиков. Перед наложением каждого нового слоя поверхность предыдущего должна быть тщательно очищена стальной щеткой и зубилом от шлака и окалины. В процессе сварки надо следить за хорошим расплавлением кромок, не допускать прослоек шлака и тщательно заваривать кратеры.

Сварка встык с Х-образной подготовкой выполняется в общем так же, как и сварка с V-образной подготовкой. Для выравнивания термических напряжений и уменьшения короблений рекомендуется накладывать валики производить попеременно с каждой стороны или осуществлять сварку одновременно с обеих сторон (двумя сварщиками), что возможно только при вертикальном положении шва.

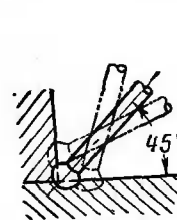
Сварка угловых швов выполняется при соединениях внахлестку и втавр. Обычно сварка угловых швов в нижнем положении производится таким образом, чтобы поверхность одного свариваемого элемента являлась горизонтальной, а другого вертикальной.

Для предупреждения несплавления одной из сторон и вершины угла (корня углового шва) электрод при наложении усиренного валика должен отклоняться равномерно от биссектрисы угла между свариваемыми поверхностями (фиг. 5). Дуга возбуждается на горизонтальном элементе в точке А на расстоянии 3—4 мм от края шва (фиг. 6), подводится в вершину угла в точку В, где для лучшего проплавления некоторое время задерживается, затем поднимается на высоту катета шва по вертикальной поверхности (а при многослойной сварке на высоту катета первого слоя) и по ней передвигается назад на некоторую величину a . После этого дуга несколько быстрее, чем при подъеме, спускается на горизонтальную поверхность, перемещается по ней также на величину катета,

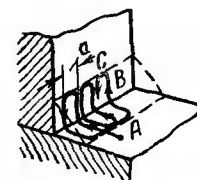
затем вперед на величину примерно 2—2,5 a и направляется в вершину угла. Здесь дуга опять несколько задерживается для лучшего проплавления вершины угла, поднимается вверх, и далее процесс повторяется.

Нельзя начинать сварку в точках В и С, так как в этом случае расплавленный металл с электрода наливает на еще нерасплавленный основной металл на горизонтальной поверхности и перекрывает вершину угла, что вызывает непрочвар.

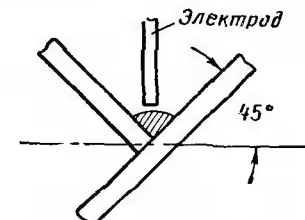
Тавровые соединения удобнее сваривать при положении свариваемых плоскостей, называемом «в лодочку» (фиг. 7). В этом случае наплавляемый металл будет накладываться в желоб, образуемый двумя свариваемыми поверхностями. Приемы сварки в этом случае по существу такие же, как и для стыкового V-образного шва; расплавленный металл равномерно отлагается по отношению к свариваемым плоскостям и шов получает правильную форму и хорошее качество.



Фиг. 5. Наклон электрода при сварке угловых швов.



Фиг. 6. Сварка угловых швов.



Фиг. 7. Сварка углового шва «в лодочку».

Обычно за один проход свариваются угловые швы с катетом до 8 мм (при положении не «в лодочку»). При большем катете угловых швов сварка выполняется в два и более слоев.

Наплавкой называется процесс наваривания на изделие слоя металла, не имеющий целью соединения его элементов. Наплавка применяется для восстановления изношенных поверхностей или придания поверхности изделий особых свойств, отличные от свойств металла изделия, например наплавка твердыми сплавами.

Наплавка осуществляется последовательным наложением валиков, образуемых металлом электрода, на поверхность наплавляемого изделия. Наплавку можно производить во всех положениях, но удобнее всего в нижнем.

Поверхность изделия перед наплавкой тщательно очищается. Валики накладываются параллельными рядами, причем каждый последующий валик должен перекрывать предыдущий на $1/3-1/2$ своей ширины, чтобы образовался ровный, монолитный слой наплавки. Толщина однослойной наплавки равна 3—4 мм. Если толщина наплавки требуется большая, то накладывается второй слой рядами валиков, перпендикулярными по отношению к рядам первого слоя; при этом первый слой наплавки тщательно очищается от шлака и окалины.

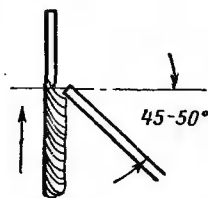
Особенности выполнения швов в разных пространственных положениях

Сварка швов в нижнем положении является наиболее легкой и удобной вследствие того, что расплавленный металл с электрода под действием силы тяжести переходит в шов сверху вниз.

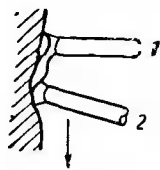
Сварка вертикальных швов несколько затруднена по сравнению с нижними, так как при вертикальной сварке расплавленный металл под действием силы тяжести стремится вытечь из кратера. Поэтому вертикальная сварка должна выполняться возможно более короткой дугой. Для предотвращения вытекания металла из кратера необходимо отводить электрод вверх и в сторону от кратера возможно быстрее, чтобы дать возможность скорее затвердеть металлу.

Сварку вертикальных швов можно производить двумя способами: снизу вверх и сверху вниз. При сварке снизу вверх дуга возбуждается в самой нижней точке шва и, как только образуется кратер с ванной расплавленного металла, электрод отводится несколько вверх и в сторону, чтобы дуга была направлена одновременно на основной и наплавленный металл. Последний, как только электрод будет отведен вверх, затвердевает, образуя подобие полочки, на которой откладываются и удерживаются последующие капли металла при движении электрода вверх, что облегчает производство сварки. Электрод рекомендуется наклонять вверх под углом $45-50^\circ$ к горизонту (фиг. 8). Такое положение электрода облегчает стекание шлаков из шва.

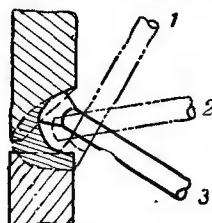
При сварке сверху вниз дуга возбуждается в верхней точке шва, причем электроду сначала придают перпендикулярное положение 1 к плоскости шва (фиг. 9), затем, как только образовался кратер и началось стекание капель в шов, наклон электрода изменяют (положение 2) так, чтобы дуга расплавляла основной и наплавленный металл. Электрод постепенно подают вниз, при этом все время поддерживается короткая дуга; капли расплавленного металла от падения удерживаются концом электрода. Способ сварки сверху вниз значительно труднее способа снизу вверх. Он требует более высокой квалификации сварщика,



Фиг. 8. Положение электрода при вертикальной сварке.



Фиг. 9. Сварка вертикального шва сверху вниз.



Фиг. 10. Сварка горизонтальных швов с одним скосом.

резко ухудшает провар и может применяться там, где нужно уменьшить провар, например при сварке тонкого металла, а также при особых условиях сварки (сварка в тесных местах и пр.).

При обоих способах вертикальной сварки электроду сообщается поперечное колебание для получения уширенного валика и для лучшего провара. Для уменьшения количества расплавленного металла в ванне при сварке сверху вниз ширина валика должна быть не более $1,5-2$ диаметров электрода; ток при сварке сверху вниз также должен быть минимальным. Диаметр электродов при вертикальной сварке обычно не превышает $4-5$ мм.

Вертикальная сварка в стык с V-образной или X-образной подготовкой, а также сварка угловых швов производится в основном так же, как и при нижней сварке.

Сварка горизонтальных швов по выполнению несколько труднее, чем сварка вертикальных швов. Чаще всего в горизонтальном положении (на вертикальной плоскости) приходится сваривать стыковые швы. Сварка горизонтальных угловых швов ничем не отличается от нижней сварки.

При сварке в стык горизонтальных швов подготовка кромок делается большей частью только с одним скосом верхней кромки (фиг. 10). Дуга возбуждается на нижней горизонтальной кромке, затем перемещается на скошенную кромку. Последовательные положения электрода 1, 2, 3 показаны на фиг. 10. При многослойной сварке горизонтальных швов наплавляются последовательно горизонтальные валики. Необходимо тщательно очищать промежуточные слои от окислы, шлака, брызг и т. д. Последний завершающий слой (декоративный) наплавляется поперечными движениями электрода под углом 45° к направлению шва, что облегчает откладывание металла и придает поверхности шва хороший вид.

Потолочная сварка по своему выполнению является наиболее трудной. Трудность объясняется тем, что расплавленный металл стремится вы-

течь из кратера вниз. Незастывший металл должен поддерживаться в кратере концом электрода, который плавясь, в свою очередь, образует капли металла, также стремящиеся упасть вниз. Поддержание капель металла на конце электрода и в кратере при потолочной сварке возможно только при самой короткой дуге. При длинной дуге капли металла, образовавшиеся на конце электрода, вследствие большого расстояния между ним и кратером падают вниз, причем расплавленный металл из кратера также стекает вниз в виде капель. Поэтому потолочная сварка даже при небольшом увеличении длины дуги настолько затруднительна, что не может дать удовлетворительный по качеству шов.

При потолочной сварке прочностные показатели наплавленного металла и сварного соединения обычно несколько ниже, чем при сварке в других положениях. Это объясняется, во-первых, неудобством работы, во-вторых, повышенным содержанием в наплавленном металле неметаллических включений, которые при потолочном положении уходят вверх, в глубь валика, а не всплывают на его поверхность. Шлаковая защита при потолочной сварке электродами со шлакозащитным покрытием не используется полностью, что также ухудшает качество шва. Для облегчения потолочной сварки иногда применяют электроды со специальной тугоплавкой обмазкой. Эта обмазка образует чехольчик, который поддерживает крайнюю каплю наподобие чашечки.

Поперечные перемещения электрода для получения уширенных валиков при потолочной сварке должны быть меньшей амплитуды, и валик кладется уже. Электрод берется диаметром $3-4$ мм; сварочный ток подбирается соответственно меньшей величины, чтобы ванна расплавленного металла была минимальной.

Потолочная сварка может удовлетворительно выполняться только сварщиками-«потолочниками», специально натренированными на сварке потолочных швов.

При выполнении сварочных работ потолочной сварки стремятся избегать. В заводских условиях это достигается соответственной установкой свариваемых изделий при помощи различных манипуляторов. При монтажных работах, а также при сварке громоздких изделий, не допускающих перевертывания, например в судостроении, где потолочная сварка является неизбежной, она должна выполняться с гарантией необходимого качества сварщиками-«потолочниками».

Влияние магнитных полей на сварочную дугу

Столб сварочной дуги может рассматриваться как гибкий проводник, по которому проходит электрический ток. Под влиянием магнитных полей сварочная дуга может перемещаться, удлиняться и изменять свою форму.

Продольное магнитное поле улучшает технологические свойства дуги, что используется иногда при дуговой сварке угольным электродом. Под действием поперечного магнитного поля сварочная дуга отклоняется.

Собственное магнитное поле дуги и поле сварочного контура вызывает явление, известное под названием «магнитного дутья».

Магнитное дутье очень часто затрудняет сварку открытой дугой постоянного тока, особенно при повышенном его значении, так как сила воздействия магнитного поля приблизительно пропорциональна квадрату тока.

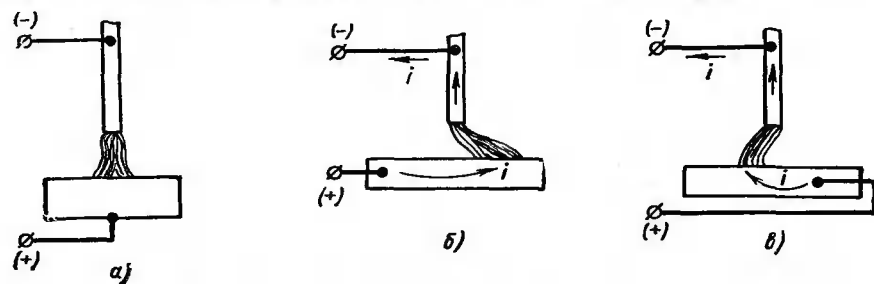
На фиг. 11 изображены схемы отклонений сварочной дуги в зависимости от положения обратного сварочного провода на свариваемом металле. На фиг. 11, а сварочный провод находится непосредственно под дугой. В этом случае дуга находится в равномерном магнитном поле, которое ее уравнивает. Отклонения дуги не будет.

На фиг. 11, б сварочный провод присоединен слева от дуги. Магнитные линии, сконцентрированные внутри угла, образованного электродом и токоподводящей частью металла, будут отклонять дугу вправо.

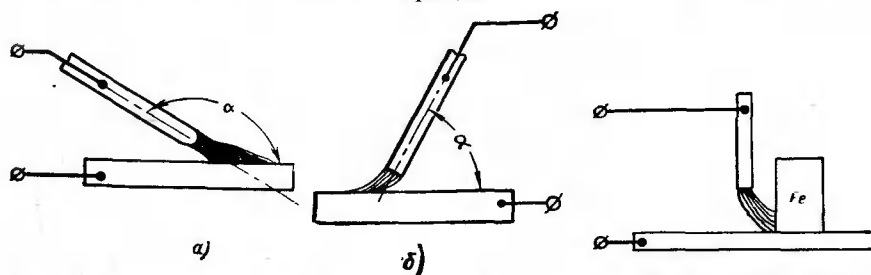
Если переместить токопровод вправо от дуги, то боковой распор магнитных линий будет отклонять дугу влево (фиг. 11, в).

В случае б и в (фиг. 11) магнитное поле несимметрично и заставляет столб дуги как гибкий проводник отклоняться в сторону, противоположную сгущению силовых линий.

Угол наклона электрода к поверхности свариваемого металла также влияет на величину отклонения столба дуги. Чем больше угол наклона, тем сильнее дуга выдувается в сторону, противоположную наклону электрода (фиг. 12, а и б). Как видно из фиг. 12, изменением угла наклона электрода можно регулировать величину отклонения дуги под влиянием магнитного дутья.

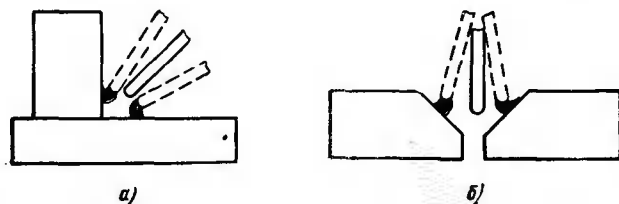


Фиг. 11. Схема отклонения дуги в зависимости от присоединения обратного сварочного провода.



Фиг. 12. Влияние угла наклона электрода на отклонение дуги.

Фиг. 13. Отклонение дуги действием ферромагнитной массы.



Фиг. 14. Отклонение дуги при сварке углового а и стыкового б шва.

Наличие вблизи дуги значительных ферромагнитных масс (массивных стальных деталей) оказывает влияние на отклонение дуги. Электромагнитная сила, возникающая между массивной стальной деталью и дугой, заставляет последнюю отклоняться в сторону детали (фиг. 13).

С явлениями магнитного дутья сварщики сталкиваются при сварке угловых (фиг. 14, а) и стыковых (фиг. 14, б) швов, когда дуга под влиянием стальных стенок и кромок отклоняется в их сторону и затрудняет сварку.

При сварке на переменном токе магнитное дутье проявляется значительно слабее. Магнитный поток, создаваемый в сварочном контуре переменным током, индуцирует в массе основного металла токи Фуко (вихревые токи), которые порождают свое переменное поле, сдвинутое почти на 180° по отношению к сварочному току. Результирующий магнитный поток, равный геометрической сум-

ме магнитных потоков сварочного и вихревых токов, значительно меньше магнитного потока при постоянном токе; кроме того, он сдвинут по фазе относительно сварочного тока, что ослабляет электромагнитную силу взаимодействия магнитного поля с током.

Для ослабления действия магнитного дутья при сварке рекомендуется применять следующие меры: наклонять электрод в сторону отдувания дуги; изменить место подключения сварочного провода к изделию; помещать вблизи дуги массу ферромагнитного материала (массивную стальную деталь) для создания симметричного поля; применять переменный ток.

Режимы ручной дуговой сварки

Основными параметрами режима ручной дуговой сварки являются сварочный ток и диаметр электрода. Напряжение дуги и скорость сварки также являются параметрами режима, но при ручной сварке величина их в технологических картах обычно не оговаривается.

При выборе диаметра электродов руководствуются толщиной свариваемого металла, положением шва в пространстве, размерами изделия (условиями отвода тепла от шва).

Примерное соотношение между диаметром электрода и толщиной свариваемого изделия приводится ниже.

Соотношение между диаметром электрода и толщиной свариваемого изделия

Толщина свариваемого изделия в мм	1—2	3	4—5	6—12	13 и более
Диаметр электрода в мм	1,5—2,5	3	3—4	4—5	5 и более

Примерные режимы сварки для некоторых основных видов сварных швов приведены в табл. 2, 3, 4.

Правильный выбор сварочного тока имеет большое значение для качества сварки и ее производительности.

Производительность сварки определяется количеством наплавляемого, а в некоторых случаях и расплавляемого основного металла в единицу времени. Зависимость между количеством наплавляемого металла и сварочным током может быть выражена формулой

$$G = \alpha_n \cdot I \cdot t,$$

где G — вес наплавленного металла в г;

I — сварочный ток в а;

α_n — коэффициент наплавки;

t — время в час.

Чем больше ток, тем выше производительность. Однако при чрезмерном токе для данного диаметра электрода последний быстро нагревается джоулевым теплом выше допустимого предела, что приводит к снижению качества швов. При этом наблюдается также повышенное разбрызгивание металла.

Оптимальная величина сварочного тока для данных марок и размеров электродов устанавливается практическим путем.

Выбирая сварочный ток в зависимости от принятого диаметра электрода, следует помнить, что оптимальная величина тока зависит не только от диаметра электрода, но также и от рабочей длины, скорости его перемещения, состава покрытия, положения сварки и других факторов.

Величину тока можно повышать при увеличении скорости перемещения дуги и при уменьшении рабочей длины электрода.

Для электродов диаметром 3, 4, 5 и 6 мм при выборе величины сварочного тока можно пользоваться формулой

$$I = K \cdot d,$$

где K — коэффициент, зависящий от марки электрода и его диаметра;
 d — диаметр электрода в мм.

Для электродов с толстыми покрытиями K принимается от 35 до 60. Для газозащитных обмазок K берется меньше, чем для шлакообразующих.

Зависимость между сварочным током и диаметром электрода выражается также формулой, предложенной К. К. Хреновым,

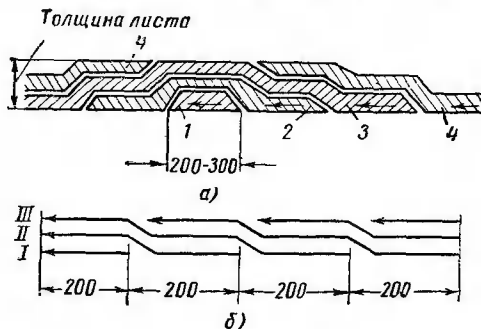
$$I = (m + n \cdot d) \cdot d.$$

Для ручной сварки обычными стальными электродами принимают $m = 20$; $n = 6$.

Способы уменьшения деформаций и напряжений при сварке

Для уменьшения внутренних напряжений, кроме термической обработки в виде высокого отпуска, применяют соответствующий порядок наложения швов, сварку незакрепленных элементов и др. При сварке сталей больших толщин применяют иногда предварительный подогрев.

Порядок заполнения швов имеет большое значение для уменьшения остаточных напряжений и деформаций. Под порядком заполнения швов понимается как порядок заполнения разделки шва по поперечному сечению, так и последовательность сварки по длине шва.



Фиг. 15. Схема сварки «горкой» и каскадным методом: а — «горкой»; б — «каскадным методом».

При обратноступенчатом методе весь шов разбивается на небольшие участки по 150—200 мм, и сварка на каждом участке производится в направлении, обратном общему направлению сварки.

Сварка стыковых соединений ответственных конструкций большой толщины (свыше 20—25 мм), когда появляются объемные напряжения и поэтому возрастает опасность образования трещин, выполняется с применением специальных приемов заполнения швов «горкой» и «каскадным» методом.

При сварке «горкой» сначала наплавляют слой 1 небольшой длины (200—300 мм) (фиг. 15, а). Затем наплавляют сверху второй слой 2, перекрывающий первый и имеющий примерно в два раза большую длину. Третий слой 3 перекрывает второй и длиннее его на 200—300 мм. Так наплавляют слои до тех пор, пока на небольшом участке шва разделка не будет заполнена. Затем от этой «горки» сварку ведут в одну или обе стороны короткими швами тем же способом. Таким образом, зона сварки все время находится в горячем состоянии, что предупреждает появление трещин.

«Каскадный» метод является разновидностью метода «горки» (фиг. 15, б). При сварке тонких листов рекомендуется под свариваемые кромки помещать подкладки из красной меди.

Для уменьшения деформаций применяют метод уравнивания деформаций, заключающийся в такой последовательности выполнения швов, при которой последующий шов вызывает деформации, обратные полученным при сварке предыдущего шва (фиг. 16).

Метод обратных деформаций заключается в том, что перед сваркой деталь деформируют в направлении, обратном тому, в котором она будет деформироваться от наложения сварных швов (фиг. 17).

Большое влияние на величину внутренних напряжений оказывает последовательность сварки швов в изделии.

Наложение швов при изготовлении сварных изделий должно осуще-



Фиг. 16. Уравнивание деформаций при сварке двутавровых балок: а — неправильная последовательность наложения швов; б — правильная последовательность наложения швов.

Фиг. 17. Схема обратных деформаций: а — тавровой балки; б — полки двутавра; в — стыкового соединения.

ствляться в таком порядке, чтобы избежать жесткого закрепления соединяемых элементов. Например, при сварке цилиндрических сосудов (резервуаров), состоящих из нескольких собранных обечаек, в первую очередь следует накладывать продольные швы (по образующей цилиндра), а затем кольцевые. При сварке металлических настилов, состоящих из нескольких листов (днище вертикального резервуара, настил площадки, палубный настил и т. п.), в первую очередь необходимо сваривать поперечные швы, соединяющие листы отдельных полос, а затем уже продольные, соединяющие между собой полосы.

При ручной сварке двутавровой балки в первую очередь сваривают стыковые швы стенки и поясов, а затем уже приваривают пояса к стенке угловыми швами. Если сварная двутавровая балка имеет ребра жесткости, то их надо приваривать к стенке до приварки стенки к поясам.

Более подробные сведения о деформациях и напряжениях при сварке приводятся в специальной главе.

Способы повышения производительности

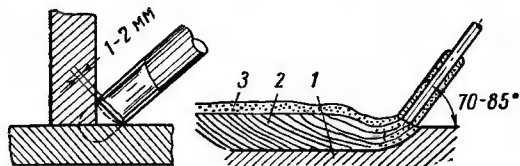
Применение электродов больших диаметров (6,5—8—10 мм) позволяет увеличить сварочный ток и тем самым повысить производительность сварки.

При сварке электродами больших диаметров на больших токах необходимо иметь в виду, что увеличение веса электрода и электрододержателя вызывает более быстрое утомление сварщика. Появляются трудности с обеспечением должного провара в узких разделках кромок и угловых швов. С увеличением сварочного тока значительно увеличивается так называемое «магнитное дутье», особенно при сварке на постоянном токе.

Производительность сварки может быть увеличена также применением электродов с повышенным коэффициентом наплавки. Например, электроды марки ЦМ-7С имеют коэффициент наплавки 10—12 г/а·ч, а электроды марки ОММ-5 — около 7—8 г/а·ч.

Значительное повышение коэффициента наплавки может быть достигнуто введением в покрытие железного порошка.

Сварка с глубоким проваром также повышает производительность вследствие уменьшения количества наплавленного металла, приходящегося на единицу длины шва (за счет увеличения доли расплавленного основного металла в шве).



Фиг. 18. Сварка с глубоким проваром: 1 — основной металл; 2 — наплавленный металл; 3 — шлак.

для лучшего вытеснения металла из кратера (фиг. 18). Сварка производится на максимально допустимых токах с большой скоростью. Регулирование скорости сварки производится нажимом на электрод по его оси и приложением некоторого усилия по направлению сварки.

Этот метод сварки называют также сваркой с опиранием электрода, сваркой погруженной дугой или сваркой ультракороткой дугой.

В табл. 10 приведены примерные режимы сварки в стык с глубоким проваром электродами ЦМ-7С.

10. Примерные режимы сварки с глубоким проваром электродами ЦМ-7С

Толщина листа в мм	Сварочный ток в а	Диаметр электрода в мм	Зазор в мм	Глубина провара в мм
6	350	5	1	4
8	400	6		5
10	450	6,5	1—1,5	6
12	500	6—7	1,5—2	7
16	570		1,5—2,5	9
18	620	8	2—2,5	10

Сварка пучком электродов заключается в одновременной работе двумя, тремя и более электродами, изолированными друг от друга. Электроды соединяются в пучок путем наложения прихватки в месте зажима их в электрододержателе. Ток подводится одновременно ко всем электродам. Дуга горит между изделием и тем электродом, который находится ближе к изделию. Как только этот электрод оплавляется, дуга возбуждается на другом электроде, расположенном в этот момент ближе к свариваемому изделию. Процесс плавления электродов повторяется, т. е. дуга переходит с одного электрода на другой.

Компоновка электродов в пучок несколько улучшает использование тепла дуги и понижает потери на угар и разбрызгивание.

Экономические преимущества сварки пучком электродов справедливы, если сравнивать этот метод со сваркой одинарным электродом сечением, равным сечению одного электрода в пучке. В этом случае производительность сварки увеличивается до 30% за счет повышения сварочного тока без перегрева электродов, уменьшения времени на их смену и лучшего использования тепла дуги.

При сравнении метода сварки пучком электродов со сваркой одинарным электродом сечением, эквивалентным пучку, увеличения производительности и других экономических преимуществ нет.

В некоторых случаях сварка пучком электродов имеет определенные технологические преимущества даже по сравнению со сваркой электродом эквивалентного сечения.

Сварка пучком электродов при расположении электродов «ребенкой» может иметь преимущества перед одинарным электродом при наплавочных работах для получения широкого шва за один проход при ванном способе сварки стержней арматуры железобетонных конструкций.

К недостаткам сварки пучком электродов следует отнести практическую непригодность этого метода при вертикальной и потолочной сварке, а также сложность изготовления таких электродов.

Сварка трехфазной дугой требует применения специального электрода (фиг. 19), состоящего из двух металлических стержней, покрытых обмазкой. С одной стороны концы зачищены для присоединения к электрододержателю специальной конструкции, позволяющей подводить ток отдельно к каждому из стержней.

При сварке две фазы присоединяются к электрододержателю, а третья фаза — к свариваемому изделию. Расстояние a между стержнями равно 5—6 мм.

Расплавление металла производится одновременно тремя дугами, выделяющими большое количество тепла. Вследствие этого возрастает скорость плавления электродов, и производительность сварки увеличивается примерно в 2 раза по сравнению с обычной сваркой однофазной дугой. Благодаря лучшему использованию тепла расход энергии на 1 кг наплавленного металла в среднем составляет 2,75 кВт·ч вместо обычных 3,5—4 кВт·ч при сварке на переменном токе.

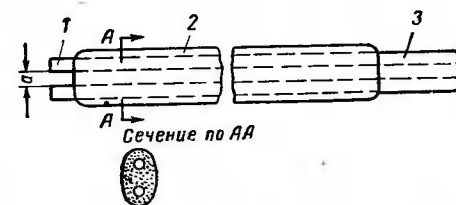
Техника выполнения швов трехфазной сваркой мало отличается от обычной однофазной сварки. Затруднения вызывает несколько увеличенный вес электрода и электрододержателя.

Трехфазной дугой можно сваривать стыковые и тавровые соединения в нижнем и наклонном положении.

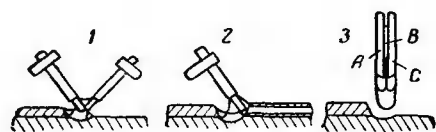
Вследствие большого количества одновременно расплавляемого металла при сварке угловых швов горизонтальный катет получается больше вертикального (наплыв металла). Поэтому при тавровых соединениях удобнее вести сварку в положении в «лодочку». Конец электрода должен касаться основного металла, как при сварке методом опирания. Это увеличивает глубину провара и уменьшает возможность образования пористого шва.

Использование трехфазной дуги для сварки возможно и в других вариантах (фиг. 20).

Для повышения производительности сварки трехфазной дугой могут применяться дополнительные вставки в виде металлических стержней различного профиля между спаренными электродами.



Фиг. 19. Спаренные электроды для сварки трехфазной дугой: 1 — металлические стержни; 2 — обмазка; 3 — зачищенные концы для присоединения к электрододержателю.



Фиг. 20. Варианты использования сварки трехфазной дугой: 1 — электроды в двух держателях, расположенных под углом; 2 — один электрод лежит в раздельке, второй — в обычном держателе; 3 — сварка независимой дугой тремя параллельно расположенными электродами (А, В и С).

электродом и большую сложность приварки по сравнению с зажатием в обычных держателях.

Ванная сварка

При ванном способе сварки расплавление металла изделия происходит в значительной мере за счет тепла, передаваемого изделию жидкого металла.

Ванный способ дуговой сварки получил широкое применение при соединении стержневых изделий, например стержней арматуры железобетонных конструкций, железнодорожных рельсов и т. п.

Ванную сварку можно выполнять как одним электродом, так и несколькими. Широко применяется ручная ванная сварка одним электродом. Сварка производится электродом УОНИ-13/55А или УОНИ-13/85А на повышенном токе (табл. 11), что обеспечивает необходимый разогрев свариваемых элементов для создания большой ванны жидкого металла. Ванна удерживается специальной формой (фиг. 21).

11. Рекомендуемые режимы ванной сварки горизонтальных стыков круглых стержней арматуры

Диаметр стержней в мм	Диаметр электрода в мм	Сварочный ток в а при температуре окружающего воздуха		Зазор между стержнями в мм	Размеры стальной формы в мм	
		выше нуля	ниже нуля		Ширина пластины	Толщина пластины
20	5	250	270	12	20	6
30		275	300		30	
40	6	300	330	15	80	8
50		330	350	17	100	10
60	7 (6)	420 (400)	450 (430)	18	120	12
70	8 (6)	500 (450)	540 (470)	21	140	14
80—90			550 (470)	23	160—180	15

В последнее время находит применение так называемая безогарковая сварка. При этом способе сварки электрод, имеющий покрытие по всей длине, не зажимается в электрододержателе, а приваривается к нему торцом. Это позволяет полностью использовать электрод и устранить потери на «огарки», а также несколько сократить расход времени на смену электродов. К недостаткам указанного способа следует отнести меньшую технологическую маневренность при оперировании

Сварку начинают в нижней части формы, в зазоре между торцами стержней. Электрод передвигают вдоль зазора. В процессе сварки наплавляемый металл должен находиться все время в жидком состоянии. Смена электродов должна производиться быстро. Когда уровень жидкого металла поднимется выше середины сечения стержней, тепловое действие дуги нужно уменьшить направлением ее к средней части ванны. Ванну наплавляют несколько выше поверхности стержней с учетом получения усиления шва. Для более быстрого застывания ванны в конце сварки периодически прерывают дугу.

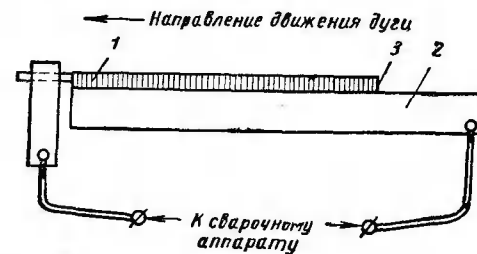
Стальная форма остается в сварном стыке. С целью уменьшения расхода стали иногда применяют медные и керамические формы, которые следует делать разъемными для облегчения установки и удаления их после сварки.

При многоэлектродной ванночной сварке электроды зажимаются в специальном держателе.

Возможна также ванная сварка трехфазной дугой. Для лучшего использования тепла трехфазной дуги можно дополнительно вводить присадочные стальные прутки диаметром 4—5 мм. Это увеличивает коэффициент наплавки до 20 г/а-ч.

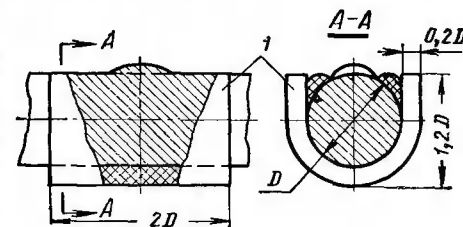
Сварка лежащим электродом

Метод сварки лежащим электродом заключается в том, что в раздельку стыкового соединения или в угол соединяемых элементов (при сварке втавр) укладывается электрод с толстым покрытием. Дуга зажигается замыканием конца электрода на изделие и перемещается по мере плавления электрода, постепенно расплавляя электрод и основной металл и образуя шов (фиг. 22).



Фиг. 22. Схема сварки лежащим электродом: 1 — лежащий электрод; 2 — свариваемая деталь; 3 — место зажигания дуги.

При указанном методе сварки применяются специальные электроды длиной 1,5—2,0 м и толщиной покрытия несколько большей, чем при обычной сварке. Сверху электрод прижимается массивным медным брусом (фиг. 23, а и б), иногда охлаждаемым водой. В этом случае наружная поверхность шва формируется внутренней поверхностью накладываемого бруска. Рабочая поверхность бруска, обращенная к электроду, должна быть совершенно гладкой, без раковин, пор и т. п. Свариваемые элементы должны быть зажаты в специальном приспособлении или прочно прихвачены.



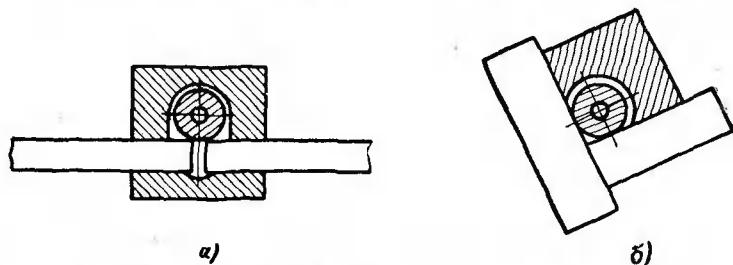
Фиг. 21. Схема сварки горизонтальных стержней ванном способом: 1 — форма-скоба.

Сварка лежачим электродом может применяться при стыковых соединениях (фиг. 23, а), соединениях втавр (фиг. 23, б) и внахлестку.

Режимы сварки приведены в табл. 12.

Производительность сварки лежачим электродом выше, чем при обычном методе сварки. Коэффициент наплавки для электродов типа ОММ-5 при диаметре электрода 5—7 мм и сварочном токе 200—350 а равен 10—11 г/а·ч.

При необходимости сварки в два или несколько слоев в разделку шва можно закладывать два-три электрода. В таком случае сварка производится одновременно двумя-тремя дугами, питаемыми отдельными источниками сварочного тока.



Фиг. 23. Положение лежачего электрода при различных типах соединения.

12. Режимы сварки лежачим электродом

Вид соединения	Толщина металла в мм	Диаметр электрода в мм	Ток в а
Встык *. Зазор 1,5 мм	10	5	Первый слой 210
		5	Второй слой 250
	13	5	Первый слой 210
		7	Второй слой 350
Втавр «в лодочку»	7	4	200
	7	5	240
	10	5	240
	10	6	290

* Угол разделки 60—70°. Ток переменный.

Размер швов при сварке лежачим электродом зависит от диаметра электрода.

Диаметр электрода в мм	Катет углового шва в мм
6	6,5—7
7	9,5—10
8	12

Обычно сварка лежачим электродом применяется при накладывании прямолинейных швов, но в литературе имеются указания на осуществимость сварки кольцевых швов.

К недостаткам этого способа относится отсутствие возможности регулирования сечения валика при данном диаметре электрода, так как длина валика всегда равна длине расплавленного электрода.

Указанный способ сварки, впервые примененный на советских заводах более 25 лет назад [6], известен за рубежом под названием «элин-хафтергут-ферфарен» и пропагандируется фирмой Элин.

СВАРКА УГОЛЬНЫМ ЭЛЕКТРОДОМ

(без защиты)

При дуговой сварке угольным электродом дуга горит между угольным или графитовым электродом и свариваемым металлом. Так как угольный электрод имеет близкие температуры плавления (3800°) и кипения (4200°), то плавления угольного электрода при сварке не наблюдается, а заметно только его испарение.

Расход угольного электрода при сварке составляет несколько миллиметров в минуту. Длина дуги достигает 12—15 мм. В зависимости от величины сварочного тока, напряжения источника питания и марки электрода дуга может растягиваться до 30—50 мм. Небольшие колебания длины дуги в несколько миллиметров на качество сварки не влияют.

Сварка угольным электродом производится на постоянном токе при прямой полярности (минус на электроде). При сварке на обратной полярности электрод

13. Режимы сварки бортовых соединений низкоуглеродистой стали графитовым электродом

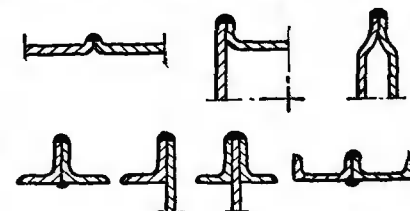
Толщина свариваемого металла в мм	Диаметр графитового электрода в мм	Напряжение дуги в в	Сварочный ток в а	Скорость сварки в м/час
1,6+1,6	5	25	90—100	45
2+2	6		125—135	40
2,5+2,5	6—8		200—250	35
3+3			250—275	30

сильно разогревается на большой длине, его испарение увеличивается и острый конек быстро притушивается. Дуга при обратной полярности неустойчива и не может быть растянута более чем на 10—12 мм.

При прямой полярности угольная дуга длиной более 4 мм не производит науглероживания расплавленного свариваемого металла, содержание углерода в нем даже несколько уменьшается за счет выгорания. При обратной полярности, наоборот, происходит сильное науглероживание свариваемого металла.

Сварку угольным электродом на переменном токе не применяют вследствие малой устойчивости дуги. Для стабилизации дуги рекомендуется по линии сварки наносить пасту или порошкообразный флюс, содержащий ионизирующие вещества.

Сварочный ток выбирается в зависимости от толщины свариваемого металла и вида сварного соединения. Диаметр электрода выбирается в зависимости от сварочного тока с таким расчетом, чтобы электрод не разогревался по всей длине до светлокрасного каления, что вызывает быстрое обгорание и износ электрода. В табл. 13 приведены режимы для сварки бортовых соединений низкоуглеродистой стали графитовым электродом.



Фиг. 24. Типы сварных соединений, выполненных угольной дугой без присадочного металла.

Химический состав, структура и механические свойства металла, наплавленного угольной дугой при сварке низкоуглеродистой стали, почти такие же, как при сварке тонкообмазанными прутковыми электродами.

В настоящее время сварка угольным электродом применяется в сравнительно ограниченных размерах при изготовлении изделий из низкоуглеродистых сталей малых толщин. Обычно используются соединения, показанные на фиг. 24. Сварка производится без присадочного металла. Металл шва образуется за счет расплавления дугой кромок соединяемых элементов.

Производительность сварки таких соединений угольным электродом примерно в 2—2,5 раза выше, чем при ручной дуговой сварке металлическим электродом или при газовой сварке.

Оrientировочные режимы для сварки швов с отбортовкой графитовым электродом приведены в табл. 14.

14. Режимы сварки графитовым электродом для швов с отбортовкой

Толщина свариваемых листов в мм	Диаметр графитового электрода в мм	Сварочный ток в а	Скорость сварки в м/час
1 1,5	5 6	100 140	50 45
2 2,5	6—8	140—250	40 35
3	8—10	250—300	33

Сварка угольным электродом может также выполняться с подачей присадочного металла в шов. Присадочный металл можно заранее помещать на свариваемые кромки и расплавлять его вместе с кромками.

Значительно реже применяется угольная дуга косвенного действия (независимая дуга), горящая между двумя или несколькими угольными электродами. Сварочный металл в электрическую цепь в этом случае не включается. По действию на свариваемый металл косвенная дуга сходна с действием пламени газовой сварочной горелки. Дугой косвенного действия можно осуществлять сварку легкоплавких металлов малых толщин, пайку твердыми припоями, нагрев металла без расплавления, сваривать стекло, кварц, керамику, пластмассы и т. п.

Питание дуги косвенного действия производится переменным током, обеспечивающим равномерное обгорание обоих электродов.

Угольные электроды для сварки изготавливаются из аморфного электротехнического угля в виде цилиндрических стержней диаметром от 5 до 30 мм и длиной 200—300 мм с гладкой, твердой матово-черной поверхностью. Концы электрода затачиваются под углом 60—70°.

Графитовые электроды имеют темносерый цвет с металлическим отблеском, мягкие, пачкают руки и легко режутся. Они делаются тех же размеров, что и угольные. При сварке дают лучшие результаты по сравнению с угольными благодаря своей высокой электропроводности и стойкости против окисления на воздухе при высоких температурах. Так как графитовые электроды имеют удельное сопротивление примерно в 4 раза меньше, чем угольные, то они допускают применение больших плотностей тока и соответственное уменьшение их диаметра.

Нормально применяемые величины тока для угольных и графитовых электродов указаны в табл. 15.

15. Величина тока для угольных и графитовых электродов

Материал электродов	Величина тока в а при диаметре электрода в мм							
	5	6,5	10	12,5	16	20	25	30
Угольные	25	40	70	90	120	140	200	250
Графитовые	100	125	190	250	325	400	600	700

Для сварки угольной дугой применяются специальные электрододержатели с длинной ручкой и щитком для защиты руки сварщика от нагревания.

ЛИТЕРАТУРА

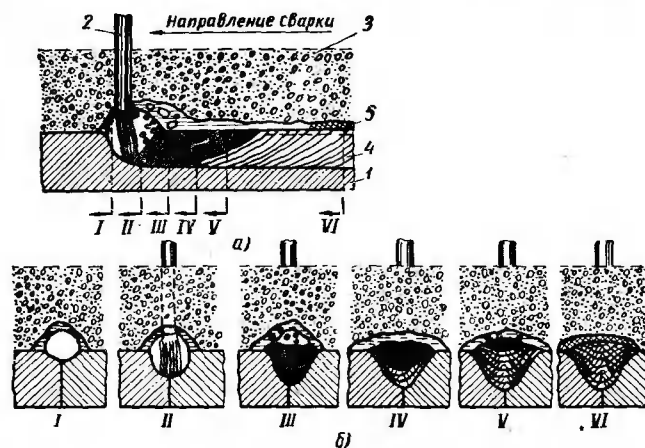
1. Алексеев Е. К., Мельник В. И., Сварочное дело, Госстройиздат, 1959.
2. Демянцевич В. П., Думов С. И., Технология электрической дуговой сварки, Машгиз, 1959.
3. Рыбаков В. М., Воцанов К. П., Технология электрической дуговой сварки, Машгиз, 1959.
4. Пегельский В. Л., Жданов В. А., Электросварочное дело, Машгиз, 1954.
5. Пегельский В. Л., Электросварщик, Профтехиздат, 1960.
6. Хренов К. К., Сварка, резка и пайка металлов, Машгиз, 1959.

ГЛАВА V

АВТОМАТИЧЕСКАЯ И ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКАЯ
ДУГОВАЯ СВАРКА ПОД ФЛЮСОМ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

При автоматической и полуавтоматической сварке под флюсом (фиг. 1) дуга, возбуждаемая между свариваемым изделием 1 и голый электродной проволокой 2, горит под слоем сыпучего флюса 3, поступающего в зону сварки из бункера. В процессе расплавления кромок свариваемого изделия плавятся также электродная проволока, подача которой осуществляется специальным механизмом, и некоторое количество флюса, непосредственно примыкающего



Фиг. 1. Процесс образования шва при сварке под флюсом: а — продольный разрез зоны сварки; б — поперечное сечение зоны сварки.

к зоне сварки. Затвердевающий металл сварочной ванны образует по мере передвижения дуги шов 4, покрытый шлаковой коркой 5, легко удаляемой после остывания. Нерасплавившаяся часть флюса с помощью отсасывающего устройства вновь поступает в бункер и может быть повторно использована.

Эффективная защита дуги при сварке голый проволокой вследствие применения флюса, способного также обеспечить хорошую форму шва, и возможность значительно приблизить к сварочной ванне место подвода тока к электроду позволили резко повысить величину сварочного тока, а следовательно, и производительность этого способа сварки по сравнению с ручной дуговой сваркой.

Сварка под флюсом может осуществляться переменным и постоянным током; для этого в первом случае используются трансформаторы, а во втором — генераторы постоянного тока и выпрямители.

Металл сварного шва, выполненного под флюсом в обычных условиях, состоит приблизительно на $1/3$ из расплавленного присадочного металла и на $2/3$ из переплавленного основного металла. Отношение веса расплавленного флюса к весу расплавленного присадочного металла составляет примерно 1:1.

Основными преимуществами сварки под флюсом являются: высокая производительность процесса, повышение качества металла шва и сварного соединения, снижение расхода сварочных материалов, электроэнергии и общей стоимости сварочных работ.

Повышение производительности достигается увеличением плотности тока, повышением скорости сварки, повышенным использованием тепла дуги по сравнению со сваркой открытой дугой (фиг. 2), уменьшением объема наплавляемого металла вследствие более глубокого проплавления основного металла, повышением коэффициента наплавки до 14—16 г/а·ч при однодуговой сварке и до 25—27 г/а·ч при сварке трехфазной дугой.

Улучшению качества наплавленного металла и сварного соединения способствуют надежная защита зоны сварки от атмосферного воздействия, стабильность процесса, обеспечивающая однородность химического состава металла, и снижение опасности непрочара вследствие более глубокого проплавления основного металла.

Лучшее использование тепла дуги, уменьшение расхода электродной проволоки на угар, разбрызгивание и огарки, а также на заполнение шва вследствие уменьшения площади разделки кромок, создают значительный экономический эффект.

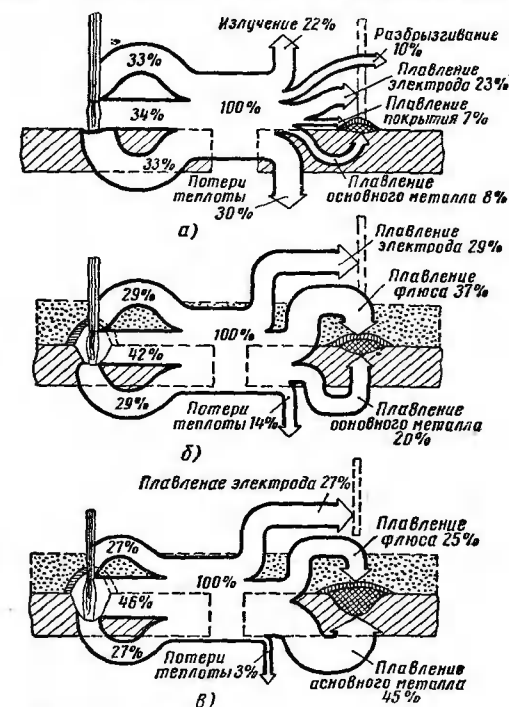
Наряду с этим механизация технологического процесса сварки, улучшение условий труда в сварочных цехах и ряд других обстоятельств способствуют обеспечению эксплуатационных преимуществ сварки под флюсом перед ручной.

Схема классификации современных способов автоматической и полуавтоматической сварки под флюсом приведена на фиг. 3.

Автоматическая и полуавтоматическая сварка со свободным формированием применяется при выполнении швов в нижнем положении на горизонтальной плоскости.

Сварка с принудительным формированием позволяет осуществлять процесс в вертикальном и даже потолочном положениях.

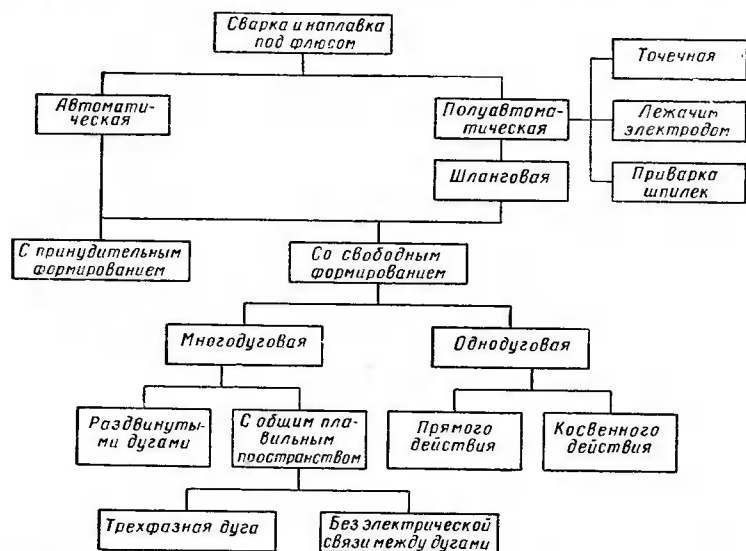
При сварке металла толщиной свыше 30—40 мм в вертикальном положении применяется электрошлаковый процесс, при котором оплавление кромок и расплавление присадочного металла происходит за счет тепла, выделяющегося



Фиг. 2. Тепловой баланс дуги при сварке переменным током: а — открытая дуга. Покровие ОММ-5; диаметр электрода 5 мм; $I_{св} = 350$ а; $U_d = 22$ в; $v_{св} = 7$ м/мин; б — полуавтоматическая шланговая сварка под флюсом АН-348-Ш. Диаметр электрода 5 мм; $I_{св} = 280$ а; $U_d = 28$ в; $v_{св} = 15$ м/мин; в — автоматическая сварка под флюсом АН-348. Диаметр электрода 5 мм; $I_{св} = 750$ а; $U_d = 36$ в; $v_{св} = 25$ м/мин.

В электропроводном шлаке при прохождении через него сварочного тока (см. гл. VI).

В отличие от автоматической сварки, предусматривающей механизацию подачи проволоки и перемещение дуги вдоль шва, при полуавтоматической сварке последнее осуществляется вручную.

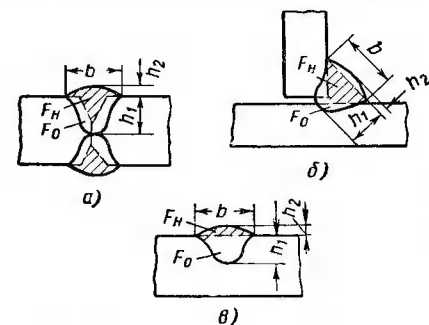


Фиг. 3. Схема классификации способов электродуговой сварки металлическим электродом под флюсом.

ПАРАМЕТРЫ РЕЖИМА И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ФОРМУ ШВА

Режимом сварки называется совокупность устанавливаемых условий проведения процесса сварки.

Режим автоматической сварки оказывает решающее влияние на качество сварного соединения в целом. Он определяет поперечный профиль шва (фиг. 4), глубину проплавления h_1 , усиление h_2 , ширину b , долю участия основного металла n и электродного металла m в образовании шва, а также коэффициент формы шва ψ .



Фиг. 4. Поперечный профиль сварных швов, выполненных под флюсом: а — стыковое соединение; б — тавровое соединение; в — наплавка валика F_0 — основной металл; F_H — наплавленный металл.

По данным Института электросварки им. Е. О. Патона и ЦНИИТМАШ, закономерности формирования шва в зависимости от изменения отдельных параметров режима сварки, определенные при наплавке валиков, с известным приближением могут быть перенесены на стыковые и угловые соединения. Поэтому данные, приведенные на графиках на фиг. 5—9 и 13—14, могут дать необходимую ориентировку при выборе режимов наплавки и сварки.

Режимы автоматической сварки различных типов соединений и толщина основного материала (табл. 1—35)

следует рассматривать как приближенные, так как изменение хотя бы одного из условий, перечисленных в этих таблицах, неминуемо повлечет за собой изменение поперечного профиля шва. Приведенные режимы относятся к сварке малоуглеродистых сталей, но могут быть практически распространены на все свариваемые конструкционные стали перлитного класса.

Основными параметрами, определяющими режим сварки под флюсом, являются:

сварочный ток и диаметр электродной проволоки;
напряжение на дуге;
скорость сварки (скорость перемещения дуги).

На форму поперечного профиля сварочной ванны и металла шва оказывает влияние также целый ряд других факторов, к которым относятся: марка применяемого флюса, его состояние и грануляция (при прочих равных условиях);

наклон электрода относительно изделия;
величина вылета электрода из мундштука;
род тока и полярность;
конструктивная форма соединения и величина зазоров.

Сварочный ток и диаметр электродной проволоки

При прочих равных условиях глубина проплавления возрастает почти линейно с увеличением сварочного тока и определяется зависимостью

$$h_1 = K I_{св},$$

где K — коэффициент пропорциональности (табл. 1), зависящий от рода тока и его полярности, от диаметра электрода и от состава флюса.

Это подтверждается также фиг. 5, на которой изображена зависимость величин h_1 , h_2 , b и n от тока при сварке под флюсом ОСЦ-45 (здесь и далее имеется в виду сварка на переменном токе, если это не оговаривается).

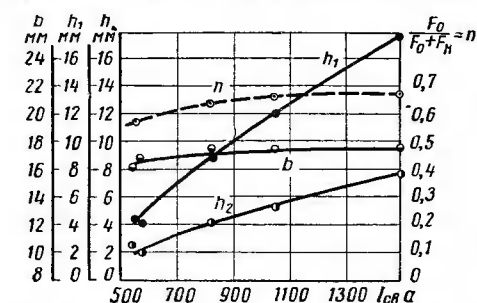
1. Значения коэффициента K в зависимости от марки флюса и диаметра электрода (Институт электросварки им. акад. Е. О. Патона)

Марка флюса	Род тока	Диаметр электрода в мм	Значения K в мм/100 а	
			Тавр; стык с разделкой кромок	Наплавка; стык без разделки кромок
АН-348-А	Переменный	5	1,5	1,1
АН-348-Ш и АН-348-А		2	2,0	1,0
АН-348	Постоянный обрат-ной полярности	5	1,75	1,1
ОСЦ-45	Переменный		1,55	1,15
АН-348	Постоянный прямой полярности		1,25	1,0

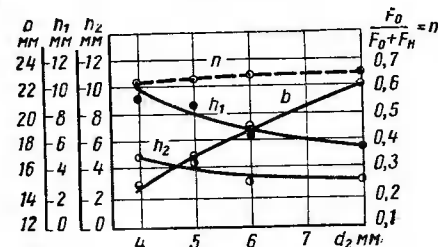
Фиг. 6 иллюстрирует влияние на те же величины (при постоянной величине тока) возрастающего диаметра электродной проволоки. Снижение плотности

тока в электроде (при постоянном значении тока) уменьшает глубину проплавления и увеличивает ширину шва.

В табл. 2 приведены значения токов, при которых достигается одинаковая глубина проплавления при сварке электродами диаметром 4, 5 и 6 мм, показывающие, что при прочих равных условиях глубина проплавления изменяется примерно обратно пропорционально диаметру электрода.



Фиг. 5. Влияние величины сварочного тока на размеры поперечного сечения шва и доли участия основного металла в образовании ванны при сварке под флюсом. Флюс ОСЦ-45: $U_0 = 36 \div 38$ в; $d_0 = 5$ мм; $v_0 = 40$ м/час (ЦНИИТМАШ).



Фиг. 6. Влияние диаметра электрода на размеры поперечного сечения шва (при постоянной величине тока). Флюс ОСЦ-45: $I = 800$ а; $U_0 = 36 \div 38$ в; $v_{св} = 40$ м/час (ЦНИИТМАШ).

2. Значения сварочного тока, при которых достигается одинаковая глубина проплавления (Институт электросварки им. акад. Е. О. Патона)

Диаметр электрода в мм	Сварочный ток в а				
4	700	800	900	1000	1100
5	850	950	1100	1200	1300
6	950	1050	1200	1300	1400
Ориентировочная глубина провара в мм при скорости сварки 40 м/час	9,0	10,5	12,5	14,0	15,5

Значения сварочного тока, при которых достигается одинаковая глубина проплавления электродами диаметром 5 и 2 мм при прочих равных условиях, приведены в табл. 3.

3. Значения сварочного тока, при которых достигается одинаковая глубина проплавления электродами диаметром 5 и 2 мм (Институт электросварки им. акад. Е. О. Патона)

Диаметр электрода в мм	Величина и плотность тока	Глубина проплавления в мм						
		3	4	5	6	8	10	12
5	Сварочный ток в а . . .	450	500	550	600	725	825	925
	Плотность тока в а/мм ²	23	26	28	31	37	42	47
2	Сварочный ток в а . . .	200	325	400	450	525	625	700
	Плотность тока в а/мм ²	64	104	127	143	167	200	224

Скорость сварки в этом случае несколько меньше указанной в табл. 2. Как видно, более глубокого провара можно достигнуть путем уменьшения диаметра электродной проволоки.

В табл. 4 приведены предельные значения сварочного тока при электродах различного диаметра.

4. Рекомендуемые пределы тока при сварке под флюсом (переменный ток)

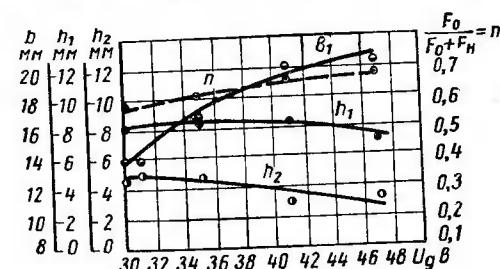
Диаметр электродной проволоки в мм	Сечение электродной проволоки в мм ²	Нормальные режимы		Форсированные режимы	
		Пределы сварочного тока в а	Пределы плотности тока в а/мм ²	Пределы сварочного тока в а	Пределы плотности тока в а/мм ²
2	3,14	190—250	60,5—80,0	200—670 *	64,0—213,0 *
3	7,06	250—600	35,4—84,9	—	—
4	12,56	350—800	27,8—63,7	600—1450	47,8—115,0
5	19,63	475—1000	24,2—50,9	900—1700 **	45,9—86,6
6	28,27	625—1350	22,1—47,7	1400—2300 **	49,5—81,2
7	38,48	750—1700	19,5—44,2	—	—
8	50,26	900—2100	17,9—41,8	—	—
10	78,53	1300—3000	16,5—38,2	—	—

* Шланговая полуавтоматическая сварка.

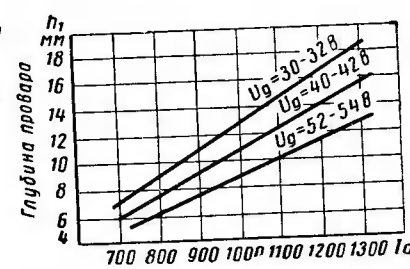
** Данные Института электросварки им. акад. Е. О. Патона, остальные данные — ЦНИИТМАШ.

Напряжение дуги

Напряжение дуги устанавливается в зависимости от стабилизирующих свойств флюса. Для одного и того же флюса изменение напряжения дуги связано с изменением ее длины. При неизменной величине сварочного тока и ско-



Фиг. 7. Влияние напряжения дуги на размеры поперечного сечения шва. Флюс ОСЦ-45: $I_{св} = 800$ а; $d_0 = 5$ мм; $v_{св} = 40$ м/час (ЦНИИТМАШ).



Фиг. 8. Влияние величины сварочного тока и напряжения дуги на глубину проплавления: $v_{св} = 20$ м/час; $d_0 = 5$ мм (Институт электросварки им. акад. Е. О. Патона).

рости сварки повышение напряжения дуги заметно увеличивает ширину шва b , снижая величину его усиления h_2 . Глубина проплавления h_1 в практически встречающихся пределах изменения напряжения дуги при этом остается почти постоянной (Фиг. 7).

По данным Института электросварки им. Е. О. Патона, повышение напряжения при неизменном токе дуги несколько уменьшает глубину проплавления (фиг. 8).

Данные этого же института, характеризующие влияние напряжения дуги на ширину проплавления при сварке переменным током, приведены в табл. 5, а при сварке постоянным током — в табл. 6.

5. Влияние напряжения дуги на ширину проплавления при сварке переменным током. Флюс АН-3; $I = 600 \div 640$ а; $d_p = 5$ мм; скорость сварки 24 м/час

(Институт электросварки им. акад. Е. О. Патона)

Напряже- ние дуги в в	Количество теплоты, выде- ляемое дугой		Расход теплоты на плавл- ение основного металла		Ширина проплавления	
	абсолютное в кал/сек	увеличение в %	абсолютный в кал/сек	увеличе- ние в %	фактиче- ская в мм	увеличе- ние в %
25	3270	100,0	2315	100,0	15	100,0
30	3680	112,5	2380	103,0	16	106,0
43	5790	177,0	3370	145,5	22	146,5

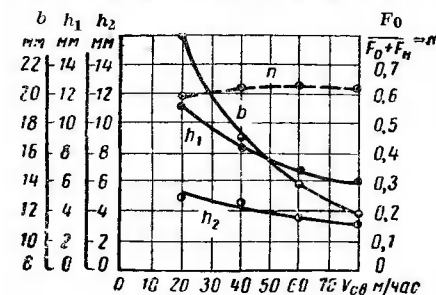
6. Влияние напряжения дуги на ширину проплавления при сварке постоянным током. Флюс АН-348; $I = 550$ а; $d_p = 5$ мм; скорость сварки 24 м/час

(Институт электросварки им. акад. Е. О. Патона)

Напряжение дуги в в	Ширина проплавления в мм	
	прямая полярность	обратная полярность
30—32	21	22
40—42	25	28
53—55	25	33

Скорость сварки

Влияние скорости сварки на глубину проплавления и другие размеры шва можно определить по графику на фиг. 9. Глубина проплавления и ширина шва неизменно уменьшаются с повышением скорости сварки



Фиг. 9. Влияние скорости сварки на размеры поперечного сечения шва. Флюс ОСЦ-45. $U_0 = 36 \div 38$ в; $I = 800$ а; $d_p = 5$ мм

(ЦИНТИМАШ)

При сварке металла средних и, особенно, больших толщин замена одной марки флюса другой (с иными стабилизирующими свойствами) может привести к неудовлетворительной укладке швов. Изменение напряжения дуги обычно позволяет получить и в этом случае нужные результаты.

Марка применяемого флюса, его состояние и грануляция

Марка флюса может оказывать заметное влияние на формирование шва. Отдельные флюсы обладают различными стабилизирующими характеристиками и, следовательно, при одинаковом напряжении могут дать дуги различной длины (см. гл. II). Флюсы с низкими стабилизирующими свойствами при прочих равных условиях способствуют более глубокому проплавлению основного металла.

С точки зрения формирования шва, особенно при сварке материала больших толщин мощной дугой, большое значение имеют температурная зависимость вязкости флюса, а также состояние вещества флюса (стекловидные и пемзоподобные флюсы) и их грануляция. Наличие пемзоподобного вещества в готовом флюсе и укрупнение его грануляции резко повышает газопроницаемость слоя флюса над зоной сварки и уменьшает давление дуги. В результате глубина проплавления уменьшается, а ширина шва возрастает. При этом улучшается форма наружной поверхности шва.

В табл. 7 приведены данные по сварке под флюсом ОСЦ-45 различной грануляции на одном и том же режиме.

7. Влияние грануляции флюса на глубину провара (ЦИНТИМАШ)

Режим сварки			Глубина провара в мм при размере зерен флюса		
Ток в а	Напряже- ние дуги в в	Скорость сварки в м/час	0,42—0,84 мм	0,84—1,08 мм	1,08—2,5 мм
1500	40—42	15	17,0	15,5	14,0

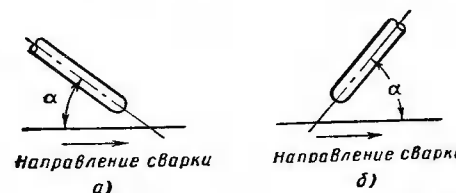
Наряду с плавными флюсами в некоторых случаях применяются неплавные (керамические) флюсы, способствующие легированию наплавленного металла при сварке малоуглеродистой проволокой и обеспечивающие интенсивное раскисление металла сварочной ванны. Сварка под керамическими флюсами может осуществляться на постоянном и переменном токе. Режимы сварки нелегированных сталей примерно те же, что и при сварке под флюсом типа АН-348А или ОСЦ-45.

Наклон электрода и изделия

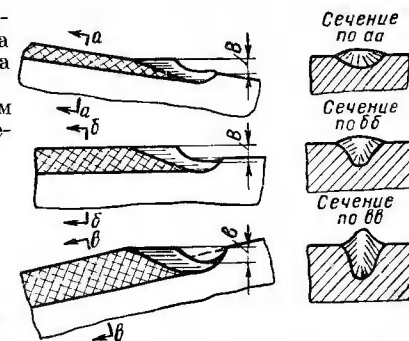
При горизонтальном расположении изделия электрод может составлять острый угол с осью шва. Если электрод наклонен в сторону, обратную направлению сварки (фиг. 10, а), это положение называют «сваркой углом вперед», наоборот, при наклоне электрода по направлению сварки (фиг. 10, б) — «сваркой углом назад».

В первом случае существенно уменьшается глубина и увеличивается ширина провара (табл. 8), во втором — глубина провара несколько увеличивается.

При сварке под флюсом дуга своим основанием погружается в основной ме-



Фиг. 10. Сварка наклонным электродом: а — «углом вперед»; б — «углом назад» (Институт электросварки им. акад. Е. О. Патона).



Фиг. 11. Влияние наклона изделия на глубину проплавления при постоянных параметрах режима сварки (ЦИНТИМАШ).

талл до тех пор, пока не возникает более или менее постоянная разность уровней В (фиг. 11) жидкого металла в сварочной ванне под основанием дуги



Фиг. 12. Шлаковые прослойки на границе зоны проплавления при сварке на больших скоростях.

и за ней. Эта разность уровней зависит от давления дуги, определяемого электрическими и технологическими параметрами процесса. Поэтому при сварке по наклонной поверхности сверху вниз глубина проплавления меньше, а при сварке снизу вверх — больше, чем при сварке на горизонтальной поверхности (фиг. 11 и табл. 9).

Сварка «углом вперед», а также по наклонной поверхности сверху вниз является действенным средством борьбы с образованием шлаковых прослоек на границе зоны проплавления (фиг. 12) при сварке на больших скоростях.

8. Влияние наклона электрода «углом вперед» на размеры шва при сварке под неомовидным флюсом АН-3

($I = 1100$ а; $U_0 = 34-36$ в; $d_0 = 6$ мм; скорость сварки 60 м/час)
(Институт электросварки им. акад. Е. О. Патона)

Угол наклона электрода в град.	Размеры поперечного сечения шва				Доля основного металла в формировании шва n в %	Расход флюса в г/см
	Глубина провара h_1 в мм	Усиление h_2 в мм	Ширина провара b в мм	Площадь провара F_0 в мм ²		
90	11,0	4,0	13,0	108	70	1,1
80	10,0	3,5	14,0	—	—	1,4
70	8,5	3,5	17,0	80	65	1,5
60	8,0	3,5	18,0	—	—	2,4
50	7,5	3,0	22,0	66	63	4,3
40	6,0	3,0	22,0	—	—	—
35	4,0	2,5	23,0	50	57	4,3
30	3,0	2,5	24,0	—	—	4,3

9. Влияние наклона изделия на размеры шва при сварке под стекловидным флюсом АН-3

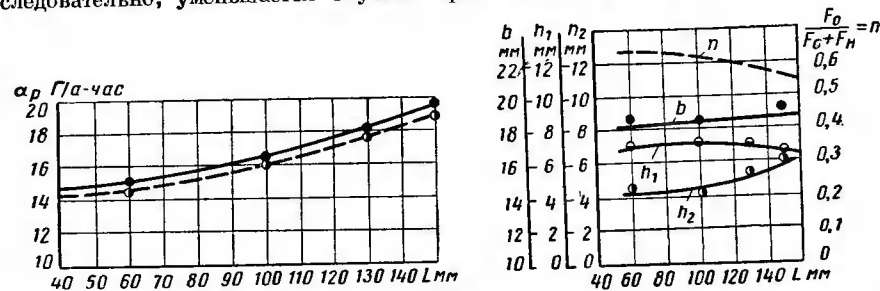
($I = 750$ а; $U_0 = 32$ в; $d_0 = 5$ мм; скорость сварки 20 м/час)
(Институт электросварки им. акад. Е. О. Патона)

Направление сварки	Угол наклона изделия к горизонту α°	Глубина провара h_1 в мм	Усиление h_2 в мм	Ширина провара b в мм	Площадь провара F_0 в мм ²	Доля основного металла в образовании шва n в %
Сверху вниз	0	9,0	4,0	20	112	64
	4	8,0	3,5	27	94	57
	8	6,5	2,5	20 *	74	54
	12	5,5	2,0	18 *	49	48
Снизу вверх	4	11,0	5,0	20	134	60
	8	12,0	5,5	19	126	68
	12	12,0	6,5	18	114	71

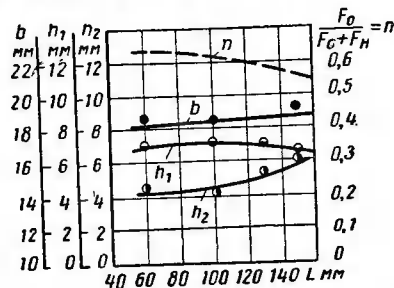
* Ширина валина значительно превышает ширину провара и составляет 28—30 мм.

«Вылет» электрода из мундштука

С увеличением вылета, при прочих равных условиях, количество электродного металла α_p , расплавляемого в единицу времени, повышается (фиг. 13), следовательно, уменьшается глубина проплавления и доля основного металла



Фиг. 13. Влияние вылета l электрода из мундштука на коэффициент расплавления. Флюс ОСЦ-45; $I = 800$ а; $U_0 = 36 \div 38$ в; $v_{св} = 20$ м/час; $d_0 = 5$ мм; пунктирная линия — данные теоретического подсчета; сплошная линия — экспериментальные данные (ЦНИИТМАШ).



Фиг. 14. Влияние вылета электрода на размеры поперечного сечения шва. Флюс ОСЦ-45; $I = 800$ а; $U_0 = 36 \div 38$ в; $v_{св} = 40$ м/час; $d_0 = 5$ мм (ЦНИИТМАШ).

в образовании металла шва (фиг. 14). Однако в пределах действительных колебаний величины вылета (от 30 до 100 мм для электрода диаметром 5 мм) изменение размеров шва не является существенным.

Род тока и полярность

Влияние полярности на форму шва объясняется различным количеством тепла, выделяющегося на катод и аноде дуги. При прочих равных условиях сварке на обратной полярности (плюс на электроде) соответствует большая глубина проплавления, чем на прямой (фиг. 15). По данным Института электросварки им. Е. О. Патона, характер зависимости основных размеров шва от режима сварки на постоянном токе такой же, как при сварке переменным током.



Фиг. 15. Влияние полярности на форму шва: П — прямая полярность; О — обратная.

Конструктивная форма соединения и величина зазоров

Данные о влиянии разделки кромок на размеры шва приведены в табл. 10.

При сварке встык величина зазора мало влияет на глубину проплавления, но заметно отражается на усилении шва (табл. 11).

Сводные данные о влиянии режима сварки и других факторов на размеры шва приведены в табл. 12.

Влияние внешних возмущений на размеры сварного шва

В реальных условиях сварки под флюсом режим процесса не сохраняется строго постоянным по всей длине шва и не остается неизменным при сварке даже одинаковых швов. Под влиянием ряда возмущающих факторов (колебаний напряжения сети, изменения скорости подачи электрода и др.) основные параметры режима сварки, ток и напряжение дуги, могут изменяться, что вызывает соответствующие изменения размеров шва. Характер влияния возмущений на шов может изменяться в зависимости от условий проведения процесса сварки (рода тока, формы внешней характеристики источника питания

Характеристика шва	Изменение характеристики шва при увеличении					размера зерна флюса **
	угла наклона электрода к вертикали	угла наклона изделия	сварка на спуск	сварка на подъем	зазора и разделения кромок *	
Глубина провара h_1	Интенсивно уменьшается	Уменьшается	Уменьшается	Немного увеличивается	Остается практически неизменной	Немного уменьшается
Ширина провара b	Увеличивается	Увеличивается	Увеличивается	Немного уменьшается		Немного увеличивается
Высота усиления h_2	Уменьшается	Уменьшается	Уменьшается	Увеличивается	Уменьшается	Немного уменьшается
Коэффициент формы ψ	Интенсивно увеличивается	Увеличивается	Увеличивается	Уменьшается	Остается практически неизменной	Увеличивается
Соотношение между шириной провара и высотой усиления						
Доля основного металла λ в металле шва	Уменьшается	Уменьшается	Уменьшается	Немного увеличивается	Уменьшается	Немного уменьшается

* Глубина и ширина разделки кромок не превышает глубины и ширины провара при наплавке на пластину.

** При прочих равных условиях швы, сваренные под постоянным флюсом, имеют меньшую глубину и большую ширину провара, чем швы, сваренные под переменным флюсом. При сварке постоянным током обратной полярности характер изменения размеров и формы шва остается таким же, как при сварке переменным током.

и др.). В табл. 13 в качестве примера указан характер влияния длительных возмущений на ток и напряжение дуги при независимой скорости подачи электрода и падающих характеристиках источника питания. При зависимой скорости подачи электрода или других характеристиках источника питания характер влияния возмущений изменяется.

13. Влияние возмущений на ток и напряжение дуги при независимой скорости подачи электрода и падающих характеристиках источника питания

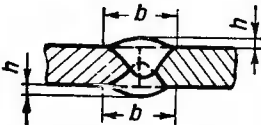
Параметры режима	Источник питания	Возмущающие факторы		
		Снижение напряжения сети	Замедление подачи электрода	Укорочение вылета электрода
Ток	Трансформатор	Незначительное снижение	Падает пропорционально замедлению подачи	Несколько растет
	Генератор постоянного тока (ПС-500 и аналогичные)	Не влияет		
Напряжение	Трансформатор	Снижается (относительно больше, чем напряжение сети)	Повышается	Несколько снижается
	Генератор постоянного тока (ПС-500 и аналогичные)	Не влияет		

Примечание. В таблице условно рассмотрен случай колебания возмущающих факторов в сторону уменьшения их значения. Колебания в сторону увеличения влияют на ток и напряжение дуги в противоположном направлении.

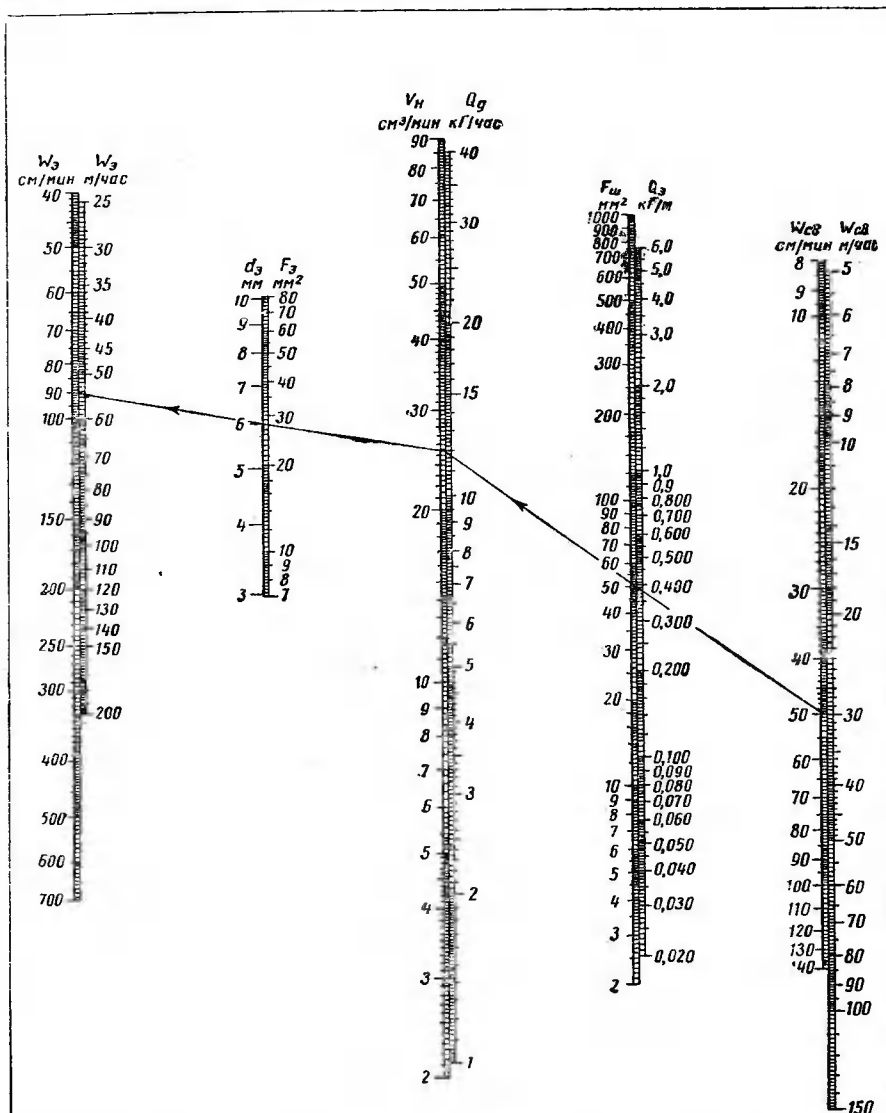
Существующие способы уменьшения влияния возмущений (компенсация колебаний напряжения сети, применение регулируемых электроприводов с жесткой механической характеристикой, обеспечивающей стабильность установленной скорости подачи электрода, и др.) не всегда могут быть использованы для основной массы сварочных работ, так как существенно усложняют автосварочную установку.

Большое влияние на полноту провара стыка оказывает также положение невидимого под флюсом конца электрода относительно оси свариваемого соединения. При смещении электрода (из-за плохой его рихтовки или непараллельности рельсового пути и стыка) с оси стыкового соединения возможно несовпадение основного шва с подварочным и появление вследствие этого непроваров. При сварке угловых швов наклонным электродом смещение дуги с установленного положения на горизонтальную или вертикальную полку также приводит к образованию дефектов в швах.

Для точного направления электрода применяются светоуказатели, копирные ролики и следящие системы. В зависимости от конструкции и тщательности

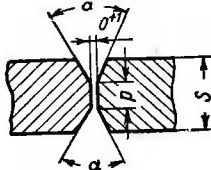
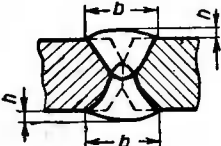
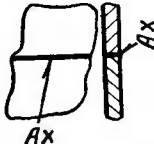
Подготовка кромок				Выполненный шов				Обозначение на чертежах											
								видимый шов						невидимый шов					
														—					
S	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20					
h	1,5±1		2±1			2 ^{+1,5} _{-1,0}			2,5±1,5			2,5 ⁺² _{-1,5}							
b	7±1,5	8±2	10±2	12±2	16±3					20±3		22±4							
a	0+0,3	0+0,5	0+0,8	0+1															

Зависимость между площадью сечения наплавленного металла, скоростью сварки и скоростью подачи электродной проволоки показана на номограмме (фиг. 17), разработанной С. Е. Синадским (ЦНИИТМАШ).



Фиг. 17. Зависимость между площадью сечения наплавленного металла, скоростью сварки и скоростью подачи электродной проволоки: W_3 — скорость подачи электрода; d_3 — диаметр электрода; F_3 — площадь сечения электрода; V_n — объем наплавленного металла; Q_g — производительность головки; $F_{ш}$ — площадь сечения шва; $Q_{ш}$ — вес наплавленного металла; $W_{св}$ — скорость сварки.

17. Швы стыковых соединений X-образные с двумя симметричными скосами кромок

Подготовка кромок	Выполненный шов	Обозначение на чертежах	
		видимый шов	невидимый шов
			—
S	20 22 24 26 28 30 32 34 36 38 40 42 44 46 48 50 52 54 56 58 60		
α	$60^\circ \pm 5^\circ$	$50^\circ \pm 5^\circ$	
h	$2,5^{+2,5}_{-1,5}$	3^{+3}_{-2}	
b	20 ± 3 22 ± 3 24 ± 4 26 ± 4 28 ± 4 32 ± 4		
p	6 ± 1 8 ± 1 6 ± 1		
При полуавтоматической сварке $p = 4 \text{ мм} \pm 1$			

Режимы и особенности выполнения отдельных видов сварных соединений

Стыковые соединения

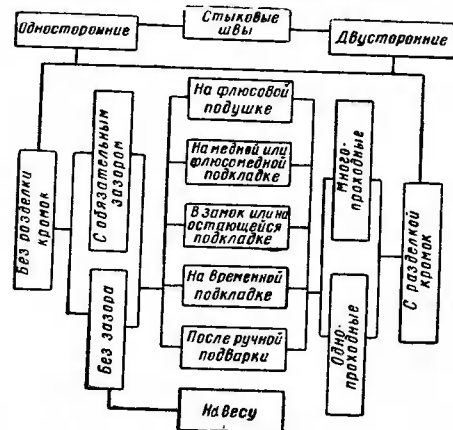
Стыковые соединения могут быть выполнены различными методами (фиг. 18), главнейшие из которых приводятся ниже.

Сварка на медной подкладке (фиг. 19), применяемая преимущественно при соединении тонких листов, требует достаточно точной сборки и надежного прижатия кромок к медной подкладке по всей длине шва (максимальный зазор 0,25—0,5 мм). В медной подкладке делается канавка, засыпаемая мелким флюсом для получения обратного валика. Ось канавки должна совпадать с осью шва. Разновидностью сварки на неподвижной медной подкладке является сварка на медном скользящем башмаке.

В табл. 18 приведены режимы сварки на медной подкладке соединений толщиной от 2 до 5 мм без подготовки кромок.

Сварка на флюсовой подушке допускает меньшую точность сборки, чем сварка на медной подкладке, и дает хорошие результаты как при односторонней сварке с полным проваром всей толщины листа, так и при

автоматической подварке (наложение первого слоя) двустороннего стыкового шва. Однопроходная сварка обеспечивает удовлетворительное формирование обратной стороны шва только при условии плотного и равномерного прижатия флюсовой подушки по всей длине свариваемых кромок, что достигается применением специальных приспособлений (фиг. 20).



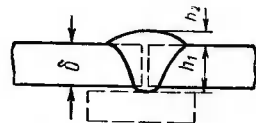
Фиг. 18. Классификация способов сварки под флюсом стыковых швов

18. Режимы сварки стыковых соединений толщиной 2—5 мм на медной подкладке (ЦНИИТМАШ)

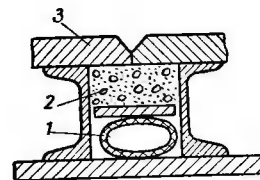
Толщина материала в мм	Зазор в мм	Ток в а	Напряжение дуги в в	Скорость сварки в м/час	Диаметр электрода в мм	Грануляция флюса в мм
2	0—0,5	230—250*	23—25	53	3	0,8—0,05
2,5		280—300		48		
3	0—0,7	300	25—30	40		
5	0—1,0	550—600	34—36	41	4	2,5—0,15

* Сварка на постоянном токе.
** Малоуглеродистая проволока, флюс ОСЦ-45.

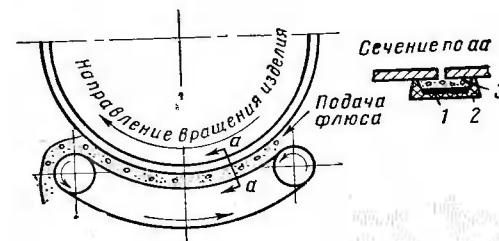
Автоматическая подварка продольных швов на флюсовой подушке (перед наложением основного шва с обратной стороны) может дать удовлетворительные результаты, если прижатие флюса к свариваемым кромкам осуществляется за счет собственного веса изделия.



Фиг. 19. Стыковое соединение, выполняемое на медной подкладке.



Фиг. 20. Схема приспособления для сварки на флюсовой подушке: 1 — резиновый (воздушный) шланг; 2 — флюсовая подушка; 3 — изделие.



Фиг. 21. Схема приспособления для выполнения внутренних кольцевых швов на флюсовой подушке (завод им. Орджоникидзе): 1 — профилированная гибкая лента; 2 — тонкая медная лента; 3 — флюсовая подушка.

19. Ориентировочные режимы однопроходной автоматической сварки на флюсовой подушке. Угол разделки 30°. Притупление 0—2 мм. Грануляция флюса 1,4—0,07 мм

Толщина материала в мм	Ток в а	Напряжение дуги в в	Скорость сварки в м/час	Диаметр электрода в мм
9,5	900	40	49,0	6,5
11	920	37	40,0	
12,5	960		33,5	
14,5	980		30,5	
16	1020	35	27,4	8,0
19	1080		22,9	
22	1160		15,2	
25	1250		13,0	

Режимы односторонней сварки тонкого металла на магнитных стендах с флюсовой подушкой приведены в табл. 20.

20. Режимы односторонней сварки стыковых швов металла толщиной 2—8 мм на магнитных стендах с флюсовой подушкой*
(Институт электросварки им. акад. Е. О. Патона)

Толщина материала в мм	Ширина зазора в стыке в мм	Диаметр электрода в мм	Сварочный ток в а	Напряжение дуги в в	Скорость сварки в м/час	Скорость подачи электрода в м/час	Грануляция флюса в подушке	Давление воздуха в плэнге флюсовой подушки в атм
2	0—1,0	1,6	120	24—28	43,5	105	Мелкий	0,8
3	0—1,5	1,6	275—300	28—30	34	276		
		2	275—300	28—30	44	127		
		3	400—425	25—28	70	91,5		
4	0—1,5	2	375—400	28—30	40	220		
		4	525—550	28—30	50	69		
5	0—2,5	2	425—450	32—34	35	276		
		4	575—625	28—30	46	87		
6	0—3,0	2	475	32—34	30	295		
		4	600—650	28—32	40,5	93		
7	0—3,0	4	650—700	30—34	37	117	Нормальный	1,0—1,5
8	0—3,5		725—775	30—36	34	126		

* Листы толщиной 2 мм сваривают постоянным током обратной полярности, более толстые — переменным.

Применение флюсовой подушки допускает также возможность односторонней сварки толстого металла с обязательным зазором; режимы сварки приведены в табл. 21.

21. Режимы односторонней сварки стыковых швов металла толщиной 10—20 мм на флюсовой подушке с обязательным зазором*
(Институт электросварки им. акад. Е. О. Патона)

Толщина материала в мм	Ширина зазора в стыке в мм	Сварочный ток а	Скорость подачи электрода в м/час	Напряжение дуги в в		Скорость сварки в м/час
				переменный ток	постоянный ток обратной полярности	
10	3—4	700—750	62	34—36	32—34	30
12	4—5	750—800	67	36—40	34—36	27
14		850—900	78	36—40		25
16	5—6	900—950	84	38—42	36—33	20
18		950—1000	92	40—44	36—40	17
20						15

* Флюс АН-348. Диаметр проволоки 5 мм. Возможно также использование проволоки диаметром 2, 3 и 4 мм.

* Флюс АН-348. Диаметр проволоки 5 мм. Возможно также использование проволоки диаметром 2, 3 и 4 мм.

Сварка на остающейся стальной подкладке (фиг. 22) применяется преимущественно при соединении относительно тонких листов. Она допускает увеличение зазора между стыкуемыми элементами. Прилегание подкладки к изделию должно быть достаточно плотным (максимальные зазоры не выше 1 мм). При выборе размеров подкладки можно руководствоваться данными, приведенными в табл. 22.

При указанном методе легко достигается полный провар всего сечения, включая частичное приваривание подкладки, которую рекомендуется готовить из металла того же состава, что и основной. Метод может быть рекомендован в тех случаях, когда применение подкладки допустимо с конструктивной и эксплуатационной точек зрения. Режимы автоматической сварки на остающейся стальной подкладке приведены в табл. 23.



Фиг. 22. Автоматическая сварка стыковых швов на остающейся стальной подкладке.

22. Размеры (в мм) стальных подкладок при сварке стыковых соединений

Толщина материала δ	Толщина подкладки	Ширина подкладки
2,0—6,0	0,5 δ	4 δ +5
6,0—10,0	0,25—0,35 δ	

23. Режимы автоматической сварки стыковых соединений на остающейся стальной подкладке.
Марка флюса ОСЦ-45; гранулиции 0,8—0,15 мм
(ЦНИИТМАШ)

Толщина материала в мм	Зазор между листами в мм	Ток в а	Напряжение дуги в в	Скорость сварки в м/час	Диаметр электрода в мм
2,0	0,7	270—300 *	23—27	82	3
2,5				75	
3,0				60	
4,0	0,8	560—600	37—40	45	4
6,0		680—720	35—37		
8,0		1000 **	35	42	
10,0	—			40	6

* Постоянный ток.

** Ориентировочный режим.

Разновидностью сварки на остающейся подкладке является сварка в замок, часто применяемая при наложении кольцевых швов на толстостенных цилиндрах малого диаметра.

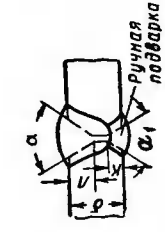
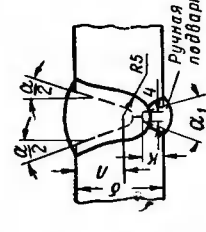
Ручная подварка позволяет осуществлять автоматическую сварку основного шва при относительно невысоких требованиях к качеству (сборки примерно при тех же допусках, какие применяются при ручной сварке). Однако профиль разделки, включая и зазор, должен укладываться в допуски, определяемые режимом сварки.

Этот метод выполнения стыковых швов рекомендуется применять только в тех случаях, когда автоматическая подварка невозможна (например, при сварке кольцевых швов на цилиндрических изделиях относительно малого диаметра).

При сварке малоуглеродистой стали подварочный шов должен выполняться электродами марки Э42 или Э42А по ГОСТу 9467-60. Нормальные режимы односторонней автоматической сварки по ручной подварке приведены в табл. 24, «форсированные» — в табл. 25.

Двусторонняя автоматическая сварка (по автоматической подварке) является основным методом выполнения высококачественных швов. Режимы наложения подварочного шва выбираются таким образом, чтобы не допустить протекания жидкого металла в зазоры, которые не должны превышать 0,5—1,0 мм. При больших зазорах можно предупредить образование прожогов использованием флюсовой подушки при наложении первого подварочного слоя. Нормальные режимы двусторонней автоматической сварки приведены в табл. 26, форсированные — в табл. 27.

24. Нормальные режимы автоматической сварки стыковых соединений по ручной подварке (ЦНИИТМАШ)

Толщина материала в мм	Форма разделки	Шов	Элементы разделки		Ток в а	Напряжение дуги в в	Скорость сварки в м/час	Диаметр электрода в мм	Марка флюса	Гранулиция в мм
			α/α_1	Л/К						
14		Основной Подварочный	6,5 4,5	60	820—850 180—200	40—42	32,0	5,0 5,0	ОСЦ-45	2,5—0,15
16		Основной Подварочный	8,0 5,0		850—880 180—220	40—42	18,1	5,0 5,0	ОСЦ-45	2,5—0,15
18		Основной Подварочный	10,0 5,0		950—1000 220—250	42—43	18,1	5,0 5,0	ОСЦ-45	2,5—0,15
20		Основной Подварочный	12,0 5		1000—1050 280	42—43	16,4	6,0 5,0—6,0	ОСЦ-45	2,5—0,15
23		Основной Подварочный	15,0 6,0		1050—1150 280	37—40	18,0	6,0 5,0—6,0	ОСЦ-45	2,5—0,15
30		Основной Подварочный	45 60	55 60	1400—1450 240—280	38—40	16,0	8,0 5,0—6,0	ФЦ-4	3,0—0,8
70		Основной Подварочный	55 60		2550—2650 240—280	42—43	6,2	10,0 5,0—6,0	ФЦ-4	3,0—0,8

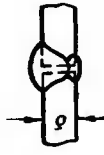
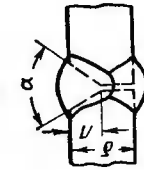
Примечания: 1. Режим для толщины материала 30 мм дан ориентировочно.

2. Для нормального формирования наружной поверхности шва флюс ФЦ-4 должен содержать некоторое количество пензольной фракции (объемный вес готового флюса 0,9—1,1 кг/м³).

25. Формирование режимы автоматической сварки стыковых соединений по ручной позварке. Флюс АН-3 (Институт электросварки им. акад. Е. О. Патона)

Толщина материала δ в мм	Положение электродов	Притупле- ние края в мм	Глубина подварки в мм	Наклон электродов к вертикали в град.	Диаметр электродов в мм	Угол разделки в град.	Ток в а	Напря- жение дуги в в	Скорость в м/час	
									сварки	подачи электродной провода
10	Наклонное	10	4	45	6	Без разделки	1300—1360	46—48	80	96—100
12	Вертикальное	12		—	4		900—950	48—50	50	125—140
	Наклонное	4		45	6		1300—1350	44—48	60	96—100
14	Вертикальное	14	5	—	4	Без разделки	1000—1050	50—52	50	155—160
	Наклонное	5		40	6		1300—1350	42—46		96—100
16	Вертикальное	16	6	—	4	Без разделки	1050—1100	54—56		175—190
	Наклонное	6		45	6		1300—1350	46—48		96—100
	Вертикальное	18		—	4		1100—1200	58—60		185—200
18	Наклонное	6	7	35	6	40	1300—1350	44—46	40	96—100
	Вертикальное	20		—	4		1100—1200	58—60		185—200
20	Наклонное	7	7	45	6	40	1300—1360	42—48	35	96—100
	Вертикальное									

26. Нормальные режимы двусторонней автоматической сварки стыковых соединений (ИНТИГМАШ)

Тол- щина мате- риала δ в мм	Форма разделки	Шов	элементы разделки		Ток в а	Напря- жение дуги в в	Скорость сварки в м/час	Диаметр электродов в мм	Марка флюса	Гравуль- ция в мм
			α/α_0^0	β/β_0^0						
10		Основной Подварочный	—	—	720—750 600—650	38—40	45,0 55,0	5	ОСЦ-45	2,5—0,15
11		Основной Подварочный	—	—	820—850 620—650		41,0 45,0			
12		Основной Подварочный	—	—	780—820 650—700		38,0 45,0			
14		Основной Подварочный	—	—	800—850 680—720		32,0 45,0			
15		Основной Подварочный	—	—	850—900 680—720		32,0 45,0			
14		Основной Подварочный	80	6	830—850 600—620	36—38	25,0 45,0	5	ОСЦ-45	2,5—0,15
16		Основной Подварочный	70	7	830—850 600—620		20,0 45,0			
18		Основной Подварочный	60	8	830—860 600—620		20,0 45,0			
22		Основной Подварочный	55	13	1050—1150 600—620		18,0 45,0			

Толщина материала в мм	Форма разделки	Шов	Элементы разделки		Ток в А	Напряжение дуги в В	Скорость сварки в м/час	Диаметр электрода в мм	Марка флюса	Гранулиция в мм
			α^0/α_1^0	Л/К						
30		Основной Подварочный	80 60	10 10	1000—1100 900—1000	37—40 36—38	18,0 20,0	6	ОСП-45	2,5—0,4
45		Основной Подварочный	50 45	17 17	1200—1350 1200—1300	38—45	12,0 12,0	8	ФЦ-4	2,5—0,8
60		Основной Подварочный	55 55	23 20	1800 1650	40 38	11,0 16,0	10,0 8,0	ФЦ-4	3,0—0,8
60		Основной Подварочный	55 60	28 16	2500 1500	43 38	11,0 16,0	10,0 8,0	ФЦ-4	3,0—0,8
70		Основной Подварочный	45 50	27 20	2500 1700	43 42	9,1 13,6	10,0 8,0	ФЦ-4	3,0—0,8
90		Основной Подварочный	45 50	31 36	2500 2500	43 43	6,2 6,2	10,0	ФЦ-4	3,0—0,8

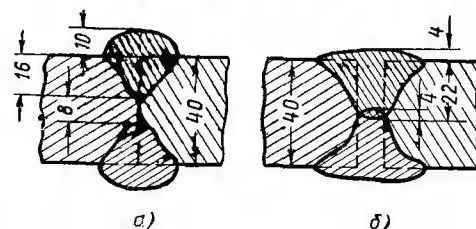
Примечания: 1. Режим для стыкового соединения толщиной 90 мм дан ориентировочно.
2. Объемный вес флюса ФЦ-4 должен находиться в пределах 0,8—1,1 кг/см³.

27. Форсированные режимы автоматической сварки двусторонних стыковых швов (Институт электросварки им. акад. Е. О. Патона)

Толщина материала в мм	Положение электрода	Диаметр электрода в мм	Наклон электрода к вертикали в град.	Ток в А	Напряжение дуги в В	Скорость в м/час	
						сварки каждого слоя (шва)	подачи электродной проволоки
10	Наклонное	6	45	1300—1350	46—48	80	96—100
12	Вертикальное Наклонное	4 6	— 45	850—900 1300—1350	48—50 46—48	55 80	115—125 96—100
14	Вертикальное Наклонное	4 6	— 45	900—950 1300—1350	50—52 46—48	50 70	125—140 96—100
16	Вертикальное Наклонное	4 6	— 45	950—1000 1300—1350	52—54 46—48	50 60	140—155 96—100
18	Вертикальное Наклонное	4 6	— 45	950—1000 1300—1350	54—56 46—48	50 50	140—155 96—100
20	Вертикальное Наклонное	4 6	— 45	1100—1200 1300—1350	56—58 46—48	40 40	185—200 96—100

Примечания: 1. Сварка первого шва на флюсовой подушке. Флюс АН-3.
2. Приведенные режимы обеспечивают полный провар стыковых листов без разделки кромок.
3. Для сварки по контуру необходимо предусматривать небольшую разделку кромок глубиной 4—8 мм под углом 30—50°.

Автоматическая сварка по заданному зазору. На основе известного положения о том, что при заданном режиме сварки общая высота сварного шва H , состоящая из глубины провара h_1 и высоты усиления h_2 , является величиной постоянной и не зависит от формы и глубины разделки, на заводе им. Петрова освоен метод двусторонней бескосной автоматической сварки с заданным зазором, значительно упрощающий сборку под сварку.



Фиг. 23. Форма двустороннего автоматного шва стыкового соединения толщиной 40 мм, выполненного при постоянном режиме сварки ($I = 1100 \div 1200$ а; $U_0 = 40 \div 44$ в; $v_{св} = 9,5$ м/час): а — без зазора; б — с зазором 9 мм.

При этом способе сварки за счет создания зазора между кромками уменьшается величина усиления шва и соответственно увеличивается глубина провара.

На фиг. 23 показаны очертания двустороннего автоматного шва при постоянном режиме сварки для стыкового соединения толщиной 40 мм, выполненного без зазора (фиг. 23, а) и с зазором 9 мм (фиг. 23, б).

28. Режимы двусторонней сварки стыковых швов металла толщиной 14—28 мм с обязательным зазором. Флюс АН-348; диаметр электрода 5 мм (Институт электросварки им. акад. Е. О. Патона)

Толщина материала в мм	Зазор между кромками в мм	Сварочный ток в а	Напряжение дуги в в		Скорость сварки в м/час
			Переменный ток	Постоянный ток обратной полярности	
14	3—4	700—750	34—36	32—34	30
16					27
18	4—5	750—800	36—40	34—36	
20		850—900			
24		900—950		38—42	36—38
28	5—6		20		

Примечание. Приводимые в таблице режимы относятся к сварке **обоих** швов.

Примечание. Приводимые в таблице режимы относятся к сварке обоих швов.

Сварка первого шва по зазору выполняется на флюсовой подушке. Перед сваркой зазор засыпается флюсом мелкой грануляции (пыль), а замыкание электрода на изделии осуществляется на одной из кромок заходной планки. После зажигания дуги электрод выводится на центр зазора.

В табл. 28 и 29 приведены режимы бескосной двусторонней автоматической сварки с заданным зазором.

29. Режимы двусторонней автоматической сварки с заданным зазором. (Флюс АН-348, диаметр электрода 5 мм)

Толщина материала в мм	Зазор между кромками в мм	Сварочный ток в а	Напряжение дуги в в	Скорость сварки в м/час	Ширина шва в мм	Усиление шва в мм
30	6—7	900—950	36—40	16	30—34	3—5
40	8—9	1100—1200	40—44	11,5	40—44	4—6
50	10—11	1200—1300	44—48	9,5	42—48	4—6

Примечание. Приводимые в таблице режимы относятся к сварке обоих швов.

Односторонняя сварка тонкого металла. Режимы автоматической сварки под флюсом на постоянном токе сталей толщиной 1,0—3,0 мм без подварочных швов приведены в табл. 30.

Многодуговая и многоэлектродная сварка позволяет значительно повысить производительность при одностороннем выполнении односторонних и двусторонних швов. Наряду с повышением производительности снижается расход электроэнергии по сравнению с односторонней сваркой; повышается устойчивость процесса, снижается расход флюса, повышается доля основного металла в шве и снижается удельный расход проволоки. Рекомендуемые режимы при двухдуговой сварке металла толщиной 8—14 мм приведены в табл. 31.

При стыковой сварке с зазором и в некоторых других случаях для получения широких швов применяются «расщепленные» электроды и «гребенки» (соответственно, два и несколько параллельных, расположенных рядом электродов, подключенных к одному полюсу общего источника питания). Сварка «гребенкой» применяется также для получения широких наплавов.

Многопроходная автоматическая сварка стыковых соединений. При наложении кольцевых швов на изделиях, в которых отношение толщины стенки к диаметру более 0,04, односторонняя сварка мощной дугой становится невозможной. Доброкачественное выполнение сварки в несколько проходов при заданной форме разделки достигается только в том случае, когда погонная энергия при наложении отдельных слоев ограничена; это заставляет переходить на сварку дугами ограниченной мощности при относительно небольшом сечении каждого слоя. Первые три-четыре слоя накладываются при положении электрода по оси симметрии шва, последующие — вразброс электродом, смещенным относительно оси симметрии шва. Ось конца электрода при наложении каждого слоя должна находиться на расстоянии не менее 8 мм от кромки разделки.

Формы разделки при многопроходной сварке толстого металла приведены в табл. 32. Угол скоса кромок α при диаметре электрода 6 мм равен $7,5^\circ$, при диаметре 8 мм 10° . Радиус закругления в корне разделки принимается равным диаметру электрода. Последние один-два слоя можно накладывать более мощными дугами.

Многопроходная автоматическая сварка может быть использована и для выполнения продольных швов, если предприятие обладает источниками питания дуги ограниченной мощности. Для многослойной сварки пригодны высокомарганцовистые флюсы электропечной плавки, обладающие достаточными высокими ионизирующими свойствами (ОСЦ-45А, АН-348А, ФЦ-6, ФЦ-3).

В табл. 32 приведены режимы многопроходной автоматической сварки стали толщиной 70 и 90 мм с предварительной ручной подваркой.

30. Режимы автоматической сварки стыковых швов стали толщиной 1,0—3,0 мм
(Институт электросварки им. акад. Е. О. Патона)

Толщина материала в мм	Тип шва	Наименование шва	Сварка производится	Диаметр электрода в мм	Допустимый зазор в стыке в мм	Ток в а	Напряжение дуги в в	Скорость сварки в м/час
1,0	Одно-сторонний	—	На медной подкладке	1,0	0—0,2	85—90	26	50
			На весу	1,2		115		
1,5	То же	—	На медной подкладке	1,6	0—0,3	170	28	50—60
			На весу	1,6	0,2—0,3	130		
2	То же	—	На флюсовой подушке	1,6	0—1,0	120	24—28	43,5
			На магнитном стенде		0—1,0	120	24—28	43,5
			На флюсомедной подкладке		0,5—0,6	130	28	50
			На весу		0,2—0,3	120	28	60
3	Одно-сторонний	—	На весу	2,0	0—0,8	160	30	78
			На флюсовой подушке					
			На магнитном стенде					
			На флюсомедной подкладке					
2	Дву-сторонний	Основной Подварочный	На весу	1,6	0,2—0,3	120	28	50
			На весу	1,6	0,2—0,3	120	28	60

Примечания: 1. Флюс АН-348 стекловидный, мелкий.
2. При сварке на весу расстояние между прихватками 50—60 мм, на медной подкладке 100—120 мм, при сварке на магнитных стендах прихватки ставятся по концам шва.
3. Прихватки выполняются контактной точечной сваркой, плановым полуавтоматом под флюсом и вручную тонкими качественными электродами. Сварка производится постоянным током.

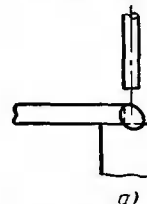
31. Режимы двухдуговой скоростной сварки односторонних стыковых швов металла толщиной 8—14 мм на флюсомедной подкладке
(Институт электросварки им. акад. Е. О. Патона)

Толщина материала в мм	Ширина зазора в мм	Диаметр электрода в мм	Дуга	Ток в а	Напряжение дуги в в	Скорость сварки в м/час	Флюс	Скорость охлаждения в м/час
8	3—4	3—4	Вертикальная	800—850	36—40	80	АН-348 стекловидный	34
			Наклонная	850—875	46—48			
	4—5	4—5	Вертикальная	1500—1550	45—50	120	АН-60 пемзовидный	25
			Наклонная	1000—1100	42—48			
14	4—5	5—6	Вертикальная	2000—2100	40—42	120	АН-60 пемзовидный	25
			Наклонная	1700—1800	56—60			

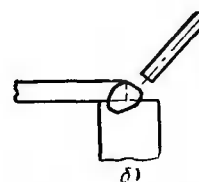
Примечания: 1. Расстояние между электродами 15—40 мм; передний электрод расположен вертикально, задний наклонен углом вперед. Скорость подачи присадочной проволоки назначается в зависимости от ширины зазора.
2. При сварке стали толщиной 8 мм и более со скоростью более 80 м/час для улучшения формирования шва применяется пемзовидный флюс АН-60.

Угловые соединения

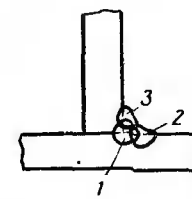
Соединения в угол могут выполняться вертикальным (при малой толщине горизонтального элемента) или наклонным электродом (при толщине горизонтального элемента свыше 3—5 мм) (фиг. 24).



Фиг. 24. Автоматическая сварка угловых соединений: а — вертикальным электродом; б — наклонным электродом.



Фиг. 25. Сварка таврового соединения при величине катета шва до 10 мм.



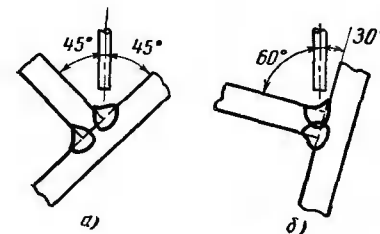
Фиг. 26. Многопроходная сварка таврового соединения.

Соединения в тавр (фиг. 25) можно выполнять при вертикальном положении стенки наклонным электродом с наложением швов относительно небольшого размера (катет шва до 10 мм). Швы большего размера выполняются в несколько проходов (1, 2, 3 на фиг. 26).

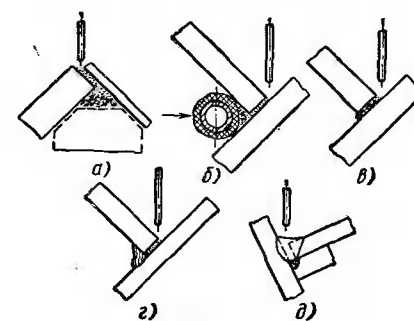
Толщина материала, мм	Форма разделки	Шов	Элементы разделки			Диаметр электрода, мм	Ток в а	Напряжение дуги в в	Скорость сварки в м/час	Марка флюса	Выпуклость в мм
			α_1/α в град.	K/L в мм	R в мм						
70		Подварочный	60	15	—	5	250	—	—	—	—
		Основной: слой № 1 и 2 » № 3—14 № 15 и 16	20	50	8	8	1000 1050	35—40 35—40	28 28	ОСП-45А ФЦ-3 или ФЦ-6	2,5—0,15
		Подварочный	60	20	—	5	250	—	—	—	—
90		Основной: слой № 1 и 2 » № 3—15 » № 16—22	20	65	8	8	1000 1050	35—40 35—40	28 28	ОСП-45А, ФЦ-3 или ФЦ-6	2,5—0,15
		Подварочный	60	20	—	5	250	—	—	—	—
		Основной: слой № 1 и 2 » № 3—10 » № 11* » № 12	20	65	8	8	1050 1050 1350 1250	35—40 35—40 43 44	28 28 44,0 10,2	ОСП-45А, ФЦ-3 или ФЦ-6	2,5—0,15

* Заполнито с разделкой

При положении «в лодочку» практически можно сваривать угловые швы любого сечения. Однако это положение облегчает вытекание расплавленного металла в зазоры. Сварка в «симметричную лодочку» (фиг. 27, а) часто не обеспе-



Фиг. 27. Автоматическая сварка таврового соединения в симметричную (а) и несимметричную лодочку (б).



Фиг. 28. Устройства, применяемые при сварке «в лодочку» на флюсовой подушке или после ручной подварки: а — углового массивного соединения на флюсовой подушке; б — на флюсовой подушке, прижимаемой к тавровому соединению; в — углового шва с заделкой асбестом; г — углового шва после ручной подварки; д — односторонняя сварка таврового соединения на флюсо-медной подкладке.

чивает провара всей толщины стенки; это достигается при положении изделия в «несимметричную лодочку» (фиг. 27, б).

Различные устройства, применяемые при сварке в лодочку на флюсовой подушке или после ручной подварки, представлены на фиг. 28.

Режимы однопроводной сварки таврового соединения при вертикальном положении стенки приведены в табл. 33, того же соединения «в лодочку» — в табл. 34.

33. Режимы однопроводной сварки тавровых соединений при вертикальном положении стенки (Институт электросварки им. акад. Е. О. Патона)

Катет шва в мм	Диаметр электрода в мм	Ток в а	Напряжение дуги в в	Скорость сварки в м/час	Род тока
3	2	200—220	25—28	60	Постоянный
4	2	280—300	28—30	55	Переменный
	3	350	28—30	55	
5	2	375—400	30—32	55	
	3	450	28—30	55	
	4	450	28—30	60	
7	2	375—400	30—32	28	Переменный
	3	500	30—32	48	
	4	675	32—35	50	

Примечания: 1. Для сварки применяется мелкий флюс АН-348.
2. Наклон электрода к вертикали 30°; электрод устанавливается не в угол, а с некоторым смещением по горизонтальному листу.

34. Нормальные и форсированные режимы однопроходной автоматической сварки тавровых соединений «в лодочку» под флюсом

(Институт электросварки им. акад. Е. О. Патона)

Катет в мм	Режим сварки	Диаметр электрода в мм	Ток в а	Напряжение дуги в в	Скорость в м/час	
					сварки	подачи электрода
6	Нормальный	5	600—700	34—36	40	46—50
	Форсированный		750—800	38—40	50	55—60
8	Нормальный	5	700—750	34—36	25	50—55
	Форсированный	5	1000—1050	40—42	50	86—95
		6	1300—1350	40—42	80	96—100
10	Нормальный	5	750—800	34—36	18	54—60
	Форсированный	5	1050—1100	40—42	80	96—100
		6	1300—1350	40—42	45	96—100
12	Нормальный	5	850—900	34—36	15	66—72
	Форсированный	5	1050—1100	40—42	20	96—100
		6	1300—1350	40—42	30	96—100
14	Нормальный	5	850—900	34—36	10	44—50
	Форсированный	6	1300—1350	40—42	22	96—100
16	Нормальный	6	900—950	34—36	8	50—55
	Форсированный		1300—1350	40—42	18	96—100
18	Форсированный	6	1300—1350	40—42	14	96—100
20					11	
22					9	

Примечание. Сварка на форсированных режимах производится при наклоне электрода к оси шва под углом 45°.

Соединения внахлестку

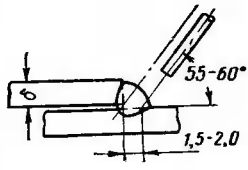
Соединения внахлестку могут осуществляться при трех пространственных положениях соединяемых элементов: горизонтальном, вертикальном и наклонном.

Режимы сварки при горизонтальном положении соединяемых элементов приведены в табл. 35.

Сварка при вертикальном положении листов требует специальных флюсоудерживающих приспособлений, предупреждающих стекание шлака и металла. Ось электрода при этом располагается под углом 45° к вертикали.

При наклонном положении листов сварка внахлестку мало отличается от сварки тавровых соединений «в лодочку».

35. Режимы автоматической сварки нахлесточных соединений под флюсом ОСЦ-45 при горизонтальном положении соединяемых элементов (ЦИИИТМАШ)

Толщина материала в мм	Эскиз расположения электрода	Катет шва в мм	Ток в а	Напряжение дуги в в	Скорость сварки в м/час	Диаметр электродной проволоки в мм	Грануляция флюса в мм
1,7		—	140 *	25—30	40	3	0,8—0,05
2,0		—	160 *		38		
2,2		—	180 *		45		
2,5		—	300		90		
6,0		—	530	32—34	45	4	1,31—0,21
8,0		7	650				
10,0		7	650				
12,0		6	780	32—35	60	5	

* Сварка на постоянном токе.

НЕКОТОРЫЕ РАЗНОВИДНОСТИ СВАРКИ ПОД ФЛЮСОМ

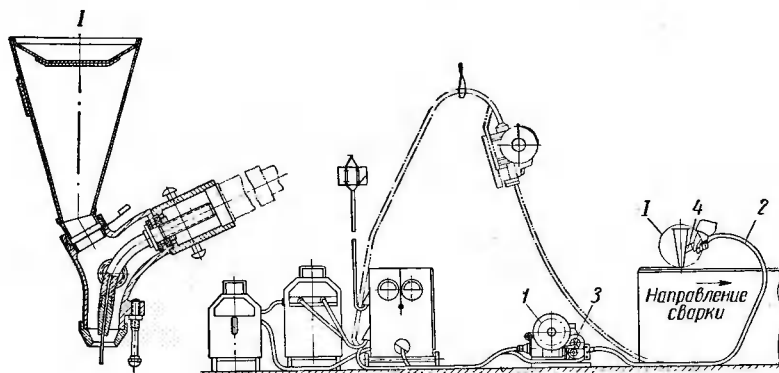
Шланговая полуавтоматическая сварка

При указанном способе сварки (фиг. 29) голая электродная проволока из кассеты 1 по гибкому шлангу 2 передается подающим механизмом 3 к держателю 4, из которого она поступает в зону сварки. Подвод сварочного тока к держателю также осуществляется через гибкий шланг. В процессе сварки держатель полуавтомата перемещается сварщиком вручную вдоль шва. Способы полуавтоматической сварки под флюсом представлены на фиг. 30. Шланговая полуавтоматическая сварка дает возможность сваривать короткие и криволинейные швы разного калибра, недоступные для сварки обычными автоматами.

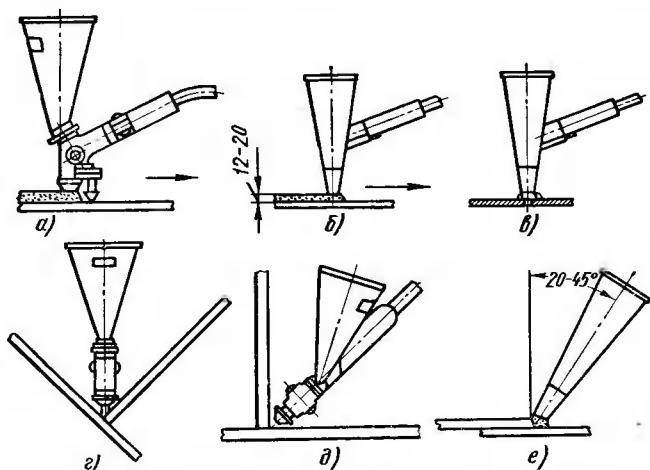
На фиг. 31 приведена зависимость коэффициента плавления электрода диаметром 2 мм при шланговой полуавтоматической сварке от тока и напряжения дуги, а на фиг. 32 — от вылета электрода и скорости сварки.

В табл. 36, 37 и 38 приводятся режимы шланговой полуавтоматической сварки.

На фиг. 33 приведена зависимость глубины проплавления от величины тока при шланговой полуавтоматической сварке.



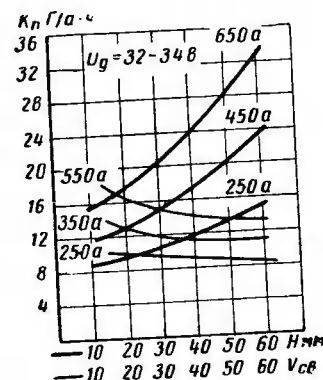
Фиг. 29. Схема установки для шланговой полуавтоматической сварки.



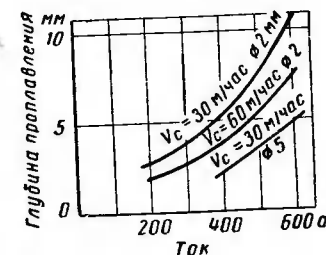
Фиг. 30. Способы полуавтоматической сварки под флюсом: а — сварка стыкового шва шланговым полуавтоматом с носылем; б — сварка «на себя»; в — сварка слева направо; г — сварка углового шва «в лодочку» шланговым полуавтоматом; д — сварка углового шва шланговым автоматом при вертикальном положении стенки тавра; е — сварка углового шва нахлесточного соединения.



Фиг. 31. Зависимость коэффициента плавления электрода от тока и напряжения дуги (диаметр электрода 2 мм)



Фиг. 32. Зависимость коэффициента плавления электрода от вылета и скорости сварки (диаметр 2 мм).



Фиг. 33. Зависимость глубины проплавления от тока при шланговой полуавтоматической сварке проволокой диаметром 2 и 5 мм (Институт электросварки им. акад. Е. О. Патона)

36. Режим двусторонней сварки стыковых швов шланговым полуавтоматом на флюсовой подушке (диаметр электрода 2 мм).
(Институт электросварки им. акад. Е. О. Патона)

(Институт электросварки им. А. Д. Никольского)				
Толщина материала в мм	Ток в а	Напряжение дуги в в	Скорость подачи электродной проволоки в м/час	Скорость сварки в м/час
Переменный ток				
4	220—240	32—34	101	18—24
5	275—300	32—34	156	
8	450—470	34—36	306	
12	500—550	36—40	378	
Постоянный (обратная полярность)				
4	200	30—32	79	24—30
5	300	32—33	156	30—36

37. Режимы односторонней двусторонней шланговой сварки в стык листов толщиной 3 мм постоянным током обратной полярности
(Институт электросварки им. акад. Е. О. Патона)

Диаметр электрода в мм	Ток в а	Напряжение дуги в в	Скорость подачи электрода в м/час	Скорость сварки в м/час
1,6	170—180	24—26	101	30—40
	200—210		126	40—45
1,2	130—140		156	25—30
	160—170		191	30—40

Сварка электрозаклепками

Сварка электрозаклепками применяется: для соединения тонколистового материала — с проплавлением верхнего листа; для сварки деталей большей толщины — через отверстия в верхнем элементе узла. Схема сварки электрозаклепками с проплавлением верхнего листа представлена на фиг. 34.

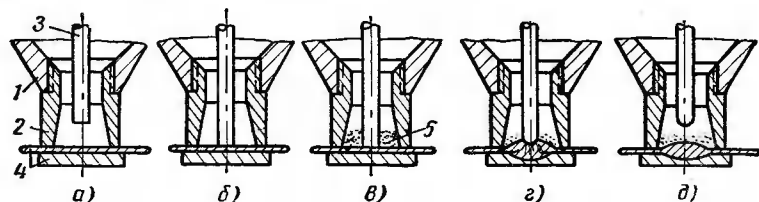
Зависимость геометрических размеров электрозаклепок и глубины проплавления от различных параметров режима представлена на фиг. 35—39. Типы сварных соединений, выполняемых с помощью электрозаклепок, представлены на фиг. 40. Электрозаклепка, выполненная под флюсом через отверстие в верхнем листе, представлена на фиг. 41. Диаметр отверстия должен превышать диаметр электрода не менее чем на 2—6 мм. С другой стороны, диаметр электрода должен быть равен

$$d_a = 1,1 d_{отв} \sqrt{\frac{\delta}{l + \delta}},$$

где δ — толщина верхнего листа в мм;

$d_{отв}$ — диаметр отверстия в мм;

l — величина оплавления электрода до обрыва дуги.

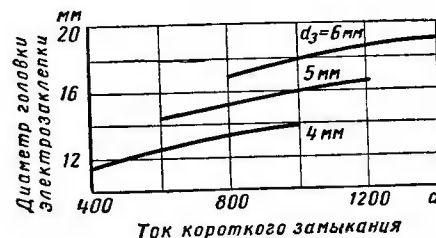


Фиг. 34. Основные операции при сварке электрозаклепками: а — установка электрозаклепочника; б — опускание электрода; в — засыпка флюса; г — процесс сварки; д — автоматический обрыв дуги; 1 — корпус электрозаклепочника; 2 — медный электрод; 3 — электрод; 4 — свариваемые детали; 5 — флюс.

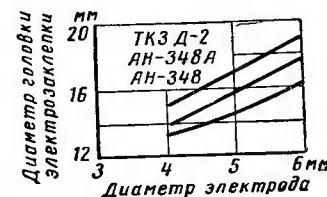
38. Режимы сварки угловых швов таврового соединения шланговым полуавтоматом (диаметр электрода 2 мм)

(Институт электросварки им. акад. Е. О. Патона)

Катет шва в мм	Толщина соединяемых элементов в мм	Ток в а	Напряжение дуги в в	Скорость сварки в м/час	Скорость подачи электродной проволоки в м/час
Переменный ток					
4	4	220—240	32—34	24—30	101
5	5	275—300			156
8	8	380—420	34—38	18—24	250
Постоянный (обратная полярность)					
4	4	220	30—32	24—30	101
5	5	300	32—34		156
6	6	350	32—34		191



Фиг. 35. Зависимость диаметра головки электрозаклепки от тока короткого замыкания и диаметра электрода: $U_{xx} = 65$ в; флюс АН-348А.



Фиг. 36. Зависимость диаметра головки электрозаклепки от диаметра электрода (для трех марок флюса): $U_{xx} = 65$ в.



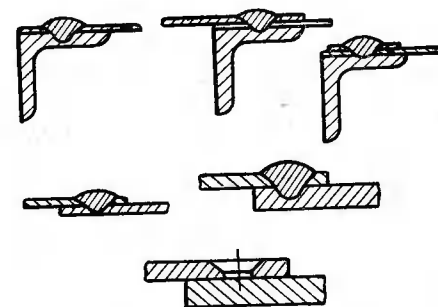
Фиг. 37. Высота головки электрозаклепки в зависимости от тока короткого замыкания и диаметра электрода. $U_{xx} = 65$ в; флюс АН-348А.



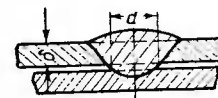
Фиг. 38. Зависимость глубины проплавления от тока короткого замыкания и диаметра электрода. $U_{xx} = 65$ в; флюс АН-348А.



Фиг. 39. Зависимость глубины проплавления от напряжения холостого хода и диаметра электрода. Флюс АН-348.



Фиг. 40. Типы соединений внахлестку при сварке электрозаклепками.



Фиг. 41. Электрозаклепка, выполненная под флюсом через отверстие в верхнем листе.

Режимы сварки электрозаклепками приведены в табл. 39, 40 и 41.

39. Режимы сварки электрозаклепками тонколистовых деталей электрической дугой с проплавлением без подачи электрода в зону дуги
($U_{xx} = 65$ в, флюс АН-348А)

Толщина свариваемых деталей в мм		Диаметр электрода в мм	Ток при режиме короткого замыкания в а
верхней	нижней		
0,63—0,8	3—6	4—5	600—800
1,0	2—3	5	600—700
1,0	3—6	5—6	700—900
1,5—2	2—3	6	800—1000
2	3—6	6	900—1100

40. Режимы сварки электрозаклепками с подачей электрода в зону дуги
($U_{xx} = 63$ в; флюс АН-348Ш)
Диаметр электрода 6 мм

Толщина свариваемых элементов в мм	Способ сварки	Ток в а	Величина подачи электрода в мм
3+3	С проплавлением верхнего элемента	1400	до 5
3+3		1500	5—10
4+4		1600	10—15
4+6		1600—1700	20—25
5+5		1800	20—25
5+6		1800—1900	30—35
6+6		1900—2000	35—40
6+8	В лунку	2000	40—50
8+8		2200—2300	50—60
8+8		2000	40—50
10+10		2200	50—60

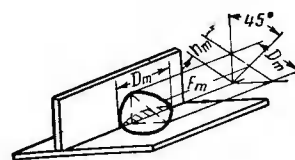
41. Режимы сварки электрозаклепками через отверстие в верхнем листе (ЦНИИС)

Толщина материала в мм	Диаметр электрода в мм	Сварочный ток в а
2	4	400—500
3		450—500
4		450—500
5—6		—
4	5	500—600
5+5		600—750
6+6		800—900
7+7	8	1200—1300

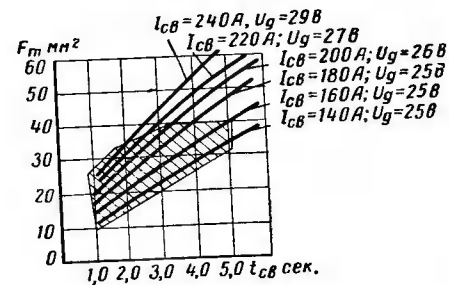
Сварка точкам

В некоторых случаях сварка электрозаклепками может быть успешно применена для выполнения точечных угловых швов. Форма и геометрические параметры точки углового шва представлены на фиг. 42. На фиг. 43 представлена зависимость площади расчетного сечения точечного углового шва F_m от сварочного тока и продолжительности сварки при использовании электродной проволоки диаметром 1,6 мм. Область удовлетворительного формирования шва выделена на фиг. 43 штриховкой.

Режимы сварки точечных угловых швов представлены в табл. 42 и 43.



Фиг. 42. Геометрические параметры точки углового шва: D_m — диаметр точки; h_m — высота; F_m — расчетное сечение точечного углового шва (заштрихованный участок).



Фиг. 43. Зависимость площади расчетного сечения точки от времени сварки и величины сварочного тока.

42. Режимы сварки точечных угловых швов без подачи электрода ($U_{xx} = 65$ в; флюс АН-248)

Диаметр электрода в мм	Ток в а при толщине свариваемых деталей в мм			
	3	4	5	6
2	400—500	400—500	—	—
3	450—550	450—550	450—550	—
4	550—650	550—650	550—650	—
5—6	—	700—800	700—800	700—800

43. Режимы сварки точечных угловых швов с подачей электродной проволоки

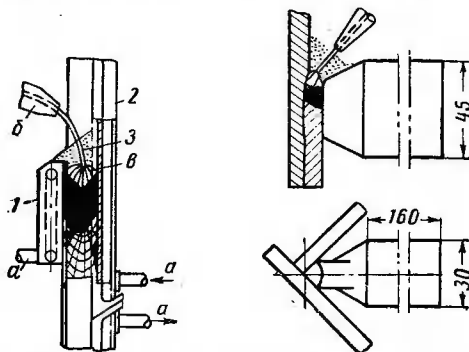
Минимальная толщина свариваемых элементов в мм	Площадь расчетного сечения точки в мм²	Режимы сварки		
		Ток в а	Напряжение дуги в в	Продолжительность сварки одной точки в сек.
2,0	20	160	25	1,5
2,5—3,0	25	180	26	2,0
	30			2,5
	35			3,0
	40			3,5

Продолжение табл. 43

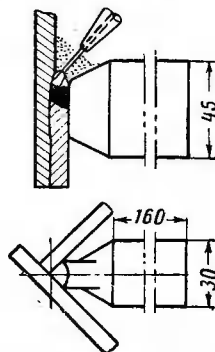
Минимальная толщина свариваемых элементов в мм	Площадь расчетного сечения точки в мм ²	Режимы сварки		
		Ток в а	Напряжение дуги в в	Продолжительность сварки одной точки в сек.
4,0—5,0	25	200	26	1,5
	30			2,0
	35			2,5
	40			3,0
	45			3,5

Сварка вертикальных швов

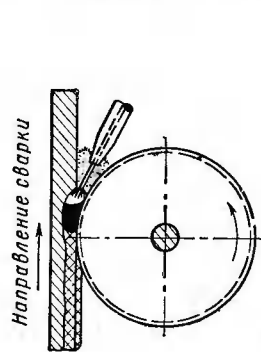
Вертикальная сварка металла толщиной до 20 мм (фиг. 44) производится дуговым способом без скоса кромок. Свариваемые листы собираются с зазором 8—12 мм. По одну сторону листов устанавливается перемещающийся охлаждае-



Фиг. 44. Сварка вертикальных стыковых швов: а — охлаждающая вода; б — муфштук; в — расплавленный флюс.



Фиг. 45. Схема сварки вертикальных угловых швов наклонным электродом с помощью массивного ползуна.



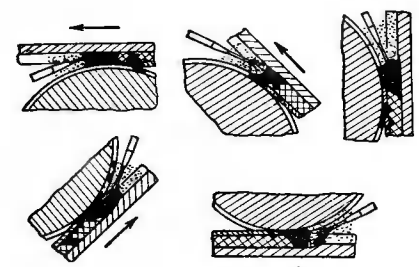
Фиг. 46. Схема сварки вертикальных швов с помощью диска.

мый водой медный ползун 1, по другую — плотно прилегающая к поверхности листов также охлаждаемая водой медная подкладка 2 или второй медный ползун. Ось электрода 3, направляемого в зазор, должна совпадать с осью шва. Возбуждение дуги производится на заходной планке, установленной в начале шва. Сварку вертикальных швов заканчивают на выводной планке для вывода за пределы изделия глубокой усадочной раковины, образующейся в конце шва.

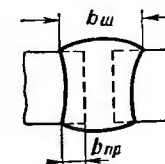
При сварке металла толщиной до 10 мм могут применяться формирующие устройства, не требующие искусственного охлаждения, ползуны, диски и т. п. (фиг. 45—47).

Увеличение сварочного тока уменьшает ширину провара, которая в сумме с зазором определяет ширину шва (фиг. 48). Возрастание напряжения дуги несколько увеличивает ширину шва.

Сварка вертикальных швов осуществляется постоянным током на обратной полярности. Режимы вертикальной сварки проволокой диаметром 3 мм приведены в табл. 44 и 45.



Фиг. 47. Продольные разрезы сварочной ванны при сварке с помощью диска в различных пространственных положениях.



Фиг. 48. Ширина шва b_w и ширина провара b_g при сварке вертикальных швов.

44. Режимы сварки вертикальных угловых швов малого сечения с применением массивных ползунов

(Институт электросварки им. акад. Е. О. Патона)

Диаметр электродной проволоки в мм	Ток в а	Скорость подачи электродной проволоки в м/час	Напряжение дуги в в	Скорость сварки в м/час при величине катета в мм		
				3—4	5—6	7—8
1,6	180—200	101	24—26	35—36	—	—
	230	160		—	20—22	—
2,0	220	101	26—28	—	15—16	9—10

45. Режимы дуговой сварки вертикальных стыковых швов с принудительным формированием проволокой диаметром 3 мм

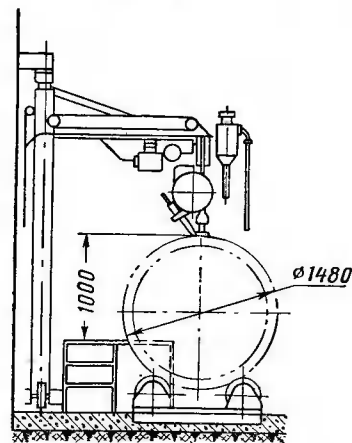
(Институт электросварки им. акад. Е. О. Патона)

Толщина свариваемых листов в мм	Скорость подачи проволоки в м/час	Напряжение дуги в в	Ток дуги в а	Зазор между кромками свариваемых листов в мм	Средняя скорость сварки в м/час
10	218	32—34	600	8±1	10,0
14				10±2	7,8
20		34—36			6,0

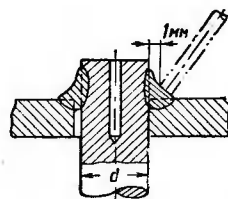
Сварка угловых швов кольцевых соединений наклонным электродом

Примером такого вида работ является автоматическая приварка штуцеров к барабанам и камерам котлов (фиг. 49), а также обварка котельных связей (фиг. 50).

Разработка ЦНИИТМАШем техники, технологии и оборудования для осуществления этого процесса обеспечила высокое качество швов и хорошие технико-экономические показатели.



Фиг. 49. Приварка штуцеров к барабанам котлов



Фиг. 50. Автоматическая обварка котельных связей.

Режим обварки связей под флюсом ОСЦ-45 (ЦНИИТМАШ)

Диаметр связей в мм	20
Время горения дуги на одну связь в мин.	0,107
Сварочный ток в а	600
Напряжение дуги в в	36—38
Скорость сварки в м/час	49
Диаметр электрода в мм	4
Скорость подачи электрода в мм/об	108
Расход проволоки на одну связь в мм	144

Режимы обварки штуцеров на аппаратах типа АОШ приведены в табл. 46.

46. Режимы обварки штуцеров на аппаратах типа АОШ. Диаметр электродной проволоки 4 мм. Флюс ОСЦ-45 обычной грануляции

(ЦНИИТМАШ)

Параметры режимов	Диаметр штуцера в мм	
	75	108
Сварочный ток в а	625—675	650—700
Напряжение при сварке в в	34—38	35—40
Скорость сварки в м/час	30	17
Расстояние конца электрода от штуцера в мм	2—3	3—4

Двухдуговая сварка и сварка последовательными дугами

Эти способы сварки широко применяются при изготовлении труб с продольными и спиральными швами.

Трубы диаметром до 500 мм, широко используемые в различных отраслях народного хозяйства для разных целей, выпускаются цельнотянутыми и сварными, диаметром свыше 500 мм — сварными. Трубы изготавливаются одношовными (диаметром до 720 мм), двухшовными (диаметром свыше 720 мм) и со спиральным швом.

На трубосварочном стане 500—700 (Институт электросварки им. Е. О. Патона), предназначенном для изготовления одношовных труб, односторонняя сварка шва производится в сварочной клетке специальным двухдуговым автоматом, позволяющим повысить скорость сварки в 3—6 раз по сравнению с односторонней сваркой. Флюсомедная подкладка, расположенная внутри свариваемой трубы, обеспечивает формирование валика с обратной стороны шва. В зависимости от толщины свариваемых кромок скорость сварки труб изменяется от 80 до 120 м/час. При сварке тремя последовательными дугами может быть достигнута скорость свыше 150 м/час.

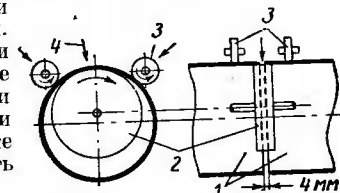
С целью уменьшения объема сварочных работ, выполняемых в монтажных условиях, Институтом электросварки им. Е. О. Патона предложено способ заводской сварки трубных секций длиной до 18 м. Схема односторонней сварки стыков труб без остающейся подкладки представлена на фиг. 51. При толщине стенок труб 8—12 мм скорость сварки составляет около 25 м/час.

Трубы со спиральным швом свариваются на стане, разработанном ЦНИИТМАШем. Изготовление труб осуществляется навивкой спирали из стальной ленты с последующей автоматической сваркой под флюсом образующегося спирального шва. Изменение угла навивки ленты дает возможность изготавливать трубы разных диаметров из ленты одной и той же ширины или трубы одного диаметра из лент различной ширины.

Непрерывность процесса изготовления труб со спиральным швом достигается сваркой в стык рулонов ленты. Черновая разрезка труб на плиты любой длины осуществляется летучим отрезным станком (дуговой резкой) в процессе непрерывной работы трубосварочного стана. Скорость односторонней сварки труб со спиральным швом составляет около 200 м/час.

В табл. 47 приведены режимы автоматической сварки труб со спиральным швом. Режимы автоматической электродуговой резки труб, установленные при проведении опытных работ, приведены в табл. 48.

Автоматическая сварка под флюсом при условии соблюдения определенных технологических и металлургических требований может быть успешно применена для изготовления труб из стали различных марок.



Фиг. 51. Принципиальная схема сварки кольцевых стыков трубных секций на медном ролике: 1 — свариваемые трубы; 2 — медный ролик; 3 — верхние нажимные ролики; 4 — электрод сварочного автомата.

47. Режим односторонней автоматической сварки под флюсом труб двухслойным спиральным швом. Диаметр 630 мм, толщина стенки 7 мм (ЦНИИТМАШ)

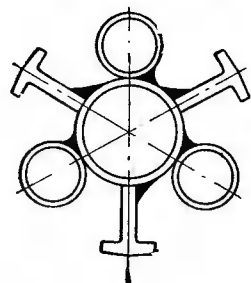
Диаметр электродной проволоки в мм	Ток в а	Напряжение дуги в в	Скорость сварки в м/час
4	1200—1300	30—32	180
5	1300—1400	40—45	180

48. Режимы автоматической электродуговой резки труб, установленные при проведении опытных работ (ЦНИИТМАШ)

Толщина стенки трубы в мм	Диаметр трубы в мм	Диаметр электродной проволоки в мм	Флюсы	Ток в а	Напряжение дуги в в	Скорость резки в м/час	Ширина реза в мм
3	150	6	Доменный шлак	2450	35	285	10—11
6	160	6		2000	30	200	10—12
6	160	4		1800	30	180	6—8
8	330	5	Мартеновский шлак ОСЦ-45	2000	35	150	8—9
10	215	6		2450	35	135	12—14

Сварка под флюсом с применением железного порошка

Сварка соединения, представленного на фиг. 52, требует применения такого технологического процесса, при котором количество наплавленного металла значительно превосходило бы количество расплавленного основного металла. Это достигается шихтованием применяемого для сварки флюса металлическим порошком в нужной пропорции от 5 до 70% по весу в зависимости от марки флюса, его грануляции и грануляции порошка. Введение металлического порошка во флюс повышает стабильность процесса сварки на больших скоростях и существенно уменьшает глубину подрезов.



Фиг. 52. Сварное соединение тонкостенной трубы с ребрами.

Для резкого уменьшения сепарации железного порошка смесь флюса с порошком должна готовиться непосредственно перед употреблением. Тщательно перемешанная готовая смесь засыпается в флюсовую бункер, из которого она подводится в зону дуги. Сварка этим способом швов большой протяженности (до 7 м) требует применения специальных копирующих устройств, обеспечивающих точное направление электродной проволоки по шву. При толщине стенки соединяемых труб 4,5 и 3 мм сварка осуществляется при следующем режиме: $I_{св} = 280 \div 300$ а, $U_0 = 25 \div 28$ в, $v_{св} = 72$ м/час, $d_0 = 3$ мм. Флюс ОСЦ-45 мелкий.

Наплавка

Возможность широкого регулирования долевого участия присадочного и основного металла в шве при автоматической сварке под флюсом приобретает особое значение при выполнении этим способом наплавочных работ.

Учитывая, что наплавочные работы выполняются главным образом для придания особых свойств поверхностям наплаваемых изделий за счет применяемых присадочных материалов, желательно, чтобы проплавление основного металла, и, следовательно, степень разбавления наплавленного металла были минимальными.

Наплавляемый металл должен обладать требуемыми свойствами, легко поддаваться обработке, не иметь дефектов в виде трещин, пор, шлаковых включений и др. Толщина наплаваемого слоя должна устанавливаться с учетом припуска на последующую обработку.

При выполнении наплавочных работ находят применение способы автоматической сварки под флюсом, обеспечивающие максимальную производительность по весу наплаваемого металла.

Наплавка может производиться одной дугой, двумя дугами (увеличение количества наплаваемого металла почти в 2 раза), независимой дугой, горячей между двумя электродами (изменение угла наклона электродов и расстояния между дугой и поверхностью изделия влияет на глубину проплавления основного металла); трехфазной дугой (глубина проплавления регулируется изменением тока в дуге, горячей между электродами и между электродами и изделием); а также за счет изменения расстояния между электродами и изделием); комбинированной дугой (одна из дуг питается постоянным током).

Способы наплавки двумя и большим количеством дуг наряду со значительным повышением коэффициента наплавки ($20-30$ г/а-ч) дают возможность за счет сочетания проволок различного состава обеспечивать требуемое легирование наплаваемого металла.

Недостатком трех последних способов наплавки является то, что уже небольшое изменение расстояния между электродами и поверхностью изделия вызывает изменение доли основного металла в наплавке. Кроме того, наплавка этими способами несколько дороже вследствие повышенного расхода флюса.

Для выполнения наплавочных работ применяются различные марки флюсов и проволок (обычных и порошковых), а также лент, обеспечивающих требуемое легирование наплаваемого металла.

Автоматическая наплавка под флюсом широко применяется при восстановлении валков прокатных станов, бандажей колес подвижного состава, бурового инструмента, режущего инструмента и др. Более подробные сведения о наплавке приводятся в специальной главе.

Автоматическая сварка кольцевых швов

Форма подготовки кромок стыков цилиндрических изделий диаметром от 150 до 425 мм (например, камеры высокого давления котлоагрегатов) приведена на фиг. 53.

Для прихватки собранного стыка применяются электроды типа Э-42 или Э-42А.

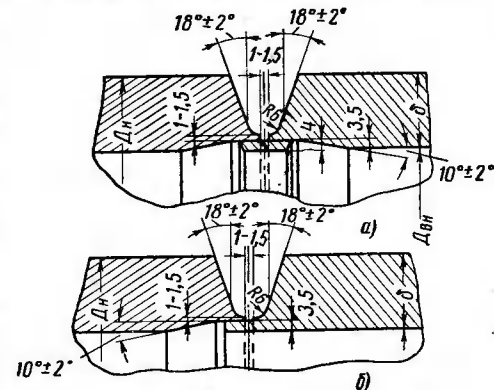
Поддержание постоянства вылета электрода в процессе заполнения разделки обеспечивается периодическим подъемом мундштука головки. Заполнение всей разделки шва выполняется без остановки автомата. Очистка каждого слоя шва от шлака осуществляется на ходу.

Начиная с третьего до четвертого слоя, электродная проволока попеременно смещается влево и вправо от оси шва на 3—4 мм для равномерного заполнения разделки.

Режим сварки кольцевых швов малого диаметра приведен в табл. 49.

При прокладке магистральных и заводских трубопроводов широко применяются различные способы сварки под флюсом.

Сварка стыков труб из малоуглеродистой и низколегированной стали осуществляется с использованием флюсов ОСЦ-45 и АН-348А.



Фиг. 53. Форма подготовки кромок при автоматической сварке под флюсом стыков труб диаметром 150—425 мм: а — сварка с подкладным кольцом; б — сварка в замок.

49. Режим сварки кольцевых швов диаметром 150—425 мм проволокой диаметром 2 мм.
Скорость сварки 20 м/час
(Подольский машиностроительный завод им. Орджоникидзе)

Скорость подачи электродной проволоки в м/час	Ток в а	Напряжение дуги в в
126	240—275	32—34
156	275—320	32—34
306	450—480	34—38
378	500—540	38—40

Режимы автоматической сварки поворотных стыков труб одной электродной проволокой на постоянном токе обратной полярности приведены в табл. 50, двумя проволоками — в табл. 51.

50. Автоматическая сварка поворотных стыков труб одной электродной проволокой на постоянном токе обратной полярности
(флюсы ОСЦ-45 и АН-348А) (ВНИИСТ)

Диаметр труб в мм	Толщина стенки в мм	Угол скоса кромок в град.	Диаметр электродной проволоки в мм	Режим сварки					
				Напряжение дуги в в	Ток в а	Скорость подачи проволоки в м/час	Скорость сварки в м/час	Вылет электрода в мм	Число слоев
529	8	30—35	2	35—40	450—500	335—367	30—35	35—40	2
		30—35	4	28—32	500—600	70—80	18—30	30—40	2
		15—20	2	34—38	400—500	335—367	30—35	35—40	1
508	10—11	30—35	2	28—32	500—600	70—80	18—30	35—40	2
				40—45	550—600	378—400	40—45	50—55	2
720	9	15—20	2	34—38	500—600	335—367	30—35	35—40	1

51. Автоматическая сварка поворотных стыков труб двумя электродными проволоками, расположенными вдоль оси шва на расстоянии 4—6 мм друг от друга.
Диаметр проволоки равен 6 мм, флюсы АН-348А и ОСЦ-45 (ВНИИСТ)

Диаметр труб в мм	Толщина стенки в мм	Угол скоса кромок в град.	Режим сварки				
			Напряжение дуги в в	Ток в а	Скорость подачи проволоки в м/час	Скорость сварки в м/час	Число слоев
529	8	30—35	36—38	700—800	240	45—55	2
720	9						

Режим сварки под флюсом первого слоя шва поворотных стыков труб в потолочном положении приведен в табл. 52. Зазор между кромками стыка 1,0—2,5 мм. Притупление кромок не выше 4 мм.

При этом способе сварки формирование расплавленного металла осуществляется флюсом, подаваемым в зону дуги при помощи шнека. Для этого при сварке первого слоя шва в потолочном положении применяется специальная

сварочная головка со шнековой подачей флюса, причем разделка кромок заполняется наплавленным металлом на 30—50%. Второй и последующие слои шва накладывают в нижнем положении обычной сварочной головкой.

52. Режим сварки первого слоя стыкового шва труб в потолочном положении проволокой диаметром 2 мм (ВНИИСТ)

Диаметр труб в мм	Толщина стенки в мм	Скорость сварки в м/час	Скорость подачи проволоки в м/час	Ток в а	Напря- жение дуги в в	Смещение электрода в направ- лении враще- ния трубы в мм	Скорость враще- ния шне- ка в об/мин
114	4	45 80	126 198	225—250 320—330	35—37	5—8	229
	6	36 71	126 198	225—250 320—330			
168	8	39 87	170 328	250—270 460—480		8—10	
219	10	20 76	93,5 328	200—225 460—480	37—40	8—12	
273							
529	8	39 87	170 328	250—270 460—480	35—37	8—10	229

Сварка с намагничивающимся флюсом

Полуавтоматическая дуговая сварка с намагничивающимся флюсом основана на способности флюса этого типа намагничиваться и притягиваться к головке проволоки при прохождении по ней сварочного тока. При этом вокруг конца проволоки создается покрытие из порошкообразного флюса. Указанный способ применяется в тех случаях, когда необходимо осуществлять сварку под флюсом открытой дугой с целью наблюдения и контролирования процесса сварки.

Сварка с намагничивающимся флюсом производится специальным держателем или держателем ДШ-5, оснащенным специальной магнитной надетавкой. Количество подаваемого флюса регулируется подбором диаметра отверстия калибрующей втулки.

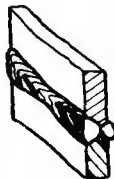
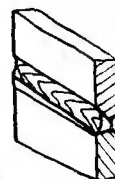
Примерный режим сварки стали Ст.3 толщиной 12 мм с V-образной разделкой кромок на постоянном токе обратной полярности проволокой диаметром 2 мм при калибрующем отверстии втулки 6 мм — следующий: сварочный ток 300—320 а; напряжение на дуге 28—30 в; скорость сварки 20—22 м/час.

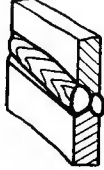
ДЕФЕКТЫ В ШВАХ, ВЫПОЛНЕННЫХ ПОД ФЛЮСОМ

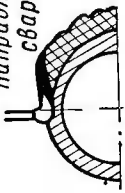
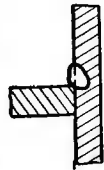
В сварных швах, выполненных под флюсом, встречаются дефекты, вызываемые отклонением от заданных режимов сварки, некондиционностью электродной проволоки, основного материала и флюса, а также другими причинами. В табл. 53 приведены некоторые характерные дефекты при сварке под флюсом, а также возможные методы их выявления и устранения. Рекомендации, приведенные в табл. 53, относятся к сварке малоуглеродистых сталей. При устранении дефектов сварки легированных сталей необходимо учитывать их особые свойства и характер термообработки.

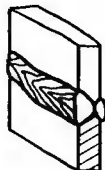
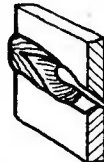
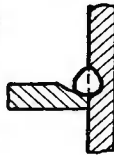
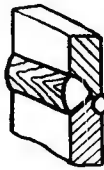
58. Дефекты сварных швов, выполненных под флюсом

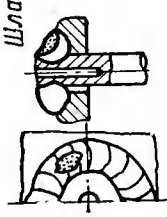
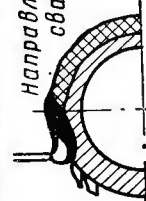
Наименование дефекта	Причина возникновения дефекта	Способ обнаружения	Способы устранения дефекта
Непровар 	Несоответствие режима сварки толщине металла и выбранной разделке кромок	Засверловка, просвечивание рентгеновскими или гамма-лучами, макроисследование	Вырубить дефектные места и заварить вновь на автомате или вручную
Местный протек металла с ослаблением сечения шва 	Чрезмерный зазор Велик ток	Внешний осмотр	Зачистить протек; ослабленные места заварить вновь на автомате или вручную
Подрез кромок 	Велик ток Неправильное положение электрода Низкое напряжение	То же	Очистить места подрезов от шлака и подварить вручную
Трещины, ориентированные относительно направления кристаллизации 	Повышенное содержание S и C в основном металле и электродной проволоке	Внешний осмотр, засверловка, макроисследование, просвечивание рентгеновскими или гамма-лучами	Удалить трещину на всем ее протяжении; заварить шов на автомате или вручную

Наименование дефекта	Причина возникновения дефекта	Способ обнаружения	Способы устранения дефекта
Неравномерное заполнение шва 	Неравномерное движение электрода, или неравномерная подача электродов	Внешний осмотр	Дополнительная подварка шва
Незаполнение разделки металла 	Мал сварочный ток Увеличенные размеры разделки кромок Чрезмерная скорость сварки Слишком большое смещение электрода при сварке кольцевых швов	То же	Очистить шов от шлака и перекрыть его на автомате или вручную Предварительно просвечиванием, засверловкой или по макрошлифу необходимо убедиться в достаточной глубине провара
Гребень и ослабление шва по краям при сварке кольцевого шва 	Несоответствие тока и скорости сварки принятой разделке Низкое напряжение Малое смещение электрода	»	Очистить шов от шлака, срубить гребень и перекрыть шов на автомате или вручную
Гребень без ослабления шва по краям при сварке кольцевого шва 	Низкое напряжение на дуге Малое смещение электрода	»	Очистить шов от шлака и срубить гребень

Наименование дефекта	Причина возникновения дефекта	Способ обнаружения	Способы устранения дефекта
Шлаковый канал на концах швов 	Узкая разделка Большая величина смещения при сварке кольцевых швов малого диаметра	Засверловка, просвечивание рентгеновскими или гамма-лучами	Вырубить дефектные места, расчистить шлаковый канал и перекрыть шов на автомате или вручную
Чрезмерное усиление шва 	Недостаточное сечение разделки Велик ток Малая скорость сварки Низкое напряжение на дуге	Внешний осмотр	Зачистить усиление шва пневматическим зубилом. Просвечиванием, засверловкой или по макрошлифу убедиться в достаточной глубине провара
Газовые поры, свищи, 	Наличие ржавчины в зоне сварки (на основном или при-сачном металле) Влажный флюс Некондиционный флюс	Внешний осмотр, засверловка, просвечивание рентгеновскими или гамма-лучами	Вырубить места скопления пор, заварить их вручную или на автомате
Непровар одной кромки соединения 	Установка электрода не по центру разделки Короткая дуга при толщине свыше 16 мм	Внешний осмотр	Очистить шов от шлака Просверливанием, засверловкой или по макрошлифу убедиться в достаточной глубине провара; заварить непроварную разделку на автомате или вручную

Наименование дефекта	Причина возникновения дефекта	Способ обнаружения	Способы устранения дефекта
Натеки при сварке кольцевых швов 	Недостаточное смещение электрода	Внешний осмотр	Зачистить шов, вырубить натеки, перенарить шов при нормальном смещении электрода
Натеки при сварке продольных швов 	Чрезмерный наклон изделия в сторону, обратную направлению сварки	То же	Убедиться в достаточной глубине провара, зачистить шов, вырубить натеки и перенарить шов при горизонтальном положении изделия
Одностороннее расположение шва при сварке тауга 	Неправильная установка электрода		Зачистить шов от шлака и проварить, уложив его в угол на вертикальную стенку и ранее заваренный шов

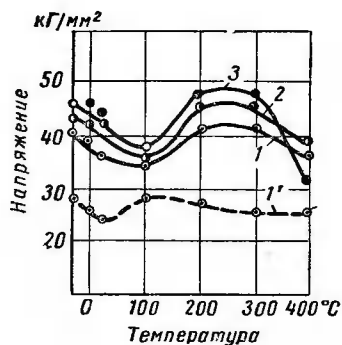
Наименование дефекта	Причина возникновения дефекта	Способ обнаружения	Способы устранения дефекта
Местный непровар кромок 	Местное искривление проволоки	Внешний осмотр	Расчистить место дефекта и подварить вручную
Прожог 	Большой ток Малое притупление Чрезмерный зазор Внезапное замедление или остановка автомата	То же	То же
Подрез вертикальной стенки при сварке втавр 	Неправильная установка электрода Катет шва больше 10 мм при однослойной сварке	•	Очистить места подрезов от шлака и подварить вручную
Непровар 	Неправильная установка электрода	Засверловка, просвечивание рентгеновскими или гамма-лучами, макроскопирование	Вырубить дефектные места и заварить вновь на автомате или вручную

Наименование дефекта	Причина возникновения дефекта	Способ обнаружения	Способы устранения дефекта
Глубокая вмятина, заполненная шлаком, при обварке связи 	Вмятие отгарком электрода (при его извлечении) еще неза твердевшего металла шва	Внешний осмотр	Вырубить дефект и заварить вручную
Стекание металла и флюса 	Чрезмерное смещение электрода с «зенита»	То же	Зачистить шов и переварить при нормальном смещении электрода
Непровар в средней части стыка 	Смещение электрода	Ультразвуковая дефектоскопия	Вырубить дефект и заварить вновь на автомате или вручную

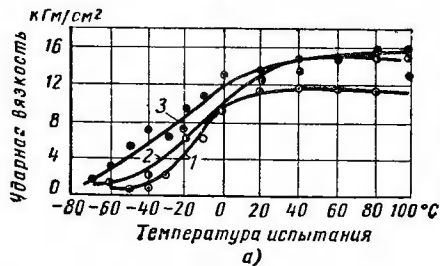
МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СВАРНЫХ ШВОВ ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКЕ ПОД ФЛЮСОМ

Малоуглеродистые стали

Широкое внедрение автоматической сварки под флюсом при изготовлении конструкций из малоуглеродистой стали базируется на большом количестве исследований механических свойств металла шва (Институт электросварки



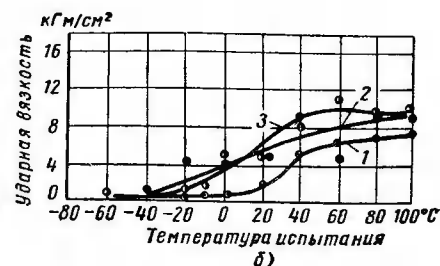
Фиг. 54. Результаты испытания плоских поперечных образцов на разрыв (ЦНИИТМАШ): 1 — предел прочности основного металла (МСт.2); 1' — предел текучести основного металла (МСт.2); 2 — предел прочности шва; флюс ОСЦ-45, малоуглеродистая проволока; 3 — предел прочности шва; флюс АН-1, кремнемарганцовистая проволока.



Фиг. 56. Ударная вязкость металла шва и основного металла при различных температурах а — в состоянии после сварки (ЦНИИТМАШ); б — после наклепа (10%) и отпуска (250°С), (ЦНИИТМАШ); 1 — основной металл (МСт.2); 2 — металл шва; флюс АН-1, кремнемарганцовистая проволока; 3 — металл шва; флюс ОСЦ-45, малоуглеродистая проволока.



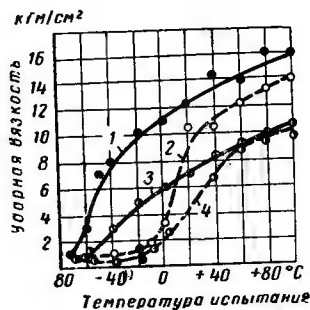
Фиг. 55. Результаты испытания габаритных образцов (ЦНИИТМАШ): 1 — основной металл (МСт.2); 2 — металл шва; флюс АН-1, кремнемарганцовистая проволока; 3 — металл шва, флюс ОСЦ-45, малоуглеродистая проволока.



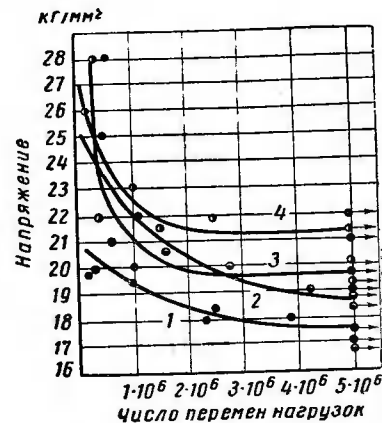
Фиг. 56. Ударная вязкость металла шва и основного металла при различных температурах а — в состоянии после сварки (ЦНИИТМАШ); б — после наклепа (10%) и отпуска (250°С), (ЦНИИТМАШ); 1 — основной металл (МСт.2); 2 — металл шва; флюс АН-1, кремнемарганцовистая проволока; 3 — металл шва; флюс ОСЦ-45, малоуглеродистая проволока.

им. Е. О. Патона, ЦНИИТМАШ, ЦНИИ МПС и др.). На фиг. 54—58 приведены результаты исследований, проведенных в ЦНИИТМАШе.

В табл. 54 приведены свойства металла шва и сварных соединений из стали МСт.3 и МСт.4.



Фиг. 57. Ударная вязкость основного металла (спокойная сталь МСт.3) и металла шва, выполненного под флюсом ОСЦ-45, при различных температурах (ЦНИИТМАШ): 1 — металл шва после отпуска 650°С; 2 — то же после наклепа (10%) и отпуска (250°); 3 — основной металл в состоянии поставки; 4 — то же — после наклепа (10%) и отпуска (250°).



Фиг. 58. Диаграмма усталости основного металла, сварного соединения и металла шва (ЦНИИТМАШ): 1 — основной металл (сталь МСт.2); 2 — сварное соединение; флюс АН-1, кремнемарганцовистая проволока; 3 — металл шва; флюс АН-1, кремнемарганцовистая проволока; 4 — металл шва; флюс ОСЦ-45, малоуглеродистая проволока.

54. Механические свойства сварного шва, выполненного на сталях МСт.3 и МСт.4, в состоянии после сварки. Флюс ОСЦ-45; проволока малоуглеродистая (ЦНИИТМАШ)

Химический состав металла шва в %	σ_b в кг/мм²	σ_T в кг/мм²	δ_b в %	a_n в кг/мм²	Угол загиба в град.
МСт.3 0,10—0,13 C 0,15—0,30 Si 0,65—0,90 Mn до 0,03 S до 0,05 P	44—50	25—35	25—30	10—14	—
МСт.4 0,14—0,15 C 0,29—0,32 Si 0,66—0,70 Mn 0,022—0,025 S 0,043 P	50,9—51,9	34,1—36,6	26,7—29,3	8,1—9,6	70—129 *

* Трещины в переходной зоне.

В табл. 55 приведены данные об испытании металла шва и сварных соединений из котельной стали толщиной 60 мм, выполненных мощными дугами при однопроводной сварке; в табл. 56 — соединений из стали толщиной 70 мм, выполненных дугами ограниченной мощности при многопроводной сварке.

55. Механические свойства металла шва на спокной стали МСт.3 толщиной 60 мм.
Сварка мощными дугами под флюсом ФЦ-4: диаметр электродной проволоки 8 мм
(ЦНИИТМАШ)

Вид термообработки	σ_b в кг/мм ²	σ_T в кг/мм ²	δ_5 в %	ψ в %	a_n в кгм/см ²	Угол загиба в град.
Состояние после сварки	46,0—47,8 46,6	25,3—30,1 26,7	26,7—33,0 30,6	58,5—63,5 61,6	8,4—12,6 11,1	180—180 180
Отпуск 650° . . .	42,8—44,8 44,1	26,6—27,9 27,1	30,0—36,3 32,1	64,0—69,8 66,7	11,2—12,8 12,2	180—180 180
Нормализация 930°	44,8—46,5 45,5	26,8—30,8 28,0	31,3—33,0 32,3	66,0—66,0 66,0	12,7—14,4 14,0	—
Примечание. В числителе даны крайние значения, в знаменателе — средние.						

56. Механические свойства металла многослойного шва на стали МСт.3 толщиной 70 мм;
флюс ФЦ-4: диаметр электродной проволоки 10 мм
(ЦНИИТМАШ)

Вид термообработки	σ_b в кг/мм ²	σ_T в кг/мм ²	δ_5 в %	ψ в %	a_n в кгм/см ²	Угол загиба в град.
Состояние после сварки	45,2—50,2 47,4	30,5—34,8 32,7	21,7—34,8 32,7	53,0—64,0 58,4	8,5—12,5 10,6	—
Отпуск 650° . . .	42,2—45,6 44,2	29,3—31,4 30,4	25,2—32,7 28,6	67,9—69,0 68,8	7,8—13,6 11,5	180—180 180
Нормализация 930°	39,0—40,0 39,5	23,0—26,4 24,7	32,0—33,0 32,5	64,8—67,9 66,3	13,9—17,2 15,5	180—180 180
Примечание. В числителе даны крайние значения, в знаменателе — средние.						

При сварке толстостенных конструкций рекомендуется применять предварительный подогрев до температуры 100—200°. Кроме того, толстостенные конструкции следует подвергать высокому отпуску для снятия собственных напряжений или нормализации для снятия напряжений и создания более однородной структуры в сварном соединении в целом.

Низколегированные стали

В настоящее время успешно свариваются некоторые марки низколегированных сталей. Режимы сварки этих сталей практически не отличаются от нормальных режимов автоматической сварки малоуглеродистой стали.

В табл. 57 и 58 приведены механические свойства швов, выполненных на некоторых из этих сталей. Автоматическая сварка под флюсом применяется и для некоторых термически обрабатываемых конструкционных низколегированных сталей.

57. Механические свойства металла шва на стали 15М толщиной 70 мм после нормализации (920°) и отпуска (650—680°). Сварка мощными дугами под флюсом ФЦ-4.
Электродная проволока из стали 15М, диаметр проволоки 10 мм
(ЦНИИТМАШ)

Температура испытания в °С	σ_b в кг/мм ²	σ_T в кг/мм ²	δ_5 в %	ψ в %	a_n в кгм/см ²	Угол загиба в град.
20	50,0—51,8 51,1	31,4—32,1 31,8	23,3—29,7 26,3	64,0—66,0 65,3	8,6—12,7 10,9	180—180 180
350	60,0—60,9 60,5	26,1—26,7 26,4	20,0—21,7 20,8	45,9—48,6 47,3	8,1—9,9 8,8	—
510	44,0—44,9 44,4	21,6—22,0 21,7	19,7—22,3 21,2	55,6—59,9 58,1	5,0—5,6 5,3	—
Требования ТУ к стали 15М:						
20	45	28	18	—	7,0	—
350	—	22	—	—	—	—
Примечание. В числителе даны крайние значения, в знаменателе — средние.						

В табл. 59 приведены данные о свойствах швов на стали 30ХГСА (0,3% С; 1,0% Cr; 1% Mn; 1% Si) после закалки с температуры 880° и отпуска при температуре 500—550°.

В табл. 60 приведены данные, характеризующие механические свойства сварных соединений из стали НЛ2, выполненных автоматической сваркой под флюсом ОСЦ-45, малоуглеродистой проволокой.

Механические свойства металла шва на стали 30ХГСА в состоянии поставки (изотермический отжиг) при использовании опытной проволоки 15ХГСА под различными флюсами приведены в табл. 61 и 62.

Состав опытной проволоки марки 15ХГСА по данным контрольного анализа:

Элементы	C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P
Содержание в %	0,40	1,08	1,23	0,94	1,75	0,006	0,017

58. Механические свойства металла шва* на стали 15М толщиной 70 мм. Многопроходная автоматическая сварка дугами ограниченной мощности под флюсами ФЦ-3, ФЦ-6 и ОСЦ-45А. Электродная проволока из стали 15М диаметром 8 мм

Термическая обработка	Температура испытания в °С	Флюс	σ_B в кг/мм ²	σ_T в кг/мм ²	δ_5 в %	ψ в %	α_H в кг/мм ²
Отпуск (650—680°)	20	ФЦ-3	68,1	51,3	20,6	60,3	14,1
		ФЦ-6	53,8	37,3	28,6	66,3	9,9
		ОСЦ-45А	55,4	40,2	22,0	70,7	10,8
	350	ФЦ-3	59,4	39,9	19,2	55,6	12,9
		ФЦ-6	59,7	32,3	24,7	59,5	12,0
		ОСЦ-45А	56,4	33,0	21,8	53,6	13,3
	510	ФЦ-3	49,9	37,4	23,1	60,1	8,2
		ФЦ-6	47,7	30,5	23,3	55,0	6,8
		ОСЦ-45А	49,5	34,1	19,6	56,3	7,4
Нормализация (920°) и отпуск (650—680°)	20	ФЦ-3	52,6	31,8	27,6	65,9	12,7
		ФЦ-6	52,7	26,6	29,2	56,6	12,6
		ОСЦ-45А	57,1	27,8	24,5	57,3	12,1
	350	ФЦ-3	58,1	23,6	24,5	50,5	13,7
		ФЦ-6	61,1	26,6	24,5	46,5	14,8
		ОСЦ-45А	68,3	31,8	23,1	47,3	14,5
	510	ФЦ-3	49,8	22,2	29,0	60,7	7,0
		ФЦ-6	49,1	22,3	24,2	58,0	7,9
		ОСЦ-45А	52,1	25,7	25,0	62,3	8,4
Требования ТУ к стали 15М	20	—	45	28	18	—	7
	350	—	—	22	—	—	—

* Средние значения.

59. Механические свойства металла швов, выполненных под флюсом на стали 30ХГСА, после закалки и отпуска, в сопоставлении со свойствами швов, выполненных атомно-водородной сваркой, и свойствами основного металла

Вариант сварки	σ_B в кг/мм ²	σ_T в кг/мм ²	δ_5 в %	ψ в %	α_H в кг/мм ²
Флюс АН-1, проволока 20ХМА	103,1	85,4	10,9	43,6	4,6
Флюс ОСЦ-45, проволока 20ХМА	102,5	92,1	15,5	52,5	3,95
Флюс ОСЦ-45, малоуглеродистая проволока Атомно-водородная сварка, проволока 20ХМА	69,8	67,4	12,0	39,6	5,5
Основной металл . .	95,5	79,7	7,5	22,7	5,47
	128,9	121,3	8,4	49,4	4,15

60. Механические свойства сварных соединений из стали НЛ2 (ЦИИИТМАШ)

σ_B в кг/мм ²	σ_T в кг/мм ²	δ_5 в %	ψ в %	α_H в кг/мм ²
62,9	42,2	22,2	55,8	9,3

61. Механические свойства металла швов на стали 30ХГСА (после термической обработки) (Моск. вечерний машиностроительный институт)

Марка флюса	σ_B в кг/мм ²	δ_5 в %	ψ в %	α_H в кг/мм ²
АН-348А	109,5—113,8	6,4—8,0	50,8—51,0	3,8—5,0
	112,4	7,1	50,9	4,6
АН-26	111,0—116,3	5,2—6,0	52,0—53,2	5,3—7,1
	112,9	5,6	52,6	5,2
ФЦЛ-2	115,0—117,2	6,4—8,0	53,6—55,2	5,8—7,2
	116,3	6,8	54,1	6,3
ФЦК-М*	110,1—118,1	9,6—10,0	50,0—50,8	9,4—10,6
	112,9	9,7	50,5	9,9

* Фтористые соли с добавкой Al_2O_3 .

62. Ударная вязкость сварного шва, выполненного на стали 30ХГСА под флюсом ФЦКМ (изотермическая закалка, надрез по оси шва) (Моск. вечерний машиностроительный институт)

Температура испытания в °С	Ударная вязкость металла шва в кг/мм ²
+20	8,6—12,8
	10,4
	4,4—7,1
—78	5,6

ЛИТЕРАТУРА

- Блитштейн А. З., Сварка электрозаклепками, Машгиз, Москва, 1955.
- Давыденко И. Д., Автоматическая сварка в котлостроении, Машгиз, 1951.
- Дудко Д. А., Шланговая полуавтоматическая сварка под флюсом, Машгиз, 1952.
- Егоров С. А., Способ соединения изделий электрозаклепками, «Автогенное дело» № 10, 1950.
- Журнал «Сварочное производство» 1955—1960.
- Журнал «Автоматическая сварка» 1954—1960.
- Институт электросварки им. Е. О. Патона АН УССР «Автоматическая электродуговая сварка» под ред. акад. Е. О. Патона, Машгиз, Киев — Москва, 1953.
- Каховский Н. И., Способ сварки электрозаклепками под флюсом с подачей электрода «Автогенное дело» № 10, 1952.

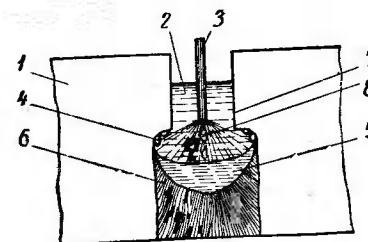
9. Казимиров А. А., Автоматическая сварка в речном судостроении. Юбилейный сборник, посвященный Е. О. Патону, изд. АН УССР, 1951.
10. Дейкин И. М., Чернашкин В. Г., Низколегированные строительные стали, Металлургиздат, М. 1952.
11. Любавский К. В., Автоматическая сварка под флюсом. Справочные материалы для сварщиков под ред. Николаева Г. А., Машгиз, 1951 г.
12. Любавский К. В., Бадьянов Б. Н., Чепелюгин Г. Ф., Влияние флюса на свойства шва при сварке высокопрочных сталей, «Сварочное производство» № 2, 1959.
13. Любавский К. В., Свойства швов, выполненных под флюсом. Сборник научно-исследовательских работ по сварке, ЦНИИТМАШ, 1943.
14. Руководство по электродуговой сварке под флюсом, под редакцией Б. Е. Патона, Машгиз, 1957.
15. Синадский С. Е., Соколова А. М., Технология и аппаратура для автоматической сварки штудеров. Периодическая информация ИТЭИН. Тема № 20, К—55—68, М. 1955.
16. Синадский С. Е., Автоматическая сварка под флюсом, смешанным с металлическим порошком. Труды ЦНИИТМАШ книга 60 «Исследования по технологии сварки», Машгиз 1953, стр. 92—103.
17. Фалькевич А. С., Сварка магистральных и заводских трубопроводов, Гостехиздат, 1958.
18. Филиппенко С. В., Загурный С. Т., Автоматическая сварка под слоем флюса стыков труб диаметром 150—425 мм. В кн. «Новое в советской и зарубежной технике». Сварочное производство. Вып. 43—7. Москва, 1957, стр. 44—56.
19. Шраерман М. Р., Юнгельсон Б. Г., Петелина С. Б., Полуавтоматическая сварка тонколистовых конструкций точечными угловыми швами «Автогенное дело» № 9, 1952.
20. Юнгер С. В., Автоматическая сварка толстолистовой нефтеаппаратуры без скоса кромок, «Автогенное дело» № 1, 1953.

ГЛАВА VI

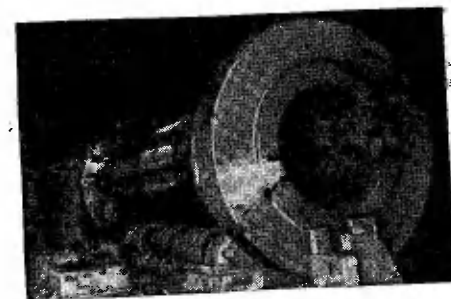
ЭЛЕКТРОШЛАКОВАЯ СВАРКА

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Электрошлаковая сварка — процесс образования неразъемных соединений, при котором расплавление основного и присадочного металла осуществляется за счет тепла, выделяемого при прохождении электрического тока через расплавленный флюс. При этом слой расплавленного флюса служит защитой от вредного воздействия окружающей среды и является средством металлургического воздействия на расплавленный металл.



Фиг. 1. Принципиальная схема процесса электрошлаковой сварки: 1 — свариваемая деталь; 2 — шлаковая ванна; 3 — электродная проволока; 4 — расплавляемый основной металл; 5 — металлическая ванна; 6 — сварной шов; 7 — свариваемая кромка; 8 — капли электродного металла.



Фиг. 2. Электрошлаковая сварка кольцевого шва на валу мощной гидротурбины.

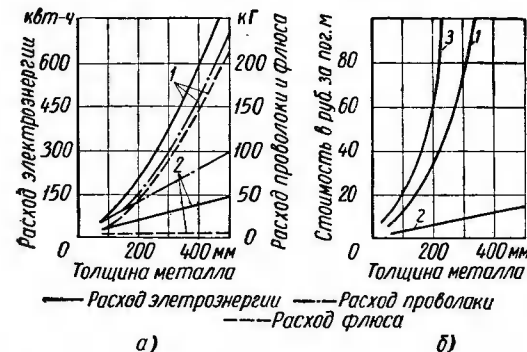
На фиг. 1 представлена принципиальная схема процесса электрошлаковой сварки, на фиг. 2 — пример ее производственного применения.

Способ электрошлаковой сварки был разработан Институтом электросварки имени Е. О. Патона АН УССР в творческом содружестве с передовыми заводами тяжелого машиностроения.

ПРЕИМУЩЕСТВА И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКИ

Электрошлаковая сварка является высокопроизводительным процессом, позволяющим за один проход сваривать металл практически неограниченной толщины. Ее применение, как правило, сокращает трудоемкость и продолжительность цикла производства крупногабаритных тяжелых конструкций из

металла большой толщины. Сварка производится без скоса кромок. Детали с прямыми кромками (обычно после газовой резки) собираются под сварку с зазором до 30—32 мм.



Фиг. 3. Сравнительные графики расхода электроэнергии, проволоки, флюса и стоимости при электрошлаковой и многослойной сварке металла большой толщины: а — сравнение расхода материалов и электроэнергии; б — сравнение стоимости сварки 1 пог. м шва (в стоимость включена вся прямая зарплата по сварке без учета сборки и установки сварочного аппарата; начисления на зарплату и стоимость материалов без начислений); 1 — автоматическая многослойная сварка; 2 — электрошлаковая сварка; 3 — ручная.

при электрошлаковой сварке обычно меньше, чем при электродуговой. Помимо сварки, электрошлаковый процесс применяется также для наплавочных работ и при переплаве легированной стали.

ОСНОВЫ ПРОЦЕССА

Количество тепла, выделяемое в сварочной ванне, определяется по формуле

$$Q = 0,24 UI \text{ кал/сек},$$

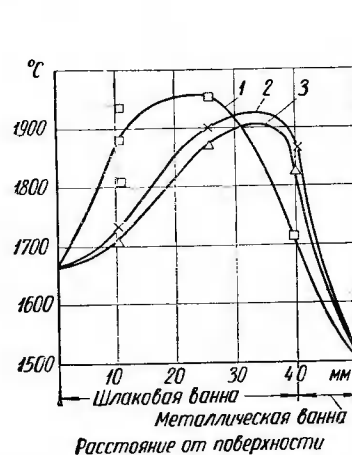
где U — напряжение в в;
 I — сварочный ток в а.

Основным источником нагрева является ограниченный объем сильно перегретого шлака, примыкающего к концу электрода. Температура шлака в этом объеме превышает 2000° С.

Расположение конца электрода в шлаковой ванне, глубина и форма металлической ванны и распределение температуры в шлаковой ванне зависят от режима сварки и свойств флюса. С увеличением сварочного тока и уменьшением напряжения глубина погружения электрода увеличивается. Распределение температуры в шлаковой ванне в зависимости от некоторых параметров режима сварки представлено на фиг. 4.

Плавнение электродной проволоки при электрошлаковой сварке происходит главным образом за счет тепла, выделяемого в шлаковой ванне. Как и при дуговой сварке, вылет электрода предварительно нагревается сварочным током еще до попадания электрода в шлаковую ванну. Характер нагрева электрода при дуговой и электрошлаковой сварке схематически изображен на фиг. 5. При увеличении вылета происходит более сильный предварительный нагрев электрода, благодаря чему создается возможность повышения скорости плавления электрода и скорости сварки.

По сравнению со сварочной дугой шлаковая ванна является менее концентрированным источником тепла, поэтому при электрошлаковой сварке при прочих равных условиях имеет место более медленный нагрев и охлаждение основного металла.



Фиг. 4. Распределение температуры в шлаковой ванне: 1 — $U = 55$ в; $I = 500$ а; 2 — $U = 50$ в; $I = 500$ а (замеры на расстоянии 15—20 мм от полазана и 3—4 мм от оси электрода); 3 — $U = 50$ в; $I = 500$ а (замеры в средней части по толщине образца на расстоянии 3—4 мм от оси электрода).



Фиг. 5. Характер нагрева электрода при дуговой и электрошлаковой сварке

В табл. 1 приведены параметры режимов сварки, а в табл. 2 — показатели, характеризующие термические циклы электрошлаковой и дуговой сварки.

На фиг. 6 и 7 показаны основные схемы процессов и виды соединений при электрошлаковой сварке.

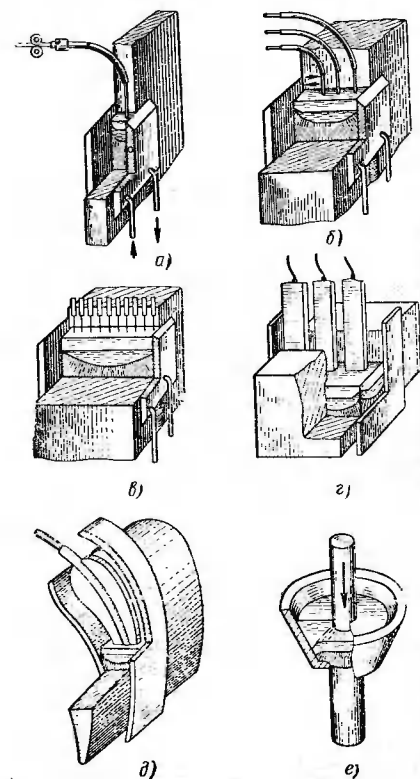
1. Параметры режимов сварки стали толщиной 100 мм (для которых определены термические циклы, приведенные в табл. 2)

Параметры режима сварки	Электрошлаковая сварка	Электродуговая многослойная сварка под флюсом	
		I режим	II режим
Сварочный ток в а	450	500	
Напряжение на ванне в в	38—40	32—34	
Скорость сварки в м/час	0,7	40	10

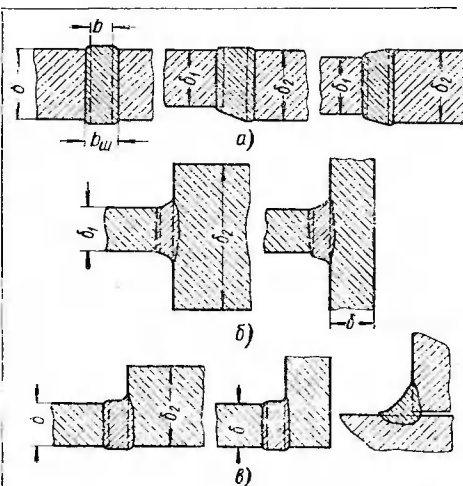
2. Показатели термического цикла сварки (по режимам, приведенным в табл. 1)

Показатели цикла	Электрошла- ковая сварка	Электродуговая многослой- ная сварка под флюсом	
		I режим	II режим
1. Продолжительность нагрева до максимальной температуры в сек. . .	640	3	5
2. Продолжительность пребывания при температурах перегрева (выше 1000° С) в сек.	95	2,5	7
3. Продолжительность охлаждения в интервале перлитно-трооститного превращения (700—350° С) в сек.	630	12	55
4. Продолжительность охлаждения в верхнем интервале температур мартенситного превращения (350—200° С) в сек.	1620	20	225
5. Ширина околошовной зоны в мм	16	2	5

Примечание. Первые четыре пункта таблицы приведены для точек околошовной зоны, нагреваемых до температуры 1100° С.



Фиг. 6. Основные схемы процессов электрошлаковой сварки: а — сварка одним электродом металла толщиной до 60 мм; б — трехфазная сварка металла толщиной 450 мм тремя электродами с возвратно-поступательным движением; в — многоелектродная сварка металла практически неограниченной толщины; г — сварка пластинчатым электродом; д — сварка плавящимся мундштуком; е — контактно-шлаковая сварка стержней.

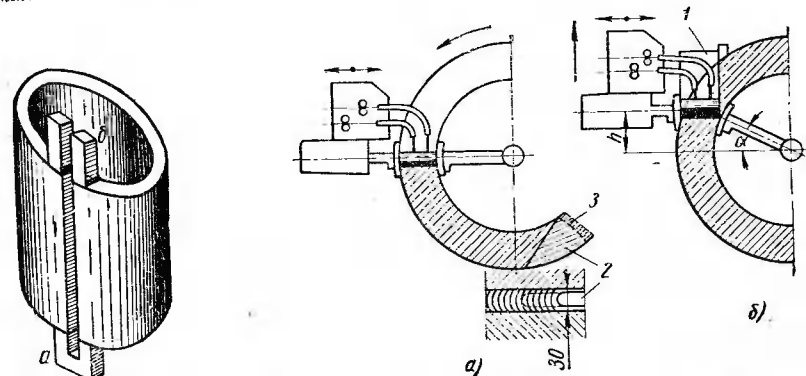


Фиг. 7. Основные виды соединений, выполняемых электрошлаковой сваркой: а — стыковые соединения; б — тавровые; в — угловые; д — толщина металла; е — ширина зазора; г — ширина шва.

ТЕХНИКА СВАРКИ

Электрошлаковая сварка продольных швов может выполняться одним или несколькими проволочными или пластинчатыми электродами, а также так называемым плавящимся мундштуком. Проволочные электроды при сварке могут совершать горизонтальные возвратно-поступательные перемещения.

Обычно сварка начинается в прикрепленном к нижней части стыка стальном или медном кокиле (фиг. 8) длиной 50—100 мм, где возбуждается дуговой процесс, который после наведения шлаковой ванны переходит в электрошлаковый. Формирование шва осуществляется с помощью медных охлаждаемых водой ползунов или медных накладок. Для того чтобы вывести шлаковую ванну и предотвратить образование усадочных трещин в рыхлости в конце шва, на изделии устанавливаются выходные планки или медные кокили длиной около 100 мм.



Фиг. 8. Начальные (а) и выходные (б) планки, применяемые при электрошлаковой сварке

Фиг. 9. Схема сварки кольцевого шва: а — сварка средней части шва; б — замыкание шва; в — выходной кокиль; г — разделка начала шва для его замыкания; д — заходная планка; е — угол перемещения ползуна к началу замыкания шва; ж — высота подъема аппарата к началу замыкания шва.

При электрошлаковой сварке кольцевых швов вращение изделия может осуществляться на роликовой опоре или другим способом. Процесс обычно начинают на заходной планке на уровне горизонтального диаметра. В процессе сварки кольцевого шва начальный участок вырезается по специальному шаблону таким образом, чтобы выполнить замыкание конечного и начального участков кольцевого шва.

На фиг. 9 представлены сварка «погонной» части кольцевого шва и одна из схем выполнения «замка».

При сварке кольцевых швов из-за различия окружных скоростей внутренних и наружных участков стыка имеет место постепенное переливание металла к наружной поверхности изделия. Поэтому при сварке толстостенных изделий скорость подачи электродов должна быть пропорциональна средней окружной скорости соответствующих участков.

Сварка наклонных (не более 40—45° к вертикали) и криволинейных швов с постоянной кривизной проволочными электродами может производиться при помощи автоматов, перемещающихся непосредственно по изделию. При сварке наклонных швов с симметричным расположением электрода по толщине стыка проплавление основного металла с нижней стороны изделия меньше, чем с верхней. Этим вызывается необходимость смещения электродов к нижним кромок.

Электрошлаковая сварка пластинчатыми электродами находит применение для соединения сравнительно коротких прямоугольных деталей большой толщины. При этом один или несколько пластинчатых электродов вводятся в зазор между свариваемыми кромок и подаются в шлаковую ванну с заданной ско-

ростью. Достоинством этого метода являются простота сварочной установки и относительная легкость получения металла шва заданной композиции путем применения пластин необходимого химического состава.

Электрошлаковая сварка пластинчатыми и проволоочными электродами применяется также для соединения стержней арматуры большого диаметра. Стержни укладываются в разъемную медную или керамическую форму. Проблема пластинчатых электродов может осуществляться вручную. По данным ЦНИИСК зазор между торцами свариваемых деталей и сечение электрода зависят от диаметра стержней. Так, например, для стержней диаметром 70 мм рекомендуется зазор 14 мм, толщина пластинчатого электрода 3—5 мм при ширине 70 мм. Скорость подачи электрода должна обеспечить напряжение 30—40 в и ток 950—1550 а.

Сварка плавящимся мундштуком может рассматриваться как комбинация процессов сварки проволоочными и пластинчатыми электродами. В этом случае в зазор между свариваемыми деталями вводится мундштук, остающийся в процессе сварки неподвижным. Он состоит из набора трубок (или проволоочных спаралей), направляющих проволоочный электрод, и соединительных пластин. Подбирая соответствующий химический состав проволоки и пластин, можно обеспечить заданный химсостав сварного шва.

Сварка плавящимся мундштуком применяется для выполнения фигурных и криволинейных швов, швов весьма большой толщины.

При контактно-шлаковой сварке между свариваемыми деталями в специальном кокиле наводится шлаковая ванна, оплавляющая свариваемые кромки. Сварное соединение образуется путем сдавливания свариваемых деталей.

ДЕФОРМАЦИИ И ВНУТРЕННИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКЕ

При электрошлаковой сварке угловые деформации (из плоскости листов) почти отсутствуют.

При сборке изделия под сварку необходимо учитывать поперечные деформации, которые зависят от формы и толщины свариваемого металла, от режима сварки, условий закрепления стыка и действующих на него сил. Для уменьшения деформаций стыкуемые детали закрепляются с помощью скоб. Используется также момент силы тяжести изделия для противодействия деформации при сварке.

При выполнении продольных швов величина поперечной усадки составляет около 3—4 мм в начале шва, увеличиваясь примерно до 6—8 мм к концу шва, и зависит от жесткости крепления кромок при сборке стыка.

Поперечная усадка в месте замыкания кольцевого шва приблизительно на 3 мм больше, чем на противоположном участке кольца.

По экспериментальным данным остаточные напряжения в сварных соединениях листов толщиной 225 и 350 мм, замеренные при помощи проволоочных датчиков, не превышали 1800 кг/см².

ВЫБОР РЕЖИМА

Устойчивость электрошлакового процесса, величина проплавления и форма шва определяются режимом электрошлаковой сварки.

В табл. 3 представлены значения некоторых параметров режима, которые устанавливаются при электрошлаковой сварке проволоочным электродом.

На фиг. 10 представлены характер зависимости ширины проплавления от отдельных составляющих режима.

Расстояние между электродами (см. фиг. 10) выбирается по формуле

$$L = \frac{\delta + a_1 - 2a_2}{n},$$

где L — расстояние между электродами в мм;
 a_2 — приближение электрода к ползуноу в мм;

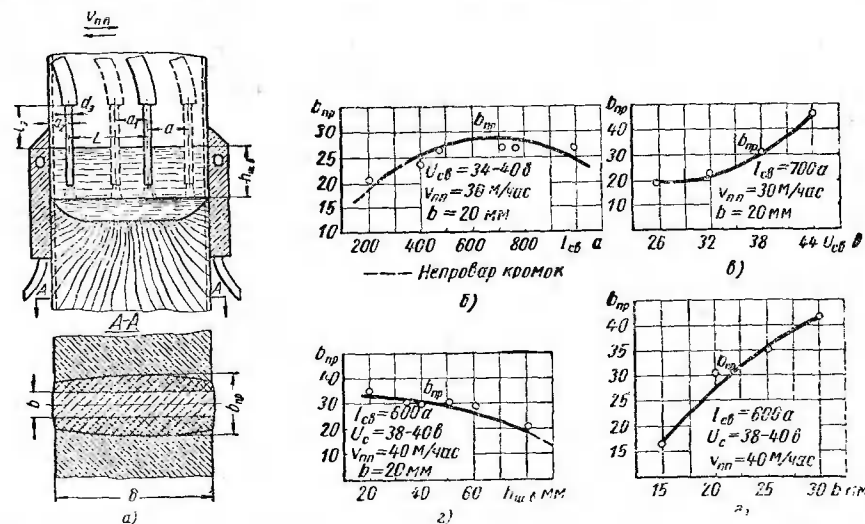
a_1 — «недокрыш» электродов в мм;
 n — количество электродов;
 δ — толщина металла в мм.

При сварке без возвратно-поступательного движения расстояние между электродами берется равным 50—60 мм; при сварке с возвратно-поступательным движением оно может быть увеличено до 100—150 мм.

Скорость подачи электродной проволоки определяет производительность процесса сварки. При увеличении скорости подачи проволоки (больше 400 м/час)

3. Параметры режима электрошлаковой сварки проволоочным электродом

Параметры	Значения параметров
Глубина шлаковой ванны в мм	40—60
Вылет электрода («сухой») в мм	60—80
Зазор между свариваемыми кромками в мм	25—30
Скорость поперечных колебаний в м/час	25—35
Время выдержки у ползунов в сек.	4—8
Диаметр электродной проволоки в мм	2.5—3
Приближение электрода к ползуноу в мм	4—7
«Недокрыш» электродов в мм	15—25



Фиг. 10. Характер зависимости ширины проплавления от отдельных составляющих режима сварки: а — схема процесса и форма сварного шва; б, в, д — соответственно графики влияния сварочного тока, напряжения на ванне, вылета («сухой») электрода; d_2 — диаметр электродов; a_2 — приближение электрода к ползуноу; a_1 — «недокрыш» электродов; L — расстояние между электродами; b — ширина зазора; $b_{пр}$ — ширина провара; $I_{св}$ — сварочный ток; $U_{св}$ — напряжение сварки; n — количество электродов; $v_{пр}$ и a — скорость и величина поперечных перемещений электродов; $h_{ш. а}$ — глубина шлаковой ванны.

понижается устойчивость электрошлакового процесса и ухудшаются условия кристаллизации (появляется опасность образования кристаллизационных трещин).

Скорость подачи проволоки берется, обычно в пределах 100—400 м/час. При сварке с удлиненным вылетом электрода (до 200 мм) процесс устойчив при скорости подачи до 1000 м/час. Коэффициент наплавки при этом возрастает до 65 г/а. час.

Скорость сварки определяется по формуле

$$v_{св} = \frac{v_d n \pi d_d^2}{4 \delta b}$$

где $v_{св}$ — скорость сварки в м/час.

v_d — скорость подачи электрода в м/час;

n — количество электродов;

d_d — диаметр электрода в мм;

b — зазор между кромками в мм;

δ — толщина металла в мм.

Сварочный ток и рабочее напряжение определяются главным образом внешней характеристикой источника питания, скоростью подачи электродной проволоки и проводимостью шлаковой ванны.

В качестве источников питания для электрошлаковой сварки рекомендуется применение трансформаторов с жесткой характеристикой и напряжением регулируемым в пределах 35—55 в.

Применение трансформаторов с мягкой характеристикой вполне допустимо, но дает менее устойчивые режимы и усложняет их регулировку.

Количество электродов и необходимая электрическая мощность зависят от толщины свариваемого металла.

Приближенное определение необходимой электрической мощности может быть сделано расчетным путем исходя из уравнения теплового баланса шлаковой ванны:

$$Q = 0,24 \sum UI = q_m \gamma_m F_m v_{св} + q_{фл} \gamma_{фл} F_{фл} v_{св} + q_{нм} 2 h_{ш} \delta + Q_{на} + q \delta b,$$

где Q — количество тепла в кал/сек, выделяемого в шлаковой ванне, при прохождении сварочного тока;

$\sum UI$ — сумма произведений напряжения (между свариваемым изделием и электродами) и тока;

q_m — теплосодержание расплавленного металла (равное ~ 340 кал/г);

γ_m — удельный вес наплавленного металла;

F_m — площадь поперечного сечения расплавленной части сварного шва в см²;

$v_{св}$ — скорость сварки в см/сек;

$q_{фл}$ — теплосодержание расплавленного флюса (равное ~ 470 кал/г);

$\gamma_{фл}$ — удельный вес флюса (равен $\approx 3,5$ г/см³);

$F_{фл}$ — площадь сечения двух корок флюса на шве (равная ≈ 2 см²);

$q_{нм}$ — средний удельный поток тепла, передаваемого через боковую поверхность шлаковой ванны в основной металл (для распространенных режимов сварки равен ~ 30 кал/см² · сек);

$h_{ш}$ — глубина шлаковой ванны в см (равна 4—6 см);

δ — толщина свариваемого металла в см;

$Q_{на}$ — количество тепла, расходуемого на нагрев воды (равное ≈ 600 кал/сек);

q — удельный поток теплоотдачи с поверхности шлаковой ванны (равный ≈ 6 кал/сек · см²);

b — ширина зазора в см.

Средняя температура шлаковой ванны принята равной 1600° С.

Средний удельный поток тепла ($q_{нм}$), передаваемого через боковую поверхность шлаковой ванны в основной металл, зависит от свойств флюса, свариваемого металла и режима сварки. Для обычных режимов при сварке конструкционных углеродистых сталей под кремнемарганцовистыми флюсами по экспериментальным данным $q_{нм}$ может быть принят равным 30 кал/см² · сек. Следует отметить, что при повышении скорости сварки и увеличении количества электродов (для данной толщины металла) величина $q_{нм}$ возрастает.

Таким образом, уравнение теплового баланса позволяет найти требуемую электрическую мощность для получения шва заданной ширины. Установив сварочный ток (в соответствии с подачей электродов), определяют необходимое напряжение на ванне.

Основными параметрами, определяющими режим сварки электродами большого сечения (пластинами), являются скорость встречи (сумма скорости подачи электрода и скорости сварки), сечение электрода, напряжение на ванне и глубина шлаковой ванны.

Следует иметь в виду, что при большом напряжении на ванне и малой скорости встречи электрод оплавляется на поверхности шлаковой ванны и процесс протекает неустойчиво.

При увеличении скорости подачи электрода и уменьшении напряжения конец электрода погружается в шлак более глубоко и устойчивость процесса повышается, однако при этом ухудшаются условия кристаллизации шва и уменьшается проплавление основного металла.

Количество электродных проволок, скорость их подачи и сечение пластинчатых электродов при сварке плавящимся мундштуком выбираются таким образом, чтобы были получены скорость сварки и напряжение, при которых имеют место устойчивое плавление электрода и надежное проплавление основного металла.

В табл. 4—7 представлены некоторые общепринятые режимы электрошлаковой сварки.

4. Режимы контактно-шлаковой сварки

Диаметр стержней в мм	Материал стержней		Ток в а	Напряжение на ванне в в	Общее время сварки в мин.	Примечание
	нижнего	верхнего				
50	Сталь Х12Ф4	Сталь 45	1000—1100	20—15	2,0—2,5	Глубина шлаковой ванны 30—40 мм
60	Сталь У8		1200—1300		2,5—3,0	
30	Сталь 45		1600—1800		3,0—3,5	
100	Сталь МСт. 5	Сталь МСт. 5	3000—3500	25—20	4,0	Шлаковая ванна разводится в течение одной минуты на режиме: $I_{св} = 800 \div 1000$ а $U = 40 \div 30$ в
120	Сталь Х12Ф4	Сталь Ст. 45	3500—4000		5,0—5,5	

5. Режимы электрошлаковой сварки проволочными электродами (по практическим данным различных организаций)

Толщина свариваемого металла в мм	Сварочный ток на один электрод в а	Напряжение на ванне в в	Количество электродов	Диаметр электрода в мм	Расстояние между электродами в мм	Скорость продольного движения электрода в м/час	Скорость подачи электрода в м/час	Выдержка у ползуна в сек.	Зазор в мм	Скорость сварки в м/час	Глубина шлаковой ванны в мм	Сухой вылет в мм	Флюс
30*	350—370	32—34	1	2,5	—	172	—	—	30	0,9—1,0	20—25	40—45	АН-8
70	650	47			—	34	374—400	5	26—30	1,0—1,1	60—65	90—95	
90	600—620	42—46	2	3	45—50	26—32	300	4—6	24—27	1,6	50—70	60—80	ФЦ-7
150	450—500	44—50			65	26—31	220—240		25—28	0,8—0,9	40—50		
200	550	46—48			90	36	250		32	0,5	50		
250	500—550	50—55			125	34	230—250	5	28—32	0,4—0,5		60—70	АН-8
300	400—450	46—48	3		110	31—36	200—220		30	0,35	45—50		
340	400—450	46—48			110	31—36	200—220		30—33	0,3			
450*	200	36—38	9		50		60—80		30—33	0,6	40—45	50—70	

* Сварка без поперечных переменыи электродов.

6. Режимы электрошлаковой сварки пластинчатым электродом под флюсом ФЦ-7

Толщина свариваемого металла в мм	Сварочный ток на один электрод в а	Напряжение на ванне в в	Количество электродов	Размеры сечения электрода в мм	Скорость подачи электрода в м/час	Скорость сварки в м/час	Зазор в мм
100	1000—1200	28—30	1	10×90	4,6	0,5	28—30
200			2				29—31
300	1500—1800	30—32		10×135		0,45	30—31

7. Режимы электрошлаковой сварки плавящимся мундштуком

Толщина металла в мм	Количество плавящихся мундштуков	Размеры сечения мундштука в мм	Количество электропроводных проводов на один мундштук	Сварочный ток на мундштуке в а	Скорость подачи электрода проволокой по диаметру 3 мм в м/час	Скорость сварки в м/час	Напряжение на ванне в в	Зазор в мм	Флюс
120	1	70×14	2	1300—1600	200	1,1	34—36	30	ФЦ-7
160		126×12		1200—1800	171	0,6	37—45	35—40	АН-8
200		160×10	3	1000—1800			32—33	40—44	
300	2	110×12	2	700—1000		0,5	30—38	40—42	
400	6	137×12	3	800—1000	131		35—40	38—40	

ФЛЮСЫ

Флюс для электрошлаковой сварки должен удовлетворять следующим специфическим требованиям:

- обеспечивать легкое возбуждение электрошлакового процесса;
- поддерживать устойчивость процесса;
- обеспечивать полный провар кромок и удовлетворительное формирование поверхности шва без подрезов и наплывов;
- не отжимать ползуны от свариваемых деталей;
- не вытекать в зазоры между ползунами и кромками.

Технологические свойства флюса в значительной степени определяются его электропроводностью, вязкостью и газонасыщенностью.

При повышении электропроводности флюса повышаются устойчивость процесса и легкость его возбуждения. Однако при очень высокой электропроводности флюса количество энергии, выделяющееся в шлаковой ванне, может оказаться недостаточным для проплавления кромок свариваемых деталей.

При работе на флюсе с коротким интервалом температуры, при которой резко изменяется его вязкость, а также на тугоплавком флюсе имеет место отжимание ползунов. В то же время флюсы с чрезмерно высокой вязкостью склонны к вытеканию в зазоры. Поэтому необходимо выбирать флюс оптимальной жидкотекучести.

Газонасыщенность флюса должна быть минимальной, так как выделение газа в процессе сварки приводит к разбрызгиванию металла и снижению устойчивости процесса.

Характер металлургических процессов при электрошлаковой сварке в основном такой же, как при обычной дуговой сварке. Но ввиду незначительного обмена шлака, обусловленного весьма малым расходом флюса, в процессе сварки

несколько возрастает его окислительная способность за счет повышения содержания в шлаке окислов железа.

По сравнению с электродным металлом основной металл в процессе оплавления слабо реагирует со шлаком. Поэтому состав металла шва ориентировочно может быть подсчитан по формуле

$$[M_{ш}] = \gamma [M_o] + (1 - \gamma) [M_s + \Delta M_s],$$

где $M_{ш}$, M_o и M_s — содержание элемента в металле шва, основном и электродном в %;

ΔM_s — изменение содержания элемента в металле электрода в % в процессе плавления;

γ — доля участия основного металла в образовании шва (зависит от величины провара и в обычно принятых режимах составляет 0,3—0,5).

При сварке обыкновенных углеродистых сталей с использованием флюса АН-8 значения ΔM_s для перехода Si и Mn могут быть взяты из табл. 8, а для углерода ΔM_s приблизительно равно —0,01—0,03%.

8. Переход марганца и кремния из электродной проволоки при электрошлаковой сварке

Марка проволоки	Один электрод		Два электрода	
	$\Delta \text{Mn} \%$	$\Delta \text{Si} \%$	$\Delta \text{Mn} \%$	$\Delta \text{Si} \%$
Св-08	0	0	+0,1	0
Св-08Г; Св-15Г	—0,2	0	—0,1	+0,1
Св-10Г ²	—0,5	0	—0,4	+0,1
Св-10ГС	+0,5	—0,2	+0,2	0

Примечание. Флюс АН-8, сварочный ток 400—420 а на один электрод диаметром 3 мм, напряжение на ванне 46—48 в, толщина свариваемого металла 90—120 мм.

Используя широкий ассортимент электродных проволок по ГОСТу 2246-60, возможность их сочетания, а также подачи присадочного металла, можно рассчитать и обеспечить заданный состав металла сварного шва для большого количества марок стали.

Влияние режима электрошлаковой сварки на переход элементов связывается с характером капельного переноса электродного металла. Чем мельче капли и чем больше время их существования, тем интенсивнее взаимодействие их металла со шлаком и тем интенсивнее происходит накопление окислов железа в шлаке.

Повышение окислительной способности шлака и вызванное этим усиление перехода марганца и кремния в шлак (или ослабление их перехода из шлака в металл) происходит при снижении скорости подачи электродной проволоки, повышении напряжения на ванне и уменьшении глубины шлаковой ванны.

На процессы перехода элементов оказывает влияние температура шлаковой ванны. При повышении ее температуры создаются более благоприятные условия для восстановления кремния и марганца. Переход примесей в значительной степени зависит от рода тока и его полярности (вследствие электролиза шлака и изменения характера капельного переноса металла). Так, наибольшее окисление элементов имеет место при сварке на постоянном токе обратной полярности. Сера и фосфор при электрошлаковой сварке обычно переходят из шлака в металл сварочной ванны. Однако вследствие того, что обмен шлака незначителен, переход серы и фосфора невелик. Состав флюсов должен подбираться исходя из требований, предъявляемых к ним, с учетом отмеченных особенностей металлургических процессов при электрошлаковой сварке.

Для получения плотных швов при сварке проволокой, в которой не содержится достаточного количества раскислителей, необходимо обеспечить вос-

становление некоторого количества кремния из флюса в металл сварочной ванны, т. е. содержание SiO_2 во флюсе должно быть достаточно высоко. Однако наиболее надежным путем раскисления наплавленного металла при электрошлаковой сварке является введение кремния или других раскислителей в электродный металл.

Для уменьшения окисления марганца и уменьшения перехода серы из шлака в металл во флюсе должно быть увеличено содержание MnO .

В настоящее время для электрошлаковой сварки углеродистых сталей применяются плавленные флюсы АН-8 и ФЦ-7. Могут быть использованы также флюсы ОСЦ-45 и АН-348А. Составы этих флюсов приведены в табл. 10 (глава II).

При сварке легированных сталей, содержащих легкоокисляющиеся элементы, к флюсам для электрошлаковой сварки предъявляются некоторые специфические требования. Для максимального снижения окислительной способности эти флюсы строятся на основе фтористого кальция. Для снижения электропроводности в состав флюса могут вводиться Al_2O_3 и CaO .

Важной особенностью таких флюсов является их способность интенсивно обескислять металл. Кроме того, вследствие высокой электропроводности фторидные шлаки позволяют вести процесс на низких напряжениях. Благодаря этому снижается перегрев основного металла в околошовной зоне.

Для бездугового начала процесса при электрошлаковой сварке пластинчатым электродом и контактно-шлаковой сварке может быть использован электропроводный флюс АН-25 (35—40% TiO_2 ; 6—9% SiO_2 ; 12—15% CaO ; 2—4% MgO ; 33—40% CaF_2 ; 2—3% R_2O_5) или электропроводные прессованные шайбы, изготовленные из смеси порошков металла и фтористого кальция.

СТРУКТУРА ШВОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКОЙ

При электрошлаковой сварке конструктивных углеродистых сталей макроструктура швов может характеризоваться наличием трех зон.

1. Зона крупных столбчатых кристаллов, ориентированных по периферии шва нормально к оплавляемым кромкам разделки шва.

2. Зона тонких столбчатых кристаллов, характеризующаясь меньшей величиной зерна и несколько большим отклонением в сторону теплового центра. Дендриты этой зоны крупнее дендритов первой зоны и имеют оси первого и второго порядка.

3. Зона крупных равноосных кристаллов, имеющих дендритное, сильно разветвленное строение.

В зависимости от химического состава основного и электродного металлов и режима электрошлаковой сварки может быть получено различное строение швов. В частности, могут быть получены швы, состоящие из двух зон (зоны крупных и зоны тонких столбчатых кристаллов) или из одной (первой или второй).

Направленность кристаллизации в значительной степени зависит от коэффициента формы ванны (отношение ширины ванны к ее глубине).

При малых коэффициентах формы дендриты растут навстречу друг другу и образуют плоскость слабости. Из-за этого повышается склонность швов к образованию кристаллизационных трещин. Увеличение коэффициента формы, следовательно, и повышение стойкости против образования трещин происходит при уменьшении сварочного тока и скорости сварки, при повышении напряжения и увеличении зазора. На фиг. 11 показан макрошлиф поперечного сечения сварного соединения, выполненного электрошлаковой сваркой.

При электрошлаковой сварке имеет место медленное охлаждение в интервале температур, при которых происходят фазовые превращения. Поэтому макроструктура сварных швов, выполненных на конструктивных углеродистых сталях, характеризуется грубым феррито-перлитным строением с утолщенной оторочкой феррита по границам кристаллов.

Характерным для термического цикла околосшовной зоны при электрошлаковой сварке является длительный нагрев этой зоны, длительная выдержка ее при температурах перегрева и медленное последующее охлаждение. Поэтому зона термического влияния при электрошлаковой сварке характеризуется грубой видманшtedтовой феррито-перлитной структурой. По мере удаления



Фиг. 11. Поперечный макрорельеф сварного соединения толщиной 250 мм, выполненного электрошлаковой сваркой.

от линии сплавления видманштеттова структура сменяется мелкозернистой нормализованной структурой.

В зоне перегрева в ряде случаев имеет место падение ударной вязкости (фиг. 12). Поэтому ответственные сварные соединения, выполненные электрошлаковой сваркой, требуют последующей высокотемпературной термической обработки (нормализации с последующим отпуском).

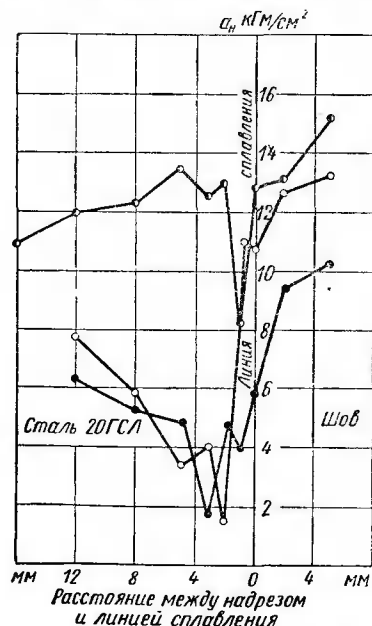
При электрошлаковой сварке закаливающихся сталей термический цикл околошовной зоны способствует распаду аустенита в области перлитного и промежуточного превращений, подавлению мартенситного превращения и протеканию его с самоотпуском образующегося мартенсита. Это уменьшает напряженность околошовной зоны, вызываемую структурным превращением, и резко снижает возможность образования в ней закалочных трещин.

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

В настоящее время освоена электрошлаковая сварка многих углеродистых, среднелегированных и высоколегированных марок стали.

В табл. 9 приведены механические свойства швов, выполненных электрошлаковым способом с применением различных электродных проволок и флюсов, а в табл. 10 — предел выносливости сварных соединений.

Фиг. 12. Зависимость минимального значения ударной вязкости сварного соединения от расстояния между надрезом и линией сплавления (сварка проволоками Св-10Г2 + Св-10Г1С; флюс ФЦ-7, сталь 20ГСП).



- Без термообработки после сварки
- С высоким отпуском после сварки
- С нормализацией и высоким отпуском после сварки

9. Механические свойства швов, выполненных электрошлаковой сваркой

Сталь	Толщина в мм	Проволока	Флюс	Механические свойства				Термообработка
				σ_b в кг/мм ²	σ_T в кг/мм ²	δ в %	ψ в %	α_H в кг/м/см ²
22К	90	Св-08ГА	ФЦ-7	42,5—46,6	23,0—26,0	29,0—34,0	58,0—67,5	8,1—16,7
	250	Св-15Г		47,4—49,3	24,2—28,5	18,7—37,7	33,8—59,9	6,7—12,1
	450	Св-10Г2		43,8—47,7	26,0—29,3	21,3—35,7	59,0—79,4	10—16,5
	450	08ГА	АН-8	47,6—47,8	28,4—29,0	26,7—30,7	55,2—63,5	8,5—16,8
Сталь 25Л	280	Св-08ГА	ФЦ-7	51	30	30	66	11
	230	10Г2		50	32	31,4	64,6	14,1
	90	ЭИ-913		59 (47) *	38 (32) *	24 (19) *	—	15 (20) *
	135	ЭИ-569	АН-8	51	33	28	67	14,7
16ГНМ	40	12ХМ	ФЦ-7	46,5—47,5	30,0—31,5	28,0—37,6	63,5—69,0	10,1—17,7
	30	Св-18ХМА		103,1—124,2	92,0—111,5	10—16,7	30,6—43,5	2,25—6,9
	30	ЭИ-913		60,2—65,5	71,1—74,3	18,7—21,3	69,8—32,2	14,3—16,4
	25Х2МФ	ЭИ-913	48-ОФ-6	77,1—81,0	62,2—67,9	21,0—22,7	64,0—66,0	13,0—18,3
30Х2Н2М	25Х3НМ	10Г2	АН-8	72,5—76,7	57,6—62,2	23,3—24,7	66,0—69,8	14,7—16,0
	25Х3НМ	10Г2		58,4—59,8	44,1—43,5	28,3—31,0	71,6	18,1—18,7
	25Х3НМ	10Г2		73,2—77,4	61,1—64,0	17,3—20,3	64,0—67,4	10,4—10,7
	35ХН3М	ЭИ-681		77,5—87,9	47,4—50,9	17,3—19,3	41,2—51,0	11,4—14,0

* В скобках указаны механические свойства швов на стали 15Х2МФ при температуре 350°.

10. Предел выносливости основного металла и сварных соединений из стали 22К (после снятия усиления)

Сечение или диаметр образца в мм	Предел выносливости σ_{-1} в кг/мм ²				
	основного металла	сварного соединения			
		без термической обработки	после отпуска	после нормализации	после нормализации и отпуска
50×75	16,0	14,0	15,5	—	14,0
200×200	14,5	13,5	—	10,5 *	12,5
∅ 200	16,5	<15,0	—	—	—
∅ 150	15,2	>13,5	—	14,7	<12,0 **
∅ 20	18,5—24,5	14,5—17,5	—	15,5—16,5	15,5—17,5

* Образцы имели дефекты в виде шлаковых включений по линии сплавления основного металла со швом.

** Все образцы этой серии разрушились по основному металлу, имевшему дефекты.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКИ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

Этими особенностями являются:

- наличие открытой поверхности шлаковой ванны, нагретой до высоких температур и излучающей ослепительный свет;
- соседство расплавленного металла и шлака с проточной водой, отделенной от них сравнительно тонкой перегородкой из меди;
- применение дугового процесса для наведения шлаковой ванны;
- возможные выбросы жидкого шлака из плавильного пространства.

Поэтому сварщику-оператору и его помощнику разрешается работать только с покрытой головой в брезентовом костюме в рукавицах и в защитных очках (дымчатых или синих). Необходимо тщательно следить за исправностью водяной коммуникации. Категорически запрещается во время сварки находиться под ползуном, подкладкой или формой вблизи шва, чтобы при вытекании жидкий металл и шлак не попали на тело и одежду. При выполнении электрошлаковой сварки необходимо руководствоваться также общими инструкциями по технике безопасности для электросварочных работ.

ЛИТЕРАТУРА

- Бринберг И. Л., Грабов И. Н., Рымкевич А. И., Электрошлаковая сварка стали 22К толщиной до 450 мм, Физматгиз, Москва, 1958.
- Бринберг И. Л., Голуб Л. В., Экспериментальное исследование электрошлаковой сварки стали 16ГНМ, «Сварочное производство» № 9, 1955.
- Бринберг И. Л., Методика приближенного расчета электрических параметров режима электрошлаковой сварки, «Сварочное производство», № 7, 1957.
- Бродский А. Я., Электродуговая и электрошлаковая сварка стыков арматуры железобетона, Москва, 1958.
- Винокуров В. А., Газарян А. С., Деформации при электрошлаковой сварке, «Автоматическая сварка» № 9, 1960.
- Волошкевич Г. З., О режимах электрошлаковой сварки, «Автоматическая сварка» № 3, 1958.
- Волошкевич Г. З., Плавление электрода и перенос металла при электрошлаковой сварке, «Автоматическая сварка» № 10, 1958.
- Волошкевич Г. З., Режим электрошлаковой сварки и его влияние на ширину шва, «Автоматическая сварка» № 9, 1958.
- Волошкевич Г. З., Сущук-Слюсаренко И. И., О точности размеров изделий, получаемых с помощью автоматической сварки, «Автоматическая сварка» № 2, 1960.

- Волошкевич Г. З., Сущук-Слюсаренко И. И., Розенберг О. О., Антощенко С. Я., Монтажная электрошлаковая сварка бандажей цементных печей, «Автоматическая сварка» № 4, 1960.
- ВТИИ Тяжелого машиностроения, Применение электрошлаковой сварки при создании сварных конструкций в машиностроении, Отдел руководящих материалов, Москва, 1959.
- Гельман А. С., Мельбард С. Н., Синадский С. Е., Чешев П. И., Электрошлаковая сварка вала гидротурбины со сварной обечайкой, «Сварочное производство» № 9, 1958.
- Готальский Ю. Н., К вопросу о взаимодействии между шлаком и металлом при электрошлаковой сварке, «Автоматическая сварка» № 5, 1954.
- Готальский Ю. Н., Свойства флюса, определяющие устойчивость процесса электрошлаковой сварки, «Сварочное производство» № 3, 1957.
- Гузенко И. Г., Черных В. В., Внедрение электрошлаковой сварки на НКМЗ, «Сварочное производство» № 2, 1957.
- Дудко Д. А., Походня И. К., Контактно-шлаковая сварка деталей больших сечений, «Автоматическая сварка» № 4, 1956.
- Дудко Д. А., Рублевский И. Н., Некоторые металлургические особенности процесса электрошлаковой сварки, «Автоматическая сварка» № 4, 1956.
- Дудко Д. А., Рублевский И. Н., Об участии электродного и основного металла в металлургических реакциях при электрошлаковой сварке, «Автоматическая сварка» № 5, 1957.
- Дудко Д. А., Рублевский И. Н., Влияние рода тока и полярности на металлургические процессы при электрошлаковой сварке, «Автоматическая сварка» № 3, 1958.
- Дудко Д. А., Рублевский И. Н., О капельном переносе электродного металла при электрошлаковой сварке, «Автоматическая сварка» № 4, 1958.
- Ерегин Л. П., Мейрамов Г. Г., Пилипенко А. А., Электрошлаковая сварка ползуна механического ковочноштамповочного пресса усилием 6300 т, «Автоматическая сварка» № 4, 1956.
- Институт электросварки им. Е. О. Патона АН УССР, Руководство по электрошлаковой сварке, Машгиз, 1956.
- Кудрявцев И. В., Савина Н. М., Исследование усталостной прочности соединений, выполненных электрошлаковой сваркой на образцах большого сечения, «Сварочное производство» № 11, 1956.
- Кудрявцев И. В., Наумченков Н. Е., Савина Н. М., Усталостная прочность соединений элементов крупных сечений, выполненных электрошлаковой сваркой, «Сварочное производство» № 4, 1958.
- Котов С. В., Первичная кристаллизация металла шва при электрошлаковой сварке, «Сварочное производство» № 11, 1956.
- Рох Б. А., Электрошлаковая сварка пластинчатым электродом, «Сварочное производство» № 11, 1958.
- Макара А. М., Готальский Ю. Н., Грабин В. Н., Исследование влияния режима электрошлаковой сварки на проплавление кромок и ширину околосшовной зоны в связи с задачей сварки легированных сталей, «Автоматическая сварка» № 2, 1955.
- Макара А. М., Готальский Ю. Н., Новиков И. В., Горячие трещины при электрошлаковой сварке и их связь с первичной кристаллизацией, «Автоматическая сварка» № 4, 1955.
- Макара А. М., Готальский Ю. Н., Термический цикл в связи со сваркой закаляющихся сталей, «Автоматическая сварка» № 5, 1955.
- Макара А. М., Грабин И. В., Новиков И. В., Околосшовные трещины и механические свойства сварных соединений при электрошлаковой сварке среднелегированных сталей, «Автоматическая сварка» № 4, 1956.
- Министерство тяжелого машиностроения СССР, Электрошлаковая сварка в тяжелом машиностроении, Машгиз, 1956.
- Островская С. А., Некоторые вопросы образования кристаллизационных трещин при электрошлаковой сварке, «Автоматическая сварка» № 4, 1957.
- Островская С. А., К вопросу о структуре металла при электрошлаковой сварке углеродистых конструкционных сталей, «Автоматическая сварка» № 6, 1957.
- Подгаецкий В. В., О флюсах при электрошлаковой сварке, «Автоматическая сварка» № 4, 1956.
- Радченко В. Г., Электрошлаковая сварка стали 15ХМА, «Сварочное производство» № 3, 1957.
- Синадский С. Е., Грабов И. Н., Усталостная прочность механических обработанных образцов соединений, выполненных электрошлаковой сваркой, «Сварочное производство» № 11, 1956.
- Стеренбоген Ю. А., Зайцев Ю. Н., Электрошлаковая сварка пластинчатым электродом, «Автоматическая сварка» № 4, 1956.
- Стеренбоген Ю. А., Черных В. В., Антонен Д. П., Искра А. С., Особенности электрошлаковой сварки толстолистовой стали марки 22К, «Автоматическая сварка» № 4, 1956.
- Степанов В. В., Опыт внедрения электрошлаковой сварки на Уралмашзаводе, «Сварочное производство» № 9, 1957.
- Сателъ Э. А., Бялковская В. С., Штейн Г. Х., Черных В. В., Экономическая эффективность электрошлаковой сварки, ЦБНТИ ТМ — 45—1 1958.
- Электрошлаковая сварка, изд. 11, под редакцией Б. Е. Патона, Машгиз, 1959.

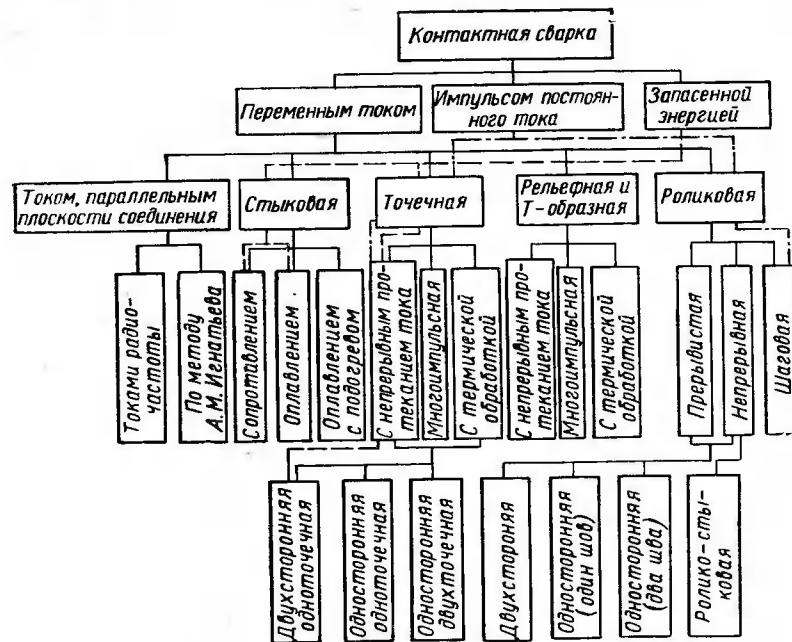
ГЛАВА VII

КОНТАКТНАЯ ЭЛЕКТРОСВАРКА

КЛАССИФИКАЦИЯ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Контактная сварка классифицируется по следующим признакам (фиг. 1).

1. По способу питания сварочного трансформатора: сварка переменным током, в подавляющем большинстве случаев однофазным, частотой 50 гц; сварка импульсом постоянного тока



Фиг. 1. Схема классификации основных способов контактной сварки

(первичная обмотка сварочного трансформатора подключается к выпрямительной установке; вследствие индуктивности трансформатора ток в первичной обмотке нарастает постепенно, в результате чего во вторичной обмотке индуцируется постепенно нарастающий импульс сварочного тока); сварка запасенной энергией (энергия, необходимая для выполнения отдельной сварочной операции, относительно медленно накапливается в конденсаторах, в магнитном поле специального сварочного трансформатора, во вращающихся частях генератора или в аккумуляторной батарее, а затем непосредственно или через сварочный трансформатор быстро отдается в сварочную цепь в виде импульса большой мощности)

2. По форме свариваемого соединения, определяющей тип сварочной машины, — стыковая, точечная, рельефная и Т-образная, роликовая (шовная) и ролик (шовно-) — стыковая сварка.

3. По технологическим признакам: стыковая сварка сопротивлением или оплавлением; непрерывная, прерывистая или шаговая роликовая сварка и т. п.

4. По способу подвода тока к свариваемым деталям: обычная стыковая сварка сопротивлением с протеканием тока перпендикулярно плоскости соединения и сварка по способу Игнатъева с подводом тока параллельно этой плоскости; односторонняя и двусторонняя точечная сварка и т. п.

Главные области применения различных способов контактной сварки приведены в табл. 1.

1. Область применения основных способов контактной сварки

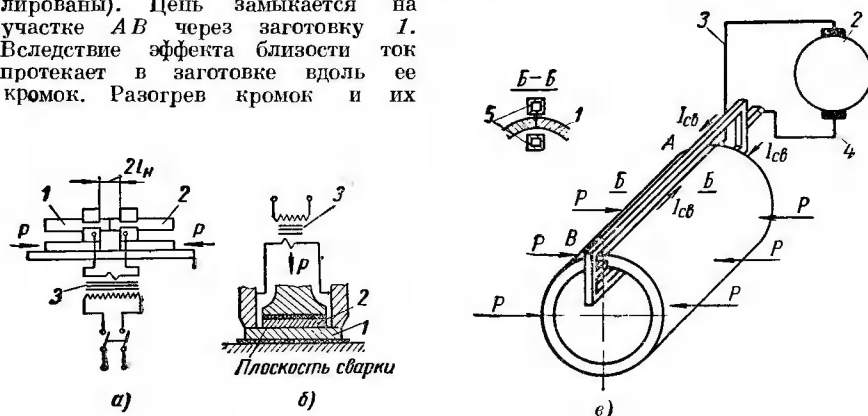
Способ сварки	Область применения
Стыковая	1. Удлинение конструктивных элементов (сварка рельсов, трубчатых змеевиков в котлостроении, стальных лент в прокатном производстве, арматуры железобетона и др.) 2. Соединение деталей из разнородных металлов и сплавов (сварка быстрорежущей стали с подложной в производстве инструмента, жаропрочной с подложной при изготовлении клапанов двигателей и др.) 3. Образование деталей замкнутого контура из гнутых, вальцованных или штампованных заготовок (сварка звеньев цепей, ободов колес, венцов шестерен, фланцев, колец и др.) 4. Образование деталей сложной формы из простых заготовок (сварка кожаного карданного вала автомобиля из трубы и двух кованых фланцев, сварка карданного вала и др.) 5. Получение двухслойной заготовки для инструмента по способу Игнатъева
Точечная	1. Соединение внахлестку листов и профилей из стали и цветных металлов для получения каркасов с обшивкой (сварка элементов кузова цельнометаллических вагонов, носков крыла, узлов нервюр, шпангоутов, панелей и перегородок баков в самолетостроении, кузовов легковых и кабин грузовых автомобилей и др.) 2. Изготовление штампованных конструкций посредством сварки тонких штампованных деталей сложной конфигурации (сварка двери автомобиля и др.) 3. Образование арматурных сеток и каркасов для железобетона (сварка в крест стержней)
Рельефная и Т-образная	Сварка мелких деталей в массовом производстве (автомобилестроении и др.) Получение прочно-плотных швов в изделиях из стали и цветных металлов (сварка баков в автомобилестроении и самолетостроении, сварка узлов электрохолодильников, тары, огнетушителей, сварка плоскоставиваемых труб и др.)
Ролико-стыковая	1. Сварка продольного шва труб, сформованных из стальной ленты (малоуглеродистая или низколегированная сталь) 2. Сварка двухслойной ленты из инструментальной и подложной стали (способ Игнатъева)

СТЫКОВАЯ СВАРКА

Сварка сопротивлением

Сварка сопротивлением — вид стыковой сварки, при котором детали 1 и 2, плотно сжатые силой P , включаются в цепь трансформатора 3, нагреваются (обычно ниже температуры плавления) током, протекающим перпендикулярно (фиг. 2, а) или параллельно плоскости их соединения (способ Игнатъева, фиг. 2, б), и свариваются в пластическом состоянии по всей поверхности касания.

НИИТВЧ разработан способ сварки сопротивлением стыка трубной заготовки 1 (фиг. 2, в) одновременно по всей длине током повышенной частоты (2500 гц). Ток от генератора 2 подводится проводом 3 к кромкам заготовки в точке А. Провод 4 соединяется с шинами 5, охватывающими зону стыка. Шины присоединяются к заготовке в точке В (на участке АВ шины от заготовки изолированы). Цепь замыкается на участке АВ через заготовку 1. Вследствие эффекта близости ток протекает в заготовке вдоль ее кромок. Разогрев кромок и их



Фиг. 2. Принципиальные схемы основных способов стыковой сварки сопротивлением: а — с протеканием тока перпендикулярно плоскости стыка; б — с протеканием тока вдоль стыка (метод Игнатъева); в — с использованием эффекта близости.

сжатие силами P приводит к сварке всего стыка. Сварное соединение создается общими зернами, образующимися в плоскости стыка при рекристаллизации металла в результате нагрева и пластической деформации. Окисление металла на торцах нагреваемых деталей понижает качество сварки сопротивлением и ограничивает область ее применения (табл. 2).

Качество сварки сопротивлением повышается при затрудненном окислении (плотное прилегание и тщательная очистка деталей перед сваркой, шлифование деталей и покрытие их бурой при сварке по способу Игнатъева), быстром и равномерном нагреве, практически осуществимом при сварке деталей небольшого сечения. Качество сварки сопротивлением стали резко повышается при ее выполнении в защитной среде сухого азота или его смеси с водородом, тщательно очищенных от кислорода (разработано в ЦНИИМАШе). Малоуглеродистую сталь можно сваривать с защитой городским газом.

Основные параметры сварки сопротивлением: установочная длина l_n — выпуск детали из зажима (фиг. 2, а); удельное давление осадки $p_{ос}$, плотность тока j и длительность нагрева $t_{св}$. Сталь в зоне сварки нагревается до 1150—1250° (ниже выше), цветные металлы — до температуры, близкой к солидусу.

Установочная длина l_n при сварке стержней диаметром D для стали равна $(0,5 \div 0,7)D$, для меди — $(2,0 \div 2,5)D$, для латуни и алюминия — $(1,5 \div 2,0)D$.

Удельное давление осадки при сварке стали $p_{ос}$ равно $2 \div 5 \text{ кг/мм}^2$, при сварке цветных металлов — $1,0 \div 1,5 \text{ кг/мм}^2$.

2. Основное применение различных способов стыковой сварки

Характеристика способа сварки	Материалы	Тип сечения	Площадь сечения
Сопротивлением (фиг. 2, а)	Сталь, медь, латунь	Компактное	Проволока, звенья цепей диаметром до 20 мм (сталь); при газовой защите — трубы диаметром до 40 мм До 1500—2000 мм ²
Сопротивлением по способу Игнатъева (фиг. 2, б) Непрерывным оплавлением	Инструментальная и поделочная сталь Сталь, алюминиевые сплавы	Прутки, полосы, трубы, листы (сталь), профили	Стальные прутки и толстостенные трубы до 2000—3000 мм ² , стальные листы и тонкостенные трубы до 6000 мм ² и выше; железнодорожные рельсы
Оплавлением с подогревом	Сталь с медью и латунью Сталь (незакаляющаяся)	Прутки	—
	Сталь (закаляющаяся)	Прутки, трубы То же	В мелкосерийном производстве > 300—500 мм ² ; в массовом производстве > 1000—1500 мм ² Любое

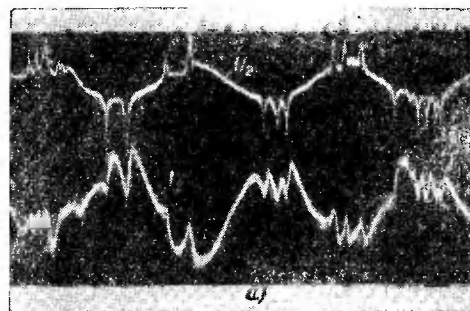
Сварка по способу Игнатъева ведется с медленным нагревом ($t_{св} \approx 3 \text{ мин.}$, $T = 1200 - 1300^\circ$) при давлении осадки $1-1,5 \text{ кг/мм}^2$. Во избежание перегрева между свариваемыми деталями иногда насыпается слой порошка толщиной $1-1,5 \text{ мм}$, плавящегося при заданной температуре. Например, смесь из 70 весовых частей измельченного малоуглеродистого ферромарганца и 30 весовых частей прокаленной буры плавится при $1260-1290^\circ$. Применение порошка затрудняет окисление свариваемых поверхностей, уменьшает непрочар и улучшает качество соединений.

Сварка оплавлением

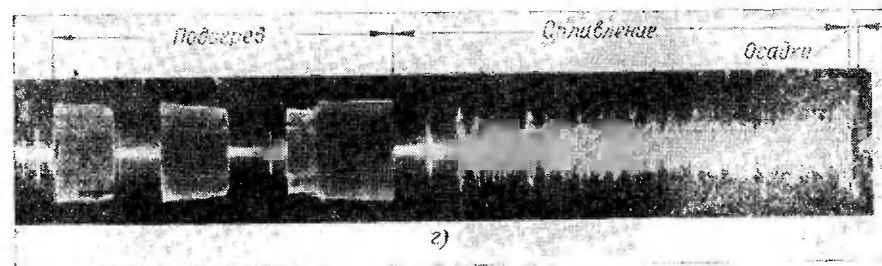
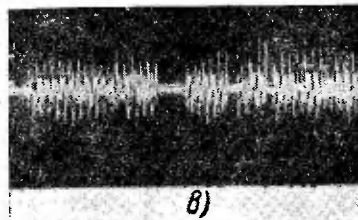
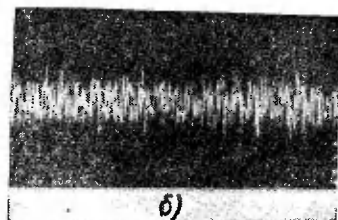
Сварка оплавлением — вид стыковой сварки, при котором между торцами свариваемых деталей поддерживается плохой электрический контакт, в результате чего металл на торцах интенсивно нагревается до расплавления, а затем при быстром сдвигании (осадке) деталей расплавленный металл вытесняется из зазора между ними, и образуется сварное соединение по всей поверхности касания деталей. Сварка оплавлением осуществляется без подогрева (непрерывным оплавлением) или с подогревом.

Сварка непрерывным оплавлением состоит из двух стадий: оплавления и осадки. При оплавлении свариваемые детали 1 и 2 (фиг. 2, а) медленно сближаются без приложения существенного усилия P . При этом между торцами создаются местные контакты, быстро нагреваемые током ($t < 0,01 \text{ сек.}$) до расплавления. Вследствие поверхностного натяжения между торцами образуются перемычки жидкого металла. Протекающий в них электрический ток взаимодействует с магнитным полем и заставляет перемычки перемещаться в зазор между торцами. Одновременно сжимающие проводник силы магнитного поля уменьшают поперечное сечение перемычки, увеличивая

плотность тока в ней. Металл в центре перемычки мгновенно испаряется, взрывая перемычку. Образование и разрушение перемычек при постепенном сближении свариваемых деталей сопровождается интенсивным местным нагревом торцов, прогревом деталей в глубину (за счет теплопередачи от торцов и теплоты, выделяемой током непосредственно в деталях), укорочением деталей с постепенной возрастающей скоростью оплавления, испарением и окислением металла в зазоре между торцами, образованием на торцах углублений (кратеров) в резуль-



Фиг. 3. Осциллограммы электрических величин при сварке оплавлением: а — напряжение между электродами U_2 и ток в сварочной цепи I_2 при оплавлении; б — ток при сварке непрерывным оплавлением (устойчивый процесс); в — то же, неустойчивый процесс; г — ток при сварке оплавлением с подогревом.



тате выбрасывания при взрыве перемычек расплавленного металла и образованием на торцах тонкой пленки расплавленного металла. Оплавление сопровождается неустойчивыми электрическими процессами — быстро сменяющимися друг за другом колебаниями тока I_2 и связанными с ними скачками напряжения U_2 (фиг. 3, а). Оплавление может идти без перерывов (устойчивый процесс, фиг. 3, б) или с перерывами (неустойчивый процесс, фиг. 3, в).

При осадке нагретые детали сближаются с большой скоростью $v_{ос}$ и пластически деформируются (суммарное укорочение $\Delta_{ос}$) усилием осадки $P_{ос} = F p_{ос}$, где F — площадь сечения свариваемых деталей и $p_{ос}$ — удельное давление осадки.

При сближении деталей сначала приходят в соприкосновение и сдавливаются выступающие участки на их торцах; разрушение перемычек прекращается в силу образования между торцами хорошего контакта; затем закрываются относительно глубокие кратеры на торцах с вытеснением из зазора расплавленного металла в виде грата и осуществляется сварка по всему сечению деталей.

Осадка начинается при включенном токе, а заканчивается, как правило, при выключенном.

При сварке с подогревом оплавлению предшествует подогрев деталей несколькими импульсами тока (фиг. 3, г). Подогрев уменьшает мощность, потребляемую при оплавлении, облегчает осадку, уменьшает градиент температуры в зоне сварки (фиг. 4, а), снижает скорость охлаждения после сварки и уменьшает опасность закалки и появления трещин при сварке закаляющихся сталей.

Применение сварки с подогревом приведено в табл. 2.

Условия качественной сварки. Подогрев (при сварке с подогревом), равномерный по сечению, до заданной температуры. Оплавление достаточно равномерное, длительное (определяется припуском $\Delta_{оп}$ и скоростью $v_{оп}$), интенсивное и устойчивое (определяется скоростью оплавления $v_{оп}$ и плотностью тока). Указанный характер оплавления необходим для образования на торцах оплавляемых деталей сплошной пленки расплавленного металла от ($T_1 > T_{плав}$) (фиг. 4, а), облегчающей защиту нерасплавленного металла от окисления, и для нагрева деталей до температуры T_0 , допускающей пластическую деформацию при заданном $p_{ос}$, на длине l_s (фиг. 4, а), достаточной для осадки на $\Delta_{ос}$. Поддержание расплавленной пленки на торцах облегчается при увеличении количества перемычек, разрушающихся в единицу времени, и при уменьшении градиента температуры у торцов $\left(\frac{dT}{dx}\right)$. Осадка со скоростью $v_{ос}$, достаточной для устранения зазора между оплавленными торцами до окончания кристаллизации пленки расплавленного металла или образования на ней тугоплавких окислов (хрома, алюминия и др.), на величину $\Delta_{ос}$, достаточную для удаления из зазора расплавленного металла и полного закрытия кратеров.

Параметры сварки оплавлением. Суммарная установочная длина

$$2l_n = 2l_k + \Delta_{оп} + \Delta_{ос},$$

где $2l_k$ — расстояние между электродами в конце сварки; $\Delta_{оп}$ и $\Delta_{ос}$ — припуски на оплавление и осадку.

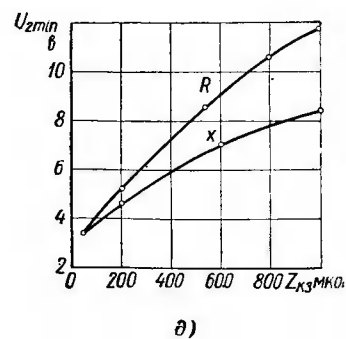
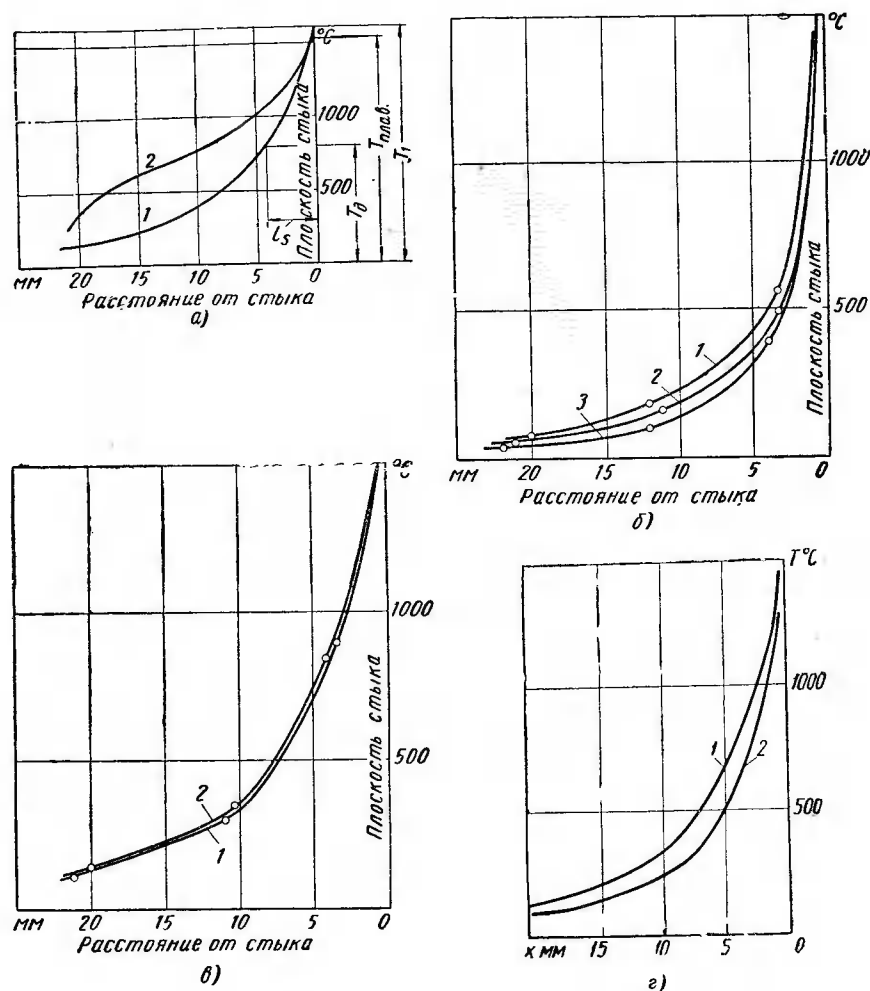
Для листов толщиной $s = 1-4$ мм, во избежание искривления и смещения кромок при осадке, $2l_k \leq (3 \div 4)s$ и $l_n \approx (4 \div 5)s$.

При сварке из одинакового материала труб диаметром D , толщиной стенки s $l_n = (0,5 \div 1)D$, но не более $(6 \div 8)s$; при сварке прутков диаметром D $l_n = (0,5 \div 1,5)D$.

При сварке прутков и труб из разнородных материалов их установочная длина различна (табл. 3).

Температура подогрева при сварке стали 800—1100°; длительность подогрева — от нескольких секунд до нескольких минут: при сварке труб сечением 500 мм² 3—5 сек.; при сварке рельсов 1—3 мин.; при сварке толстостенных труб сечением до 20 000 мм² 3—8 мин. Равномерность подогрева уменьшается с увеличением отношения периметра сечения к его площади (фиг. 5).

Припуск на оплавление $\Delta_{оп}$ и скорость оплавления $v_{оп}$ существенно влияют на температурное поле в свариваемых деталях. С увеличением $\Delta_{оп}$ (при неизменной средней скорости $v_{оп}$) средняя температура торцов растет, а ее градиент понижается до предель-

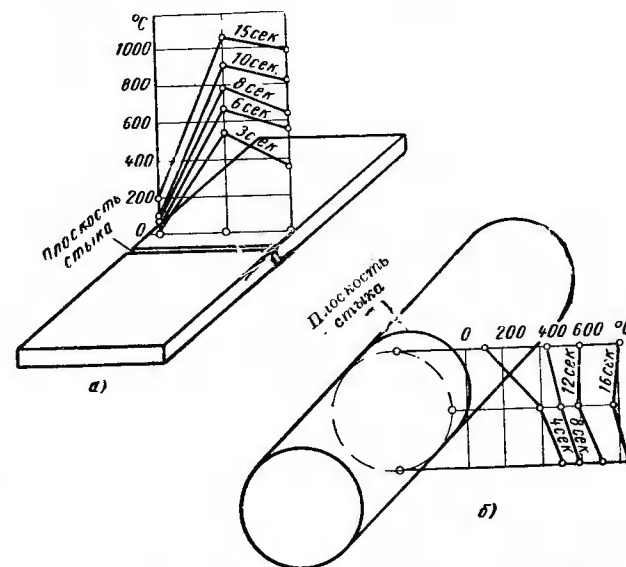


Фиг. 4. Распределение температуры вдоль свариваемой детали перед осадкой: а — при сварке стержней из стали Ст. 3 диаметром 25 мм; 1 — непрерывным оплавлением; 2 — оплавлением с подогревом; б — при сварке стержней из стали Ст. 3 диаметром 25 мм с различной средней скоростью оплавления на величину $\Delta_{оп} = 3,7$ мм; 1 — $v_{оп} = 1$ мм/сек; 2 — $v_{оп} = 1,5$ мм/сек; 3 — $v_{оп} = 2,7$ мм/сек; в — при сварке труб из стали 20Т диаметром 38 × 4,5 мм при небольшом изменении напряжения в сварочной цепи (непрерывное оплавление на 3,5 мм со средней скоростью 1 мм/сек; 1 — $U_{2,0} = 5,2$ в; 2 — $U_{2,0} = 5,8$ в; 3 — при сварке на машинах с малым (1) и большим (2) сопротивлением; 3 — зависимость минимального напряжения, необходимого для поддержания устойчивого оплавления, от сопротивления машины, повышающегося за счет увеличения активной (R) или индуктивной (X) его составляющей

3. Установочная длина прутков и труб из разнородных материалов при сварке оплавлением

Материал		Ориентировочная установочная длина в долях диаметра детали		Отношение установочных длин
Первая деталь	Вторая деталь	Первая деталь	Вторая деталь	
Малоуглеродистая сталь	Углеродистая сталь	1,0	0,5	1,5—2,0
Малоуглеродистая или низколегированная сталь	Аустенитная сталь	1,2	0,5	2,0—2,5
Углеродистая сталь	Быстрорежущая сталь	0,75	0,5	1,3—1,5
Сталь	Латунь	1,5	1,5	1,0—1,2 *
Сталь	Медь	2,5	1,0	2,0—2,5 *

* Оплавляется главным образом сталь.



Фиг. 5. Изменение температуры на расстоянии 3—5 мм от торца в процессе подогрева: а — листа из стали Ст. 3 сечением 160 × 3 мм; б — стержня диаметром 32 мм из той же стали.

ного, близкого к квазистационарному, состояния. При неизменном $\Delta_{оп}$ с увеличением $v_{ст}$ градиент температуры растет (фиг. 4, б); одновременно повышается интенсивность процесса, что приводит к повышению качества сварки (фиг. 6, а). Однако чрезмерное увеличение скорости оплавления, несмотря на повышение его интенсивности, приводит к понижению качества сварки из-за ухудшения условий нагрева (см. фиг. 4, б).

При сварке с подогревом скорость оплавления может быть постоянной или переменной; при сварке непрерывным оплавлением она изменяется от 0

$\div 12 \text{ кг/мм}^2$, теплоустойчивых перлитных сталей $\rho_{ос} = 5 \div 15 \text{ кг/мм}^2$, жаропрочных сталей $\rho_{ос} = 15 \div 25 \text{ кг/мм}^2$, а при сварке специальных жаропрочных сплавов $\rho_{ос}$ может достигать $35\text{--}50 \text{ кг/мм}^2$. Удельное давление осадки увеличивается с увеличением градиента температуры у стыка (при сварке с подогревом $\rho_{ос}$ уменьшается на $25\text{--}50\%$ по сравнению с $\rho_{ос}$ при сварке непрерывным оплавлением). Чем выше $\rho_{ос}$, тем ниже температура T_d на границе зоны пластической деформации (фиг. 7). Ширина этой зоны для обеих деталей $2l_s$ обычно составляет $(4\div 6) \Delta_{ос}$. По величинам T_d и l_s можно определить необходимые параметры температурного поля, отвечающие конкретным условиям сварки.

В табл. 4 приведены основные параметры режима сварки стержней из малоуглеродистой стали непрерывным оплавлением и оплавлением с подогревом. Сварка непрерывным оплавлением стержней диаметром более 40 мм и других деталей большого компактного сечения возможна при изменении напряжения во время оплавления или при использовании тока пониженной частоты ($5\text{--}10 \text{ гц}$).

Дефекты сварки и возможные причины их образования указаны в табл. 5.

4. Ориентировочная длительность сварки оплавлением деталей из малоуглеродистой стали и припуски (суммарные для обеих свариваемых деталей)

Диаметр свариваемых деталей в мм	Сварка с подогревом					Сварка непрерывным оплавлением			
	Время в сек.		Припуск в мм			Время в сек.	Припуск в мм		
	на подогрев	на оплавление	общий	на подогрев и оплавление	на осадку		общий	на оплавление	на осадку
5	—	—	—	—	—	2	6	4,5	1,5
10	—	—	—	—	—	3	8	6	2
15	3	4	9	6,5	2,5	6	13	10,5	2,5
20	5	6	11	7,5	3,5	10	17	14	3
30	8	7	16	12	4	20	25	21,5	3,5
40	20	8	20	14,5	5,5	40	40	35,5	4,5
50	30	10	22	15,5	6,5	—	—	—	—
70	70	15	26	19	7	—	—	—	—
90	120	20	32	24	8	—	—	—	—

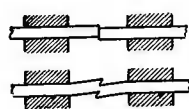
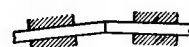
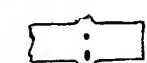
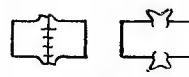
Техника сварки оплавлением. Сечения деталей вблизи стыка должны быть одинаковыми для обеспечения одинакового нагрева и пластической деформации при осадке (фиг. 8).

Отклонения в размерах свариваемых деталей (во избежание неодинакового их нагрева) не должны превышать 15% по диаметру круглых стержней и по толщине стенки трубы и 10% — для стороны детали квадратного сечения.

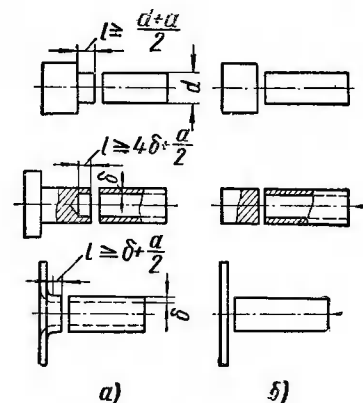
Подготовка стальных деталей к сварке состоит в обрезке и очистке их наружной поверхности от ржавчины и толстого слоя окалины на участке, зажимаемом в электродах; очистка производится проволочной щеткой, наждачным кругом, дробеструйным аппаратом, травлением, обкаткой в барабане и т. п. При сварке непрерывным оплавлением деталей большого сечения (прутков и труб) иногда на одной или обеих деталях делается конусная подготовка, облегчающая возбуждение оплавления; в остальных случаях торцы обрезаются перпендикулярно. Точность торцовки должна быть такой, чтобы при сборке деталей в машине местный зазор между торцами не превышал при неавтоматической сварке с подогревом $0,2 \Delta_{ос}$, при автоматической сварке с подогревом $0,5\text{--}0,8 \text{ мм}$, при сварке непрерывным оплавлением $0,10 \Delta_{ос}$.

Зажатие деталей в электродах при сварке с упорами, воспринимающими основное усилие осадки, должно обеспечивать хороший электри-

5. Дефекты при сварке оплавлением

Наименование дефекта	Эскиз дефекта	Причины образования дефекта
Дефекты геометрической формы		
Смещение кромок		Неправильная регулировка электродов; недостаточная жесткость зажимов или машины в целом; неправильная форма заготовок; чрезмерная установочная длина; перегрев
Перелом оси		Неправильная установка деталей или недостаточная жесткость машины
Дефекты макроструктуры		
Незакрытые кратеры		Недостаточная осадка
Надрывы (наружные — слева, в сечении — справа)		Перегрев металла
Расслоение между волокнами металла		Значительное загрязнение металла и перегрев
Рыхлость в околостыковой зоне (иногда микропоры)		Перегрев при значительном интервале температур солидуса и ликвидуса
Дефекты микроструктуры		
Сплошные неметаллические включения в плоскости стыка		Загрязнение основного металла включениями; значительное окисление при сварке (из-за недостаточной интенсивности и устойчивости оплавления, плохого нагрева, малой скорости осадки и др.).
Мелкие неметаллические включения в стыке		Недостаточная осадка в сочетании с перегревом и окислением

ческий контакт и правильное взаимное положение деталей. Для этого длина контактной части электродов должна быть не меньше $(0,5 \div 0,7) D$ (где D — диаметр свариваемых деталей), а усилие зажатия P_z — не меньше $0,5 P_{ос}$. При сварке без упоров электроды передают трением полное усилие осадки; длина контактной части электродов должна составлять $(2 \div 3) D$. Усилие зажатия $P_z > k P_{ос}$, где k — коэффициент, зависящий от материала электродов и свариваемых деталей, от состояния их поверхности и от конструкции электродов (k больше при плоских и меньше при призматических электродах). С увеличением коэффициента трения k уменьшается. При сварке прутков и труб из горячекатаной перлитной стали в медных электродах $k \approx 1,5$, в электродах из сплавов высокой твердости ($HV = 120 \div 160 \text{ кг/мм}^2$) $k \approx 2,0$. При сварке листов из горячекатаной перлитной стали $k = 2,75 \div 3$; при сварке горячекатаной аустенитной стали k увеличивается на 25–30%.



Фиг. 8. Подготовка деталей к сварке оплавлением: а — правильная; б — неправильная (а — суммарный припуск на оплавление и осадку).

Токоподвод при сварке тонких листов, труб и прутков диаметром до 30–40 мм — односторонний (обычно к нижним электродам); при большем диаметре деталей целесообразнее применять токоподвод с одной стороны к нижнему, с другой — к верхнему электроду; этим обеспечивается более равномерный нагрев и оплавление. При сварке труб большого диаметра ($\leq 200 \text{ мм}$) требуется равномерный токоподвод по всему периметру, осуществляемый применением кольцевого трансформатора.

Сварка тонких листов возможна при отношении их ширины к толщине $\frac{B}{s} \leq 450 \div 500$. Листы толщиной

$s \leq 1 \text{ мм}$ лучше сваривать в изогнутых электродах (изгиб кромок повышает ее жесткость и предупреждает выпучивание при осадке). Благодаря очень большим усилиям зажатия необходимость в очистке кромок по высоте при установке в машине не должно превышать 0,1–0,15 мм. Широкие листы иногда устанавливаются с клиновым зазором (около 1 мм на 1 м). Утолщение в месте сварки (грат и высаженный при осадке металл) удаляется протягиванием сваренных листов между неподвижными ножками, косо установленными по отношению к линии стыка (плужковый гратосниматель), или резцами, перемещающимися вдоль стыка неподвижно закрепленных листов (иногда с последующей обкаткой стыка роликами или зачисткой наждачным кругом для получения более гладкой поверхности).

Кольца с отношением внутреннего диаметра к диаметру или толщине заготовки больше 10 могут свариваться с одним стыком; более жесткие кольца, например звенья цепей диаметром более 20 мм, обычно сваривают с двумя стыками (из двух полуколец). Концы заготовок, зажимаемые в электродах, часто делают прямыми (облегчается установка). Грат и высаженный металл обрубает на прессе, удаляют резцами или зачищают наждачным кругом. Калибровка колец с одновременной проверкой качества сварки производится растяжением кольца в специальном приспособлении (экспандере). Наибольшая точность кольца достигается при последующем его обкатке до заданного размера (технология изготовления обода колеса автомобиля). Вследствие шунтирования тока удельная мощность при сварке колец (с одним стыком) увеличивается на 40–100% по сравнению с мощностью при сварке прямых деталей.

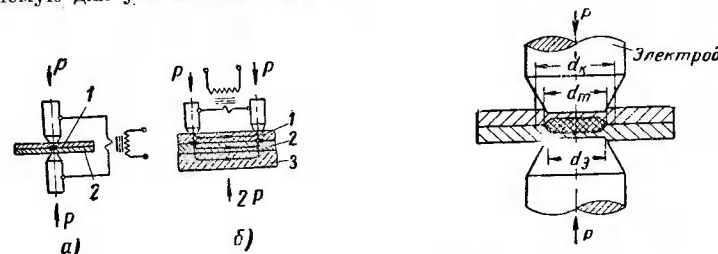
При сварке труб во избежание потери устойчивости стенки трубы толщиной s при осадке максимальный диаметр трубы не должен превышать $20s$

при $s \leq 2 \text{ мм}$, $25s$ при $s = 2,5 \div 5 \text{ мм}$ и $30s$ при $s \geq 6 \text{ мм}$. При оплавлении и осадке в трубе образуется грат и высаживается металл, что уменьшает ее внутренний диаметр на $(1 \div 2) s$. Это утолщение удаляется немедленно после сварки (до остывания стыка) пробивкой дорном (при прямолинейных трубах), продувкой сжатым воздухом или смесью кислорода (80%) и воздуха (20%), прогонкой специального снаряда, снабженного режущей кромкой (при прямолинейных или гнутых трубах). Сварка труб обычно производится без упоров и требует применения надежных зажимных устройств.

ТОЧЕЧНАЯ СВАРКА

Точечная сварка — вид контактной сварки, при котором детали соединяются в отдельных точках, причем одновременно могут свариваться одна, две или несколько точек; их положение определяется размещением или установкой электродов точечной машины.

Точечная сварка может быть двухсторонней или односторонней. При двухсторонней сварке (фиг. 9, а) необходимый нагрев осуществляется всем током, протекающим между электродами, расположенными по обе стороны деталей 1 и 2; при односторонней сварке (фиг. 9, б) ток распределяется между верхней и нижней деталями 1 и 2 и медной подкладкой 3 (если сварка ведется на подкладках), как показано стрелками; сварка осуществляется током, протекающим через нижнюю деталь и медную подкладку, применяемую для увеличения этого тока.



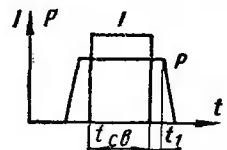
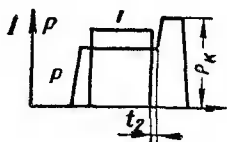
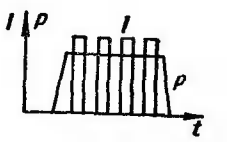
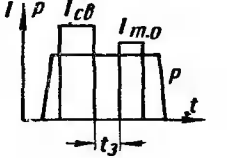
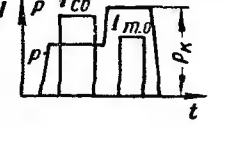
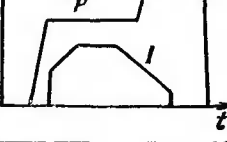
Фиг. 9. Точечная сварка: а — двухсторонняя; б — односторонняя.

Фиг. 10. Схематический разрез сварной точки.

Основной технологический вариант точечной сварки — одноимпульсная сварка с постоянным давлением (табл. 6, п. 1), при котором после зажатия деталей усилием P (не изменяемым в процессе сварки) включается ток в виде одного импульса длительностью $t_{св}$ и происходит местный нагрев теплотой, выделяемой в контакте между деталями и в самих деталях. Плотность тока в центральном столбике металла диаметром d_m (фиг. 10) обычно наибольшая; он нагревается наиболее интенсивно. Особенно быстро нагреваются слои металла, прилегающие к контакту, сопротивление которого R_k под действием силы P быстро снижается почти до 0 (фиг. 11, а—в); однако тепло в близких к контакту слоях продолжает и после этого выделяться более интенсивно вследствие высокого удельного сопротивления ранее нагретого металла (контактное сопротивление создает концентратор теплоты). Нагрев центрального столбика сопровождается отводом теплоты в окружающий металл и в электроды. В результате наиболее интенсивно нагревается заштрихованное на фиг. 10 ядро точки. (Тепловые процессы при точечной сварке см. т. 1, гл. 11). Вначале здесь образуются общие зерна, начинается сварка в пластическом состоянии. При дальнейшем нагреве ядро точки расплавляется, образуя после охлаждения прочное соединение. Жидкий металл в ядре удерживается от вытекания (выплеска) кольцом пластичного металла диаметром d_k , сжатым силой P .

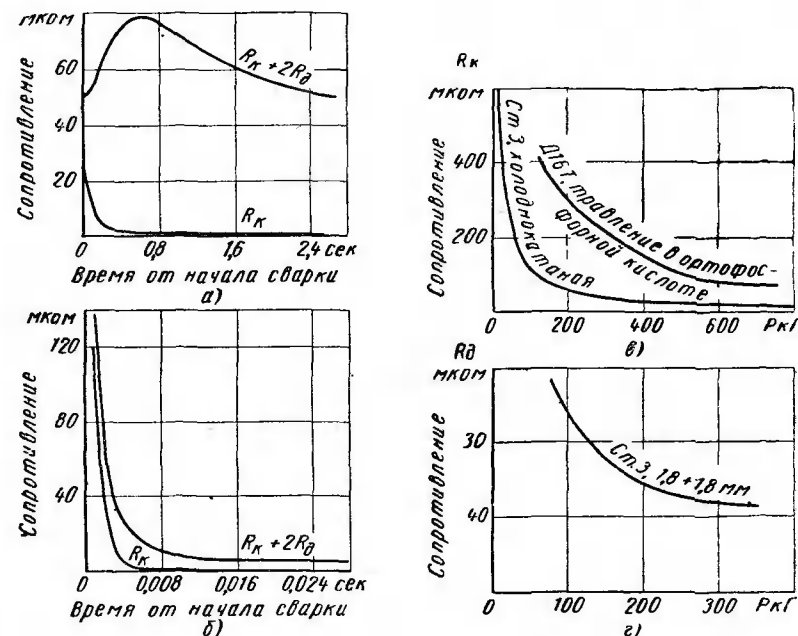
Прочность сварной точки определяется качеством металла в ее ядре и в окружающей зоне термического влияния (в особенности при сварке закаляющихся сталей, а также термически обработанных или упрочненных

6. Применение различных технологических вариантов точечной сварки (переменным током)

№ по порядку	Характеристика процесса	Схема цикла	Условия применения
1	Одноимпульсная сварка с постоянным давлением		Сварка деталей из незакаливающихся сталей при толщине каждой детали до 4—6 мм
2	Одноимпульсная сварка с «ковочным» давлением		Сварка ответственных деталей из легких сплавов толщиной до 1—1,5 мм; сварка стали толщиной более 6 мм
3	Многоимпульсная сварка с постоянным давлением		Сварка горячекатанной стали толщиной более 5 мм
4	Сварка при постоянном давлении с последующей термической обработкой		Сварка деталей из закаливающих (углеродистых и легированных) сталей толщиной до 4—6 мм
5	Сварка при переменном давлении с термической обработкой		Сварка деталей из закаливающейся стали толщиной более 6 мм
6	Сварка с постепенным нарастанием и спадом тока		Сварка ответственных деталей из алюминиевых сплавов толщиной до 1,5—2 мм

наклепом легких сплавов) и сечением ядра. Последнее зависит от положения изотермы температуры плавления металла к концу сварочного нагрева и является функцией технологического процесса. При соответствующих параметрах процесса и толщине более тонкой из свариваемых деталей $s > 0,5$ мм диаметр точки $d_m \approx 2s + 3$ мм.

Усадка при кристаллизации может вызывать рыхлость в ядре. Выдержка остывающей точки под давлением в течение времени t_1 способствует уплотнению ядра, а также предупреждает прожог, неизбежный при снятии P до выключения тока.



Фиг. 11. Сопротивление при точечной сварке: а — изменение суммарного сопротивления $R_{\kappa} + 2R_{\partial}$ и сопротивления контакта между свариваемыми деталями R_{κ} в процессе сварки (детали толщиной 4 мм из стали Ст. 3, $P = 800$ кг); б — то же, детали толщиной 1 мм из дюралюмина; в — зависимость сопротивления холодного контакта между свариваемыми деталями от усилия их сжатия P ; г — зависимость собственного сопротивления холодных свариваемых деталей R_{κ} от усилия P .

Для лучшего уплотнения ядра применяется «ковочное» давление P_{κ} (табл. 6, п. 2). Пауза $t_2 = 0,1 \div 0,15$ сек.; при меньшей паузе t_2 возможен выплеск металла из ядра, при большей — ядро успевает кристаллизироваться при малом давлении и приложение P_{κ} бесполезно.

При необходимости в постепенном нагреве (большая толщина деталей, плохое состояние их поверхности) применяется многоимпульсная сварка 4—8 импульсами тока (табл. 6, п. 3).

Для устранения хрупкости при быстром охлаждении сварной точки (сварка закаливающих сталей) применяется повторный нагрев — отпуск (табл. 6, п. 4). Длительность паузы t_2 определяется составом стали и толщиной деталей. Полный цикл сварки с отпуском длится от 1 до 5—10 сек.

При большой толщине деталей термическая обработка сочетается с «ковочным» давлением (табл. 6, п. 5).

Для устранения перегрева материала в контакте электрод—деталь, уменьшения износа электродов и улучшения качества поверхности деталей из алю-

миниевых сплавов в месте сварки иногда применяют модулирование импульса сварочного тока с постепенным его нарастанием и спадом (табл. 6, п. 6).

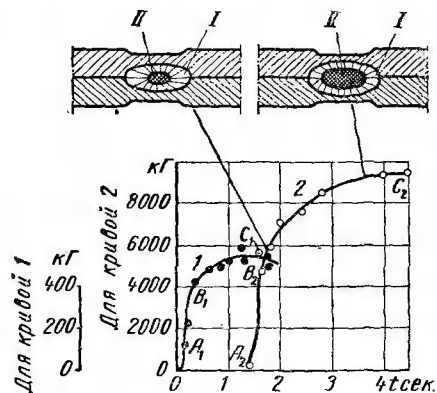
При изготовлении крупных узлов применяются специальные приемы двухточечной и многоточечной сварки (табл. 7).

Условия качественной сварки: сжатие свариваемых деталей силой P , достаточной для обеспечения надежного контакта между ними до включения тока, для предупреждения выплеска и уплотнения металла в ядре при кристаллизации; нагрев, достаточный для расплавления ядра заданных размеров. Температурное поле при точечной сварке определяется размером контактной площадки электродов (их диаметром), током, длительностью его включения и сопротивлением деталей R_d и контакта между ними R_k , зависящим от свойств металла и усилия P (с увеличением P уменьшается как R_k , так и R_d (фиг. 11, в и г)).

Параметры точечной сварки

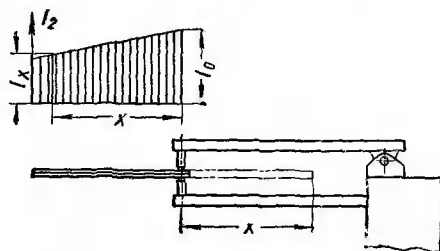
Один из основных параметров точечной сварки — длительность включения сварочного тока $t_{св}$, определяемая свойствами и толщиной материала. Металлы с высокой электро- и теплопроводностью должны свариваться с кратковременным интенсивным нагревом (на «жестком» режиме). При прочих неизменных условиях увеличение $t_{св}$ существенно влияет на размеры ядра точки и на ее прочность (фиг. 12, 1 — зона сварки без расплавления; II — расплавленное ядро). Участки кривых A_1B_1 и A_2B_2 соответствуют сварке без расплавления ядра, B_1C_1 и B_2C_2 — с расплавлением. Наиболее устойчивые качественные результаты дает сварка при $t_{св}$, близкой к точке C_1 (C_2), так как при этом отклонения величины $t_{св}$ от заданной мало влияют на прочность сварной точки. Дальнейшее увеличение $t_{св}$ ведет к перегреву и выплеску.

При неизменных прочих условиях изменение тока $I_{св}$ влияет на



Фиг. 12. Зависимость нагрузки, разрушающей сварную точку, от длительности сварки (при неизменных $I_{св}$ и P);

1 — сварка стали Ст. 3 толщиной 1 мм;
2 — сварка стали Ст. 12-2 толщиной 5 мм.



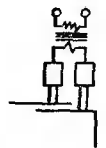
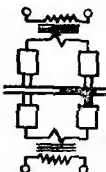
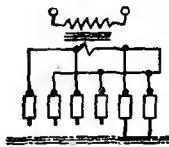
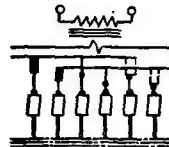
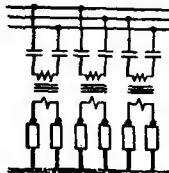
Фиг. 13. Изменение тока в сварочной цепи при введении в контур машины магнитного материала.

прочность сварной точки так же, как изменение $t_{св}$. Поддержание постоянства $I_{св}$ труднее, чем обеспечение постоянства $t_{св}$ (последнее обеспечивается прерывателями, см. т. 1, гл. IX), так как $I_{св}$ может изменяться в зависимости от различных факторов, к числу которых относятся: колебание напряжения в сети; изменение сопротивления токоведущих частей сварочной машины вследствие их нагрева или загрязнения контактов; непостоянство сопротивления свариваемых деталей (плохая очистка поверхности, переменное давление в контакте, колебания в толщине металла); шунтирование части тока через соседние точки и случайные контакты между деталями; введение в контур машины магнитного материала (например, при перемещении свариваемых деталей из малоуглеродистой стали на величину x ток уменьшается с I_0 до I_x , фиг. 13). Поэтому $I_{св}$ необходимо устанавливать в пределах, соответствующих максимальной прочности, так как при этом неизбежные колебания $I_{св}$ меньше влияют на результаты сварки.

7. Специальные способы точечной сварки малоуглеродистой стали

Наименование способа	Эскиз	Толщина листа в мм	Характеристика и область применения
Двухсторонняя сварка в кондукторе 1 «пистолетом» 2 прижимаемым вручную		$\leq 0,8$	Малое усилие сжатия и нестабильное качество сварки; сварка в автомобилестроении громоздких пространственных узлов в труднодоступных местах
Двухсторонняя сварка в кондукторе 3 пневматической головкой 4 («домкратом»)		$\leq 2,5$	Стабильное качество сварки. Применяется в автомобилестроении при изготовлении громоздких узлов
Односторонняя двухточечная сварка без шунта		$\leq 2,5$	Ток полностью протекает через контакт между свариваемыми деталями. Приварка обшивки к каркасам (вагоностроение)
Односторонняя двухточечная сварка с шунтом на медной подкладке 5		1,5—2,0	Ток частично шунтируется через верхнюю деталь. Сварка крупных узлов

Продолжение табл. 7

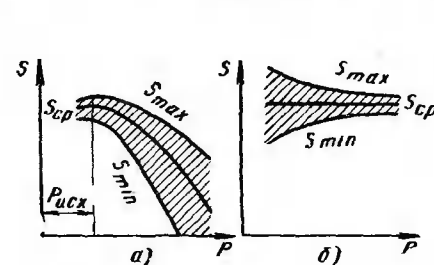
Наименование способа	Эскиз	Толщина листа в мм	Характеристика и область применения
Односторонняя одноточечная сварка		$\leq 2,5$	Приварка листов к обшивке
Двухточечная двухсторонняя сварка		≤ 5	Ток полностью протекает через контакт между деталями. Высокая производительность и качество. Сварка ответственных узлов больших габаритных размеров (боковина вагона)
Многоточечная сварка с поочередным зажатием электродов		$\leq 1,5$	Часть тока шунтируется. Высокая производительность. Сварка жестких узлов больших габаритных размеров (двери автомобиля)
Последовательная многоточечная сварка с одновременным зажатием деталей всеми электродами		1,5—2,0	То же, с меньшими деформациями. Сварка крупных узлов (вагоностроение)
Одновременная многоточечная сварка с питанием от нескольких трансформаторов		1,5—2,0	То же; наиболее производительный способ многоточечной сварки

Оптимальный ток быстро растет с увеличением электропроводности свариваемого металла; если $I_{св}$ при сварке малоуглеродистой стали принять за 1, то при сварке аустенитной стали и жаропрочных сплавов $I_{св} \approx 0,6 \div 0,8$ а при сварке легких сплавов $I_{св} \approx 3 \div 3,5$.

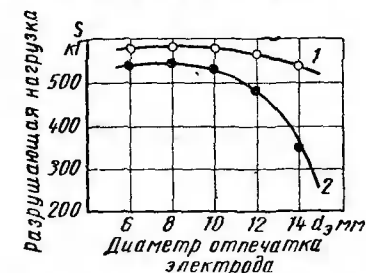
Характерный параметр точечной сварки — плотность тока в контакте электрод — деталь. При сварке малоуглеродистой стали (толщиной 1—3 мм) $j = 160 \div 400 \text{ а/мм}^2$; при сварке аустенитной хромоникелевой стали $j = 100 \div 300 \text{ а/мм}^2$, а при сварке алюминиевых сплавов $j = 400 \div 800 \text{ а/мм}^2$.

Усилие сжатия P влияет на электрическое сопротивление (см. фиг. 11, в и г) и, как следствие, на количество выделяемой при сварке теплоты, а также на степень уплотнения ядра точки. Из-за неизбежной неплотности прилегания собранных под сварку деталей часть (P_θ) приложенного к электродам усилия P затрачивается на деформирование деталей. Вследствие неплотности P_θ изменяется усилие $P_c = P - P_\theta$, действующее в контакте между деталями.

Чем больше $\frac{P}{P_\theta}$, тем меньше колебания P_c и тем устойчивее условия и результаты сварки. При прочих неизменных условиях увеличение P ведет к



Фиг. 14. Типовые зависимости прочности сварных точек от усилия P ; а — изменяется только усилие P ; б — увеличение усилия P сопровождается увеличением тока или длительности его включения (S — разрушающая нагрузка)



Фиг. 15. Зависимость прочности сварной точки от диаметра контактной поверхности электродов (сварка стали Ст. 3 толщиной 1 мм): 1 — режим близкий к точке С (см. фиг. 12); 2 — режим, близкий к точке В (см. фиг. 12); S — разрушающая нагрузка

уменьшению количества выделяемой теплоты, к уменьшению размеров расплавленного ядра и прочности точки (фиг. 14, а). Если увеличение P сопровождается увеличением $I_{св}$ или $t_{св}$, достаточным для сохранения средней прочности точки на постоянном уровне, то качество становится более устойчивым (фиг. 14, б). С уменьшением $t_{св}$ суживается зона нагрева и затрудняется пластическая деформация, поэтому усилие P , необходимое для уплотнения ядра при сварке на «жестком» режиме, на 50—100% больше, чем при сварке на «мягком» режиме. «Ковочное» давление в 1,5—3 раза больше P (чем «жесткое» режим, тем больше это отношение). Необходимое удельное давление $p = \frac{P}{F_k}$ (где F_k — площадь

контакта электрод — деталь) растет с увеличением жаропрочности свариваемого материала и с уменьшением длительности нагрева. Рекомендуемое удельное давление при сварке малоуглеродистой стали толщиной 1—3 мм — от 4 до 12 кг/мм^2 , при сварке аустенитной стали — от 9 до 18 кг/мм^2 , при сварке алюминиевых сплавов — от 6 до 10 кг/мм^2 . Большие значения соответствуют сварке деталей большей толщины и более жестким режимам. Ковочное давление увеличивается по сравнению с приведенными данными в 1,5—3 раза.

Диаметр контактной поверхности электрода d_3 (диаметр отпечатка электродов на поверхности свариваемых деталей) при конических электродах определяется, в основном, их размером (при сферических — радиусом сферы), усилием P и условиями нагрева. Изменение d_3 может существенно влиять на размеры и прочность точки, в особенности при недостаточном $I_{св}$ или $t_{св}$ (фиг. 15).

В табл. 8 приведены ориентировочные режимы точечной сварки малоуглеродистой стали на высокопроизводительных автоматических машинах.

8. Ориентировочные режимы точечной сварки малоуглеродистой стали на автоматических машинах

Толщина каждой детали в мм	Диаметр кон- тактной по- верхности электродов в мм	Усилие, при- ложенное к электро- дам, в кг	Продолжи- тельность включения сварочного тока в сек.	Ток в а	Мощность машины в квв
0,5	4	50—100	0,1—0,2	4 000—5 000	10—20
1,0	5	100—200	0,2—0,4	6 000—8 000	20—50
1,5	6	150—350	0,25—0,5	8 000—12 000	40—60
2,0	8	250—500	0,35—0,6	9 000—14 000	50—75
3,0	10	500—800	0,6—1,0	14 000—18 000	75—100
4,0	11	600—900	0,8—1,2	15 000—20 000	100—150
5,0	13	800—1000	0,9—1,5	17 000—24 000	150—200
6,0	15	1000—1400	1,2—2,0	20 000—26 000	200—300

Состояние поверхности деталей влияет на контактное сопротивление. Пленки окислов повышают сопротивление и уменьшают необходимый ток $I_{св}$. Недостаточность сопротивления естественной пленки ведет к нестабильности результатов сварки. Кроме того, большое сопротивление контакта деталь — электрод вызывает перегрев и быстрый износ электродов. Как правило, детали перед точечной сваркой очищаются от грязи и естественной пленки окислов.

Точечная сварка неочищенной горячекатаной стали толщиной $s \geq 2$ мм облегчается при наличии на одной из деталей рельефов, предварительно выпланированных в местах будущих точек. При рельефно-точечной сварке получают точки правильной формы и стабильных размеров; значительно уменьшается износ электродов, контактную площадку которых в данном случае можно увеличивать до $d = 20 \div 25$ мм.

Сварка неочищенной стали облегчается также при введении в первичную цепь точечной машины специального дросселя и применении повышенного вторичного напряжения холостого хода. Повышенное напряжение облегчает пробитие слоя окалины, а дроссель ограничивает сварочный ток, что предупреждает перегрев и прожоги при сварке.

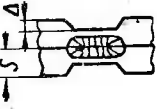
Частота тока в подавляющем большинстве случаев 50 гц. Повышение частоты (до 300—2500 гц) позволяет уменьшить размеры трансформатора и всей установки и иногда применяется при односторонней сварке изнутри изделий малого габарита. Ток частотой 5—10 гц может эффективно применяться для питания сварочного трансформатора машин, предназначенных для сварки деталей больших габаритных размеров, так как с уменьшением частоты резко понижается индуктивное сопротивление машины, повышается ее $\cos \phi$ и к. п. д. Постепенное нарастание тока низкой частоты на протяжении каждого его полу-периода облегчает сварку деталей с плохо подготовленной поверхностью.

Характеристика основных дефектов точечной сварки и вызывающих их причины приведена в табл. 9. Наиболее опасный из них — непровар, так как он обычно не обнаруживается внешним осмотром и может привести к полной потере прочности соединения.

Управление процессом точечной сварки на неавтоматическом оборудовании производится оператором по степени нагрева зоны сварки. В автоматических машинах аппаратура управления обеспечивает заданную последовательность отдельных операций и установленную длительность включения тока. Постоянство $t_{св}$ не гарантирует постоянства условий нагрева; поэтому в процессе

9. Дефекты точечной сварки

Вид дефекта	Эскиз	Влияние дефекта на качество соединения	Основные причины дефекта
Непровар (а — отсутствие литого ядра; б — малые размеры литого ядра)		Малая и нестабильная прочность; хрупкость соединения	Режим сварки не соответствует оптимальному (см. фиг. 12). Недостаточный нагрев вследствие: а) уменьшения $I_{св}$ (падение напряжения, пунтирование, введение магнитного металла в контур машины, рост сопротивления сварочной машины); б) уменьшения $t_{св}$ (нечеткая работа прерывателя, преждевременное выключение тока при неавтоматической работе); в) уменьшения сопротивления свариваемых деталей (увеличение d , случайное увеличение P)
Наружный выплеск		Порча поверхности деталей	Перегрев поверхности деталей, как результат а) плохой очистки деталей или загрязнения электродов; б) малого P ; в) большого $I_{св}$
Внутренний выплеск		Обычно незначительное; возможно увеличение глубины вмятин на поверхности деталей и увеличение рыхлости в ядре. При большом выплеске — «пустое» ядро с резким понижением прочности	Недостаточное P , перегрев металла в ядре

Вид дефекта	Эскиз	Влияние дефекта на качество соединения	Основные причины дефекта
Прожог		Надрывы и трещины на наружной поверхности	Загрязнение поверхности деталей или электродов; включение или выключение тока при низком P ; перегрев
Глубокие вмятины		При $\Delta > (0,15 \div 0,2)$ с понижение прочности соединения	Перегрев; чрезмерное удельное давление электродов; выплески
Раковины и поры		Понижение установочной прочности в некоторых типах соединений	Недостаточное P ; загрязнение поверхности деталей
Трещины (сквозные или несквозные)		Понижение прочности	Недостаточное P ; чрезмерно жесткий режим

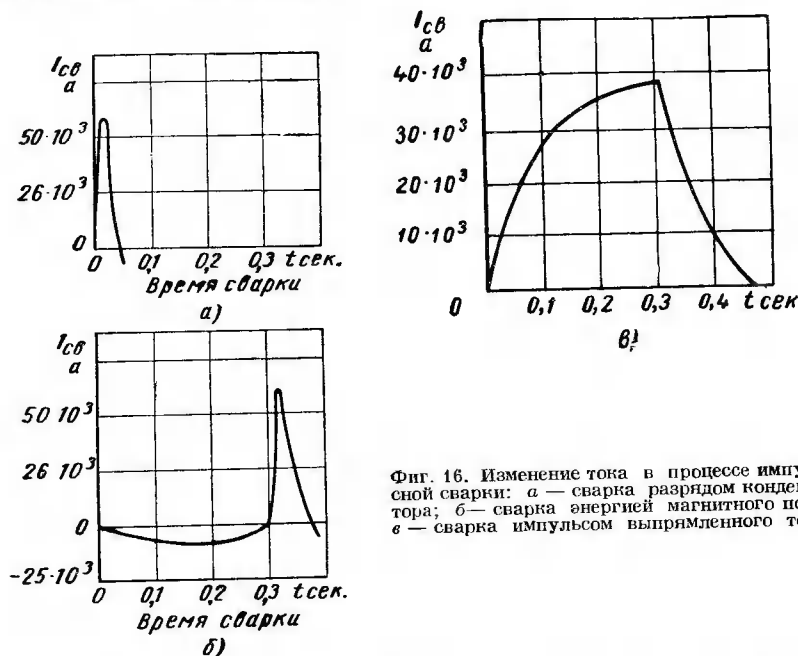
Примечание. Дефекты, связанные со свойствами свариваемых материалов, см. в разделах по сварке этих материалов.

сварки систематически испытываются контрольные образцы. Положительный эффект дает аппаратура, автоматически поддерживающая неизменный ток в первичной цепи сварочного трансформатора. Управление процессом по температуре в контакте электрод — деталь (тепловой контроль) в отдельных случаях дает положительные результаты.

Особенности сварки импульсом постоянного тока и запасенной энергии

В производственной практике применяются: сварка разрядом конденсаторов; энергией, накопленной в магнитном поле, и импульсом выпрямленного гребфазного тока. Основное технологическое преимущество этих способов заключается в использовании при сварке каждой точки одинаковой порции энергии, не зависящей от внешних условий, в частности, от напряжения сети; это повышает устойчивость качества сварки. Лучшие результаты дает сварка на конденсаторных машинах, полностью отдающих энергию конденсаторов в

сварочную цепь, и на машинах с использованием импульса выпрямленного тока. Часть энергии магнитного поля всегда отдается в первичную цепь, причем эта часть тем больше, чем медленнее разрывается первичная цепь при сварке, поэтому количество энергии, используемой для сварки, зависит от состояния выключающих устройств. Стабильность результатов при сварке на машинах с использованием энергии магнитного поля относительно невелика.



Фиг. 16. Изменение тока в процессе импульсной сварки: а — сварка разрядом конденсатора; б — сварка энергией магнитного поля; в — сварка импульсом выпрямленного тока.

При сварке энергией, запасенной в конденсаторах или магнитном поле, ток очень быстро нарастает до максимального значения (фиг. 16); поэтому целесообразно применять ее при сварке материалов с высокой тепло- и электропроводностью (легкие сплавы). Во избежание перегрева требуется повышение (до 50%) усилия сжатия электродов (по сравнению со сваркой переменным током) и более тщательная очистка поверхности металла. При использовании для сварки разряда конденсатора (фиг. 16, а) крутизна кривой тока может уменьшаться с увеличением емкости конденсаторов или увеличением коэффициента трансформации сварочного трансформатора. При сварке импульсом выпрямленного тока сварочный ток нарастает очень плавно (фиг. 16, в), что уменьшает выплески и способствует повышению стойкости электродов. Этот способ является основным при сварке деталей из легких сплавов толщиной более 1,5 мм.

Техника точечной сварки

Подготовка поверхности деталей двухсторонняя, общая или местная производится механическим способом (проволочной щеткой, абразивными кругами) или химическим способом (травлением). Способ очистки определяется маркой свариваемого материала.

Точность изготовления и сборки деталей существенно влияет на качество сварки. Большие зазоры между собираемыми деталями увеличивают воз-

возможность деформации сваренного узла и ведут к нестабильному качеству сварки (вследствие затраты значительного усилия на деформацию неплотно прилегающих деталей). Чем жестче детали и узел, тем точнее должна быть заготовка и сборка (допустимый зазор 0,5–0,8 мм; при жестких штампованных деталях — 0,1–0,2 мм).

Шаг точек (табл. 10) должен быть достаточным для предупреждения недопустимого шунтирования тока через смежные точки, ведущего к низкой и нестабильной прочности точек. Степень шунтирования растет с увеличением электропроводности металла, толщины деталей и их числа в свариваемом пакете.

10. Размещение точек при сварке деталей из стали

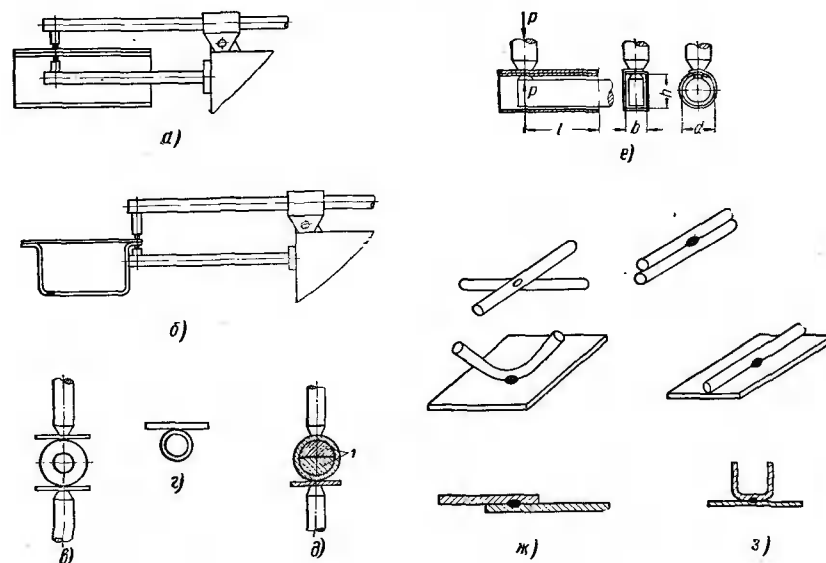
Толщина одной детали в мм	Рекомендуемый минимальный шаг точек в мм		Минимальное расстояние от центра точки до края детали в направлении, перпендикулярном к действующему усилию, в мм	Минимальное расстояние от центра точки до ребер и отбортовок в мм
	при сварке двух деталей	при сварке трех деталей		
1	12	20	6	8
2	18	30	9	12
3	26	40	12	18
4	36	50	14	25
6	50	80	16	30

Примечания: 1. Минимальное расстояние от центра точки до края детали в направлении действующего усилия при односторонних точках должно быть не меньше $2d_m$, а при двухсторонних точках — не меньше $3d_m$, где d_m — расчетный диаметр сварной точки.

2. При сварке легких сплавов минимальный шаг увеличивается на 15%, а при сварке аустенитной стали и жаропрочных сплавов шаг может быть уменьшен на 15%.

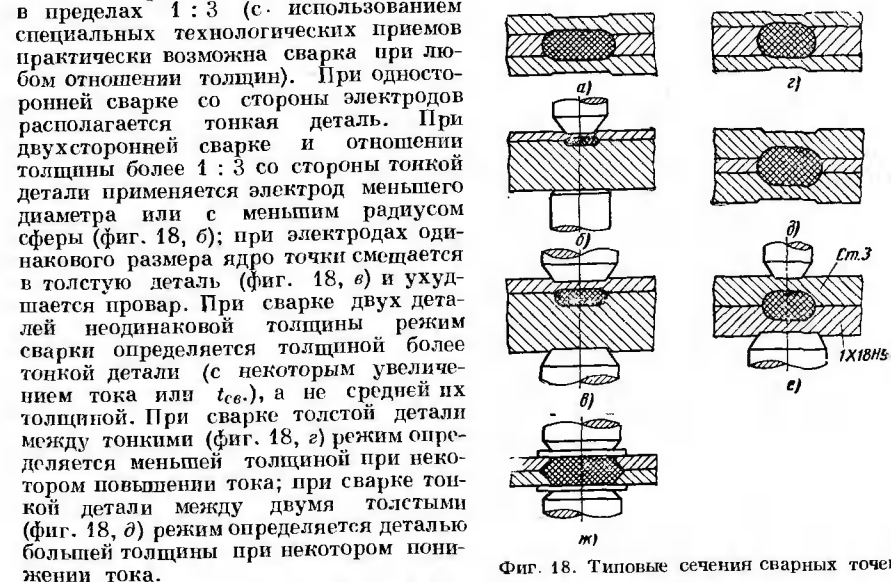
Конструкция сварных узлов должна удовлетворять следующим требованиям: а) масса деталей из ферромагнитного материала, вводимая в контур сварочной цепи машины, должна быть минимальной; при введении таких деталей в контур на величину x изменяется его сопротивление и ток (от I_0 до I_x , см. фиг. 13), что ведет к нестабильности качества (конструкция по фиг. 17, а менее желательна, чем конструкция по фиг. 17, б); б) приложение необходимого усилия к электродам не должно вызывать значительной деформации свариваемого узла и электродов; например, сварка тонких листов с толстостенной трубкой по фиг. 17, в возможна, а с тонкостенной по фиг. 17, г, при диаметре, не допускающем введение электрода внутрь трубки, — невозможна; на фиг. 17, д показан способ сварки тонкого листа с тонкостенной трубкой (I — медная разъемная оправка); при сварке внутри замкнутых узлов (фиг. 17, е) с прямоугольным или круглым отверстием для обеспечения жесткости и прочности электродов из сплавов твердостью не ниже 120 кг/мм^2 размеры отверстий (в мм) должны отвечать следующим зависимостям: $d \geq \sqrt{1,2IP}$ и $bh^2 \geq 0,8IP$, где P — усилие сжатия электродов, определяемое толщиной и материалом свариваемых деталей; в) при сварке должна быть обеспечена возможность свободной местной деформации деталей в зоне свариваемой точки (соединение по фиг. 17, ж полностью удовлетворяет этому требованию, по фиг. 17, з — частично).

Число одновременно свариваемых деталей при односторонней сварке не более двух; при двусторонней — желательно две, допускается три, в исключительных случаях — четыре (с увеличением числа деталей понижается стабильность качества сварки). При сварке трех и более деталей обычно образуется общее литое ядро (фиг. 18, а).



Фиг. 17. Конструктивные особенности узлов при точечной сварке.

Сварка деталей неодинаковой толщины (из одинакового материала) осуществляется без затруднений при отношении их толщин в пределах 1:3 (с использованием специальных технологических приемов практически возможна сварка при любом отношении толщин). При односторонней сварке со стороны электродов располагается тонкая деталь. При двусторонней сварке и отношении толщин более 1:3 со стороны тонкой детали применяется электрод меньшего диаметра или с меньшим радиусом сферы (фиг. 18, б); при электродах одинакового размера ядро точки смещается в толстую деталь (фиг. 18, в) и ухудшается провар. При сварке двух деталей неодинаковой толщины режим сварки определяется толщиной более тонкой детали (с некоторым увеличением тока или $t_{св.}$), а не средней их толщиной. При сварке толстой детали между тонкими (фиг. 18, г) режим определяется меньшей толщиной при некотором повышении тока; при сварке тонкой детали между двумя толстыми (фиг. 18, д) режим определяется деталью большей толщины при некотором понижении тока.



Фиг. 18. Типовые сечения сварных точек.

При сварке деталей из разнородных материалов для одинакового их проплавления со стороны детали с большей электропроводностью применяется электрод меньшего диаметра (фиг. 18, е).

Бесследная сварка (отсутствие заметной вмятины на поверхности одной из свариваемых деталей) достигается при односторонней сварке на медной подкладке и при двухсторонней сварке на медной шине или с одним плоским электродом большого диаметра. Продолжительность сварочного цикла при этом должна быть минимальной.

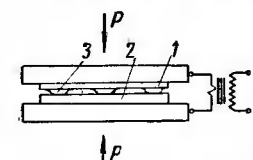
Сварка круглых стержней в крест отличается гарантированным положением и ограниченной площадью контакта между свариваемыми деталями. Благодаря концентрированному тепловыделению и относительно легкой деформации стержней (при большом расстоянии между точками их пересечения) диаметр стержней, свариваемых на той или иной машине, может быть в 3—6 раз больше толщины листов из одинакового материала, свариваемых на этой же машине.

Дополнительные прокладки (толщиной 0,15—0,2 мм, фиг. 18, ж) иногда применяются при сварке материалов с высокой электропроводностью (медные сплавы, алюминий) для уменьшения отвода теплоты в электроды. Недостаток этого приема — выход на поверхность детали литого ядра точки, часто сопровождаемый привариванием прокладки и порчей поверхности деталей. Прокладки успешно применяются при сварке очень тонкой детали с толстой.

Последовательность сварки отдельных точек в узле устанавливается таким образом, чтобы: а) сварить все точки при минимальном пунтировании тока; б) начинать сварку узла с прихваток (точками), разместить их в наиболее ответственных местах конструкции и на трудно деформируемых участках (на закруглениях, вблизи ребер и т. д.); в) чтобы сварочные деформации узла были наименьшими. После прихватки точки в соединении сваривают подряд, а при большой его протяженности сварку ведут от середины к концам.

РЕЛЬЕФНАЯ И Т-ОБРАЗНАЯ СВАРКА

Рельефная и Т-образная сварки — способы контактной сварки, родственные точечной; детали соединяются в одной или нескольких точках, положение которых определяется формой или специальной подготовкой одной из свариваемых деталей. При рельефной сварке (фиг. 19) деталей 1 и 2, зажатых силой P между плоскими электродами (контактными плитами), соединение



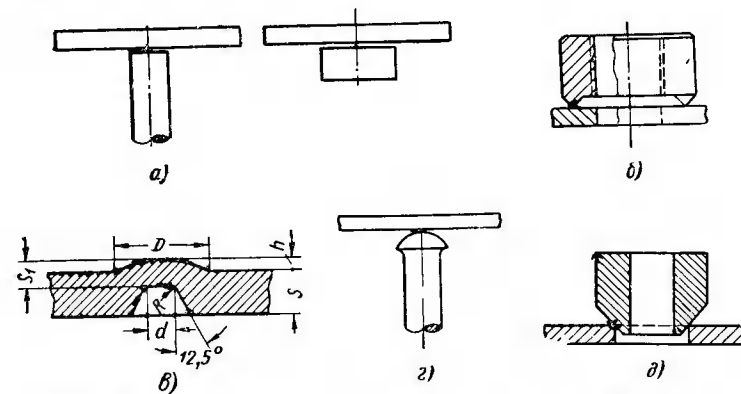
Фиг. 19. Схема рельефной сварки.

образуется в точках, определяемых выступами 3, предварительно выштампованными (входную) в одной из деталей. При Т-образной сварке гладких деталей (фиг. 20, а) соединение образуется в одной или нескольких случайных точках, как правило, не по всей поверхности касания деталей. Для Т-образной сварки в наиболее ответственных местах, например по периметру штуцера (фиг. 20, б), поверхности одной из деталей придается специальная форма (путем механической обработки или горячей штамповки).

Условия качественной сварки: тщательная подготовка деталей к сварке (качественная штамповка и хорошая очистка) и плотное прилегание их в местах сварки, без чего ток распределяется между отдельными точками неравномерно и не достигается их одинаковый прогрев и провар; применение «жестких» режимов сварки, при которых выступы не успевают прогреться на большую глубину и расплюснуться до достижения в контакте между деталями температуры, необходимой для сварки; в связи с этим рельефная и Т-образная сварка мало применимы для материалов с высокой теплопроводностью (большинство медных и легких сплавов).

Размеры выступов при рельефной сварке зависят от толщины детали: $s = 0,6 \div 5,0$ мм (фиг. 20, в), $d = 1,2 \div 2,0$ мм, $D = 3,0 \div 5,0$ мм, $h = 0,6 \div 1,8$ мм, $s_1 = s$ для $s \leq 1$ мм и $s_1 = (0,7 \div 0,9)s$ для $s > 1$ мм. Шаг между выступами и расстояние от их оси до края детали должны быть не меньше

2,5 D . Число одновременно свариваемых точек (выступов) $N = 2 \div 12$ (в зависимости от толщины материала и от мощности сварочной машины); обычно $N = 2 \div 6$.



Фиг. 20. Подготовка деталей для рельефной и Т-образной сварки.

Длительность сварки 0,5—2,5 сек. При сварке деталей толщиной более 3 мм может применяться многоимпульсное включение сварочного тока (число импульсов 3—5, длительность каждого импульса 0,08—0,4 сек. при паузах 0,06—0,2 сек.). Многоимпульсное включение тока предупреждает перегрев отдельных выступов в начале сварки и обеспечивает более равномерное распределение тока между ними.

Удельная мощность в зависимости от толщины стали равна 25—75 ккал на каждый выступ.

Усилие сжатия на каждый выступ изменяется от 50—80 кГ при $s = 1$ мм до 500—600 кГ при $s = 5$ мм.

Подготовка деталей для Т-образной сварки показана на фиг. 20. При плоском торце (фиг. 20, а) трудно обеспечить провар по всему сечению. Предварительная высадка (фиг. 20, в) облегчает сварку. Приварка горловины к листу плотным швом по кольцу возможна при подготовке горловины по фиг. 20, д. Длительность сварки 0,6—1 сек. Площадь сечения сварного соединения обычно не превышает 100—150 мм².

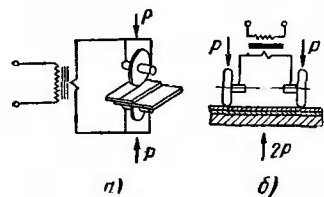
РОЛИКОВАЯ (ШОВНАЯ) СВАРКА

Роликовая сварка — вид контактной сварки, при котором между свариваемыми деталями создается непрерывный прочный или прочно-плотный шов, образуемый последовательным рядом частично перекрывающихся друг друга сварных точек.

Роликовая сварка, так же как точечная, может быть двусторонней или односторонней (фиг. 21). Наиболее распространенной является двухсторонняя сварка; односторонняя применяется при изготовлении громоздких узлов в крупносерийном производстве (крыша вагона, шкаф электрохолодильника и др.).

Основной технологический вариант роликовой сварки — прерывистая сварка, при которой свариваемые детали перемещаются относительно электродов машины непрерывно, а сварочный ток включается импульсами длительностью $t_{им}$, чередующимися с паузами t_n . Прерывистое включение

тока предупреждает перегрев поверхности свариваемых деталей и электродов, уменьшает износ электродов. Непрерывная роликовая сварка применяется иногда для соединения деталей из малоуглеродистой стали толщиной до 1 мм. По своей природе роликовая сварка сходна с точечной (см. стр. 285) и отличается от нее только меньшим шагом точек, вызывающим значительное



Фиг. 21. Роликовая сварка: а — двухсторонняя; б — односторонняя.

шунтирование тока. При сварке легких сплавов особенно хорошие результаты дает шаговая сварка, при которой включение сварочного тока и перемещение свариваемых деталей чередуются (сварка производится при неподвижных деталях, а их перемещение — при отключенном токе). При шаговой сварке деталей относительно большой толщины часто применяются чередующиеся по направлению импульсы выпрямленного тока (см. фиг. 16, в); при сварке тонких деталей — импульсы, получаемые при разрядке конденсаторов, периодическая зарядка которых производится во время перемещения свариваемых деталей.

Контактное сопротивление электрод-деталь уменьшается с понижением скорости роликовой сварки. При шаговой сварке оно достигает минимума. Этим обеспечиваются условия хорошего провара без перегрева наружной поверхности деталей.

Условия качественной роликовой сварки такие же, как при точечной. Особое значение имеет тщательная очистка поверхности свариваемых деталей и точная их сборка перед сваркой, а также стабильность всех параметров режима сварки.

Рекомендуемые параметры режима роликовой сварки

Диаметр отдельных точек d_m , зависящий от толщины свариваемых деталей и степени их нагрева, определяет их шаг, ширину шва, а также длительность включения тока и пауз. Ориентировочно $d_m = 2s + 2$ мм, где s — толщина более тонкой из свариваемых деталей (при $s \geq 0,5$ мм).

Шаг точек в плотных швах $a = (0,5 \div 0,7)d_m$; в неплотных швах точки могут не чередоваться.

Скорость сварки $v_{св}$ обычно равна 0,5—3 м/мин. Она, как правило, уменьшается с увеличением толщины свариваемых деталей. С увеличением скорости растет необходимая мощность машины.

Кроме того, при большой скорости сварки кристаллизация металла в расплавленном ядре не завершается до его перемещения за пределы зоны, зажатой между электродами, что вызывает образование в шве значительных усадочных дефектов.

Глубина проплавления резко сокращается при рельефно-роликовой сварке, когда в одной из деталей перед сваркой вдоль шва выштамповывается сплошной выступ. Это позволяет осуществлять удовлетворительную сварку со скоростью до 20 м/мин. При обычной прерывистой роликовой сварке длительность

одного полного цикла $t = t_{им} + t_n$ определяется по формуле $t = \frac{0,06a}{v_{св}}$,

где a — шаг точек в мм и $v_{св}$ — скорость сварки в м/мин. Отношение $\frac{t_{им}}{t}$

определяется свойствами свариваемого материала — с увеличением тепло- и электропроводности оно уменьшается (при одновременном росте тока). При сварке малоуглеродистой стали это отношение равно 0,4 ÷ 0,6; при сварке аустенитной стали — 0,3 ÷ 0,5; при сварке алюминиевых сплавов — 0,3 ÷ 0,45.

Ток при роликовой сварке в 1,5—2 раза больше, чем при точечной сварке такого же материала. Это отношение увеличивается с увеличением скорости сварки.

Усилие сжатия электродов равно или на 10—30% больше, чем при точечной сварке одинакового материала.

Ширина рабочей части электродов равна 2—12 мм и увеличивается с ростом толщины свариваемого материала. Желательный диаметр электродов 150—200 мм; при меньшем диаметре увеличивается их износ. При сварке материала толщиной менее 0,5 мм применяют электроды значительно меньшего диаметра (40 ÷ 50 мм).

Ориентировочные режимы роликовой сварки деталей из малоуглеродистой стали приведены в табл. 11.

11. Ориентировочные режимы роликовой сварки прочно-плотным швом деталей из малоуглеродистой стали

Толщина каждой детали в мм	Ширина рабочей поверхности электрода в мм	Усилие, приложенное к электродам, в кг	Продолжительность в сек.		Сварочный ток в а	Скорость сварки в м/мин
			импульса тона	паузы		
0,5	4	100—200	0,04—0,06	0,02—0,06	6 000—10 000	1,0—2,0
0,8	5	150—300	0,06—0,08	0,04—0,08	8 000—13 000	1,0—1,5
1,0	6	200—400	0,06—0,08	0,04—0,10	10 000—14 000	1,0—1,5
1,2	7	250—450	0,08—0,12	0,06—0,12	12 000—16 000	0,8—1,0
1,5	8	300—550	0,10—0,14	0,08—0,16	14 000—18 000	0,6—0,8
2,0	10	400—700	0,12—0,16	0,10—0,20	16 000—20 000	0,5—0,6

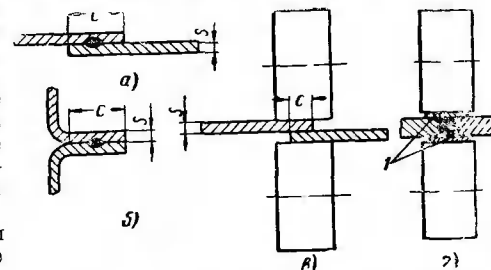
Управление процессом роликовой сварки при установленной скорости и заданном напряжении холостого хода сварочного трансформатора сводится к правильному чередованию импульсов тока и пауз заданной длительности (лучшие результаты дают синхронные прерыватели, см. т. 1, гл. IX). Более совершенна схема управления, при которой дополнительно поддерживается постоянство тока.

Техника роликовой сварки

Подготовка поверхности деталей такая же, как при точечной сварке (см. стр. 292).

Основные типы соединений при роликовой сварке приведены на фиг. 22. Размер s увеличивается с увеличением толщины деталей s и с повышением теплопроводности материала. Для малоуглеродистой стали толщиной 1 мм $s = 12$ мм, при $s = 1,5$ мм $s = 15$ мм и при $s = 2$ мм $s = 18$ мм. При сварке аустенитных сталей s может быть уменьшено на 2 мм, а при сварке легких сплавов должно быть увеличено на 2 мм. Толщина металла после сварки близка к $2s$.

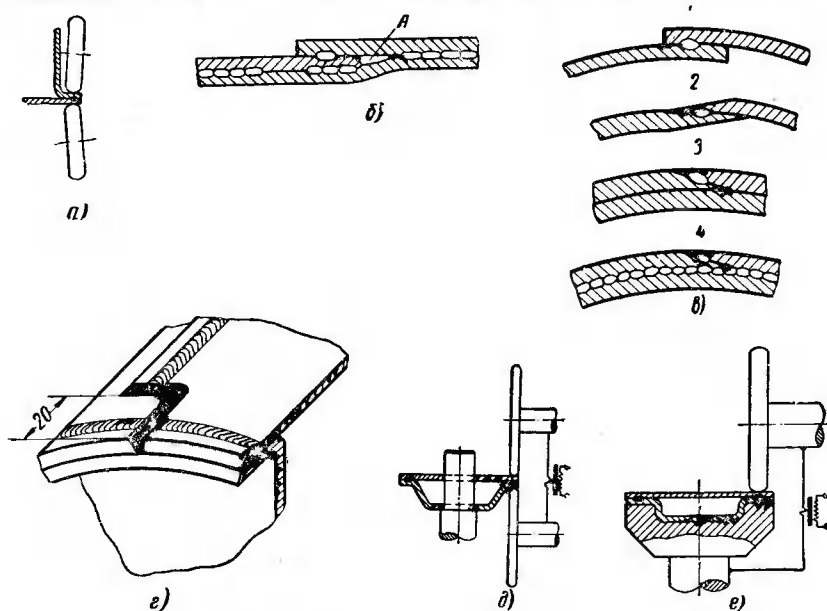
Возможна сварка широким электродом при узкой нахлестке $l = (1,5 \div 2,5)s$. Достоинство этого соединения — толщина металла в месте соединения, близкая к s . Но при этом способе быстро



Фиг. 22. Типовые соединения при роликовой сварке: а — внахлестку; б — стыковое соединение; в — соединение с узкой нахлесткой; г — стыковое соединение с накладками (1).

изнашиваются электроды, а прочность соединения ниже, чем при сварке с нормальной нахлесткой.

При сварке дисковым электродом на плоской оправке (оправка имеет поступательное движение, а электрод вращается вокруг неподвижной оси или электрод имеет поступательно-вращательное движение, а оправка неподвижна) возможно получение шва с гладкой поверхностью со стороны оправки («бесследная» сварка). Такое соединение хорошо эмалируется. При роликовой сварке встык хорошие результаты дает применение тонких стальных накладок 1 (фиг. 22, з) толщиной 0,3—0,4 мм и шириной до 6 мм. Этим способом свариваются детали толщиной до 4 мм из материалов с умеренной электропроводностью.



Фиг. 23. Роликовая сварка типовых узлов

Швы длиной более 400 мм свариваются от середины к концам; при длине более 600—800 мм может потребоваться применение различных режимов сварки на разных участках шва.

Бортовое соединение применимо для изделий любых размеров. При нахлесточном соединении диаметр обечайки обусловлен ее длиной и типом машины; на машине с двумя дисковыми электродами обычно можно сваривать обечайки диаметром не менее 65—100 мм, при сварке на оправке минимальный диаметр уменьшается до 25—50 мм.

Для сварки кольцевых швов (фиг. 23, а) при малой величине отбортовки иногда применяются наклонные электроды (машины типа МШПБ). При сварке обечайки с доннышком во избежание прожога или непровара в точке А (фиг. 23, б) прибегают к снятию «уса» в месте пересечения кольцевого шва с продольным (фиг. 23, в) или к вырубке концевой участка продольного шва (длиной ≈ 20 мм) с последующей газовой подваркой (фиг. 23, г).

На фиг. 23, в показана последовательность подготовки обечайки к сварке с днищем (1 — обечайка после сварки продольного шва; 2 — обечайка после зачистки «уса»; 3 — обечайка с запрессованным днищем; 4 — обечайка, сваренная с днищем).

Фланцевые соединения выполняются на серийных машинах с вращением деталей вокруг вертикальной оси (фиг. 23, д) или на специальных машинах

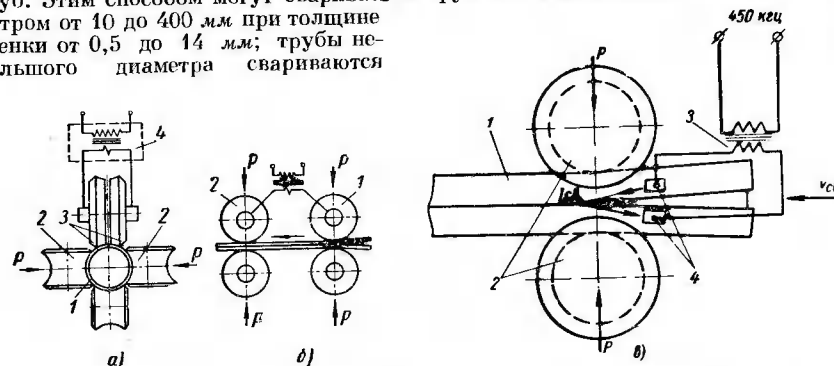
с электродами, вращающимися вокруг взаимно перпендикулярных осей (фиг. 23, е).

Роликовая сварка, как правило, производится после прихватки шва точками (через 75—150 мм). Прихватки размещаются по оси свариваемого шва. Во избежание прожогов при роликовой сварке прихватка должна производиться без глубоких вмятин на поверхности деталей. При прихватке зазоры между деталями должны распределяться равномерно по периметру всего шва (особенно при сварке кольцевых швов).

РОЛИКО-СТЫКОВАЯ СВАРКА

Роликово-стыковая сварка — вид контактной сварки, при которой между соединяемыми деталями постепенно образуются непрерывный шов по всей поверхности их касания. Она осуществляется при нагреве током, протекающим перпендикулярно свариваемым кромкам (фиг. 24, а), или током, протекающим вдоль кромок (фиг. 24, б). В обоих случаях сварка идет без расплавления или с расплавлением отдельных небольших участков по длине шва.

Роликово-стыковая сварка применяется главным образом в производстве труб. Этим способом могут свариваться трубы из малоуглеродистой стали диаметром от 10 до 400 мм при толщине стенки от 0,5 до 14 мм; трубы небольшого диаметра свариваются



Фиг. 24. Роликово-стыковая сварка: а — нагрев током, протекающим перпендикулярно свариваемым кромкам; б — нагрев током, протекающим вдоль кромок (способ Игнатьева); в — нагрев током радиочастоты.

и из низколегированных сталей. По кромкам сформованной из ленты трубной заготовки 1, сжимаемой роликами 2, катятся электроды 3, соединенные с трансформатором 4 (фиг. 24, а).

Основные параметры роликово-стыковой сварки — сварочный ток, скорость сварки, усилие сжатия боковых роликов. Необходимый сварочный ток растет пропорционально толщине стенки и скорости сварки. Скорость сварки обычно лежит в пределах 10—60 м/мин. При скорости сварки больше 30—35 м/мин нельзя обеспечить герметичность шва при частоте тока 50 гц. Повышением частоты (до 150—300 гц) можно обеспечить качественную сварку и при большей скорости. Усилие сжатия шва P возрастает несколько быстрее увеличения толщины свариваемого материала s . При сварке труб из малоуглеродистой стали при $s = 1$ мм $P = 0,4 \div 0,6$ т; при $s = 2$ мм $P = 1 \div 1,2$ т; при $s = 4$ мм $P = 3,5 \div 5,0$ т и при $s = 6$ мм $P = 7,0—8,0$ т. Мощность машин для сварки труб с толщиной стенки до 2 мм — 70 ква; до 3,0 мм — 150—500 ква; до 6 мм — 500—1000 ква; до 12 мм — 1500—2500 ква.

Непрерывная сварка по способу Игнатьева (фиг. 24, б) предложена для изготовления биметаллической заготовки инструмента. Ток, протекающий между электродами 1 и 2, постепенно нагревает заготовку. Сварка осуществляется под электродами 2 при действии силы P . Относительно медленный нагрев способ-

ствует окислению стали, поэтому он должен производиться в защитной газовой атмосфере.

При изготовлении труб из легированных сталей, цветных металлов и сплавов применима ролико-стыковая сварка с использованием для нагрева заготовки токов радиочастоты. При этом сформованная трубная заготовка 1 (фиг. 24, в) непрерывно перемещается со скоростью $v_{св}$ между роликами 2, создающими усилие P . Ток частотой до 450 кГц подводится к кромкам заготовки от лампового генератора через трансформатор 3 и скользящие контактные колодки 4. В силу эффекта близости ток $I_{св}$ течет вдоль кромок трубы и в результате поверхностного эффекта нагревает тонкий слой металла до расплавления. Под роликами 2 расплавленный металл вытесняется из зазора и кромки трубы образуют высококачественное сварное соединение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балковец Д. С., Орлов В. Д., Чулошников П. Л., Точечная и роликовая сварка специальных сталей и сплавов, Оборонгиз, 1957.
2. Гельман А. С., Технологии и оборудование контактной электросварки, Машигиз, 1960.
3. Гельман А. С., Кабанов Н. С., Слепак Э. С., Контактная стыковая сварка труб, Машигиз, 1957.
4. Григорьев В. А., Исследование некоторых процессов при роликовой сварке, «Сварочное производство», № 7, 1956.
5. Гуляев А. И., Рельефная сварка в автостроении, «Автогенное дело», № 11, 1952.
6. Кочановский Н. Я., Машины для контактной электросварки, Госэнергоиздат, 1954.
7. Лебедев В. К., Горбунов Г. В., Сопротивление короткого замыкания машины и устойчивость процесса оплавления, «Автоматическая сварка», № 3, 1958.

ГЛАВА VIII

ГАЗОПЛАМЕННАЯ СВАРКА И РЕЗКА

ГАЗОВАЯ СВАРКА

Газовая сварка может осуществляться как с присадочным металлом, так и без него, если формирование шва возможно за счет расплавления кромок основного металла (например, сварка в торец и в угол).

Наибольшее применение этот вид сварки получил при производстве тонкостенных листовых и трубчатых конструкций из простой малоуглеродистой и низколегированных конструкционных сталей.

Газовая сварка широко применяется в ремонтном деле, в особенности при восстановлении отливок из серого чугуна и бронзы, а также при сварке меди, латуни, алюминиевых сплавов, свинца и других цветных металлов.

Сварочное пламя и его взаимодействие с металлом

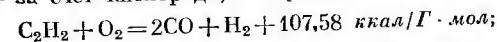
Применяемые для сварки и резки металлов горючие газы или пары горючих жидкостей представляют собой преимущественно углеводороды или смеси углеводородов с другими газами, например с СО; в чистом же виде применяется только водород.

Строение пламени всех углеводородных газов в смеси с кислородом принципиально одинаково и определяется в основном соотношением газов в горючей смеси, $\beta_0 = \frac{O_2}{C_xH_y}$.

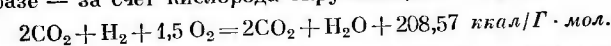
По соотношению газов в смеси сварочное пламя делят на нормальное, науглероживающее и окислительное. Схема строения ацетилено-кислородного пламени с различным соотношением β_0 приведена на фиг. 1.

В нормальном пламени наблюдается три зоны: ядро, средняя (восстановительная) зона и факел. Нормальное пламя (фиг. 1, а) имеет резко очерченную, закругляющуюся на конце ядро. При избытке горючего газа (фиг. 1, б) ядро пламени теряет резкость очертания, разница в оттенках средней зоны и факела исчезает, пламя становится красноватым. В зависимости от избытка горючего пламя выделяет большее или меньшее количество копоти. При избытке кислорода пламя приобретает голубоватый оттенок и сокращается в размерах вследствие более энергичного окисления; ядро пламени также сокращается по длине (фиг. 1, в). Окислительное пламя горит с шумом, степень которого зависит от давления поступающего в горелку кислорода.

В условиях работы сварочной горелки, когда часть кислорода для образования пламени поступает из горелки, а часть — из окружающего воздуха, процесс сгорания ацетилена можно представить протекающим в двух стадиях или фазах: в первой фазе — за счет кислорода, поступающего из горелки,



во второй фазе — за счет кислорода окружающего воздуха,



Из реакции, протекающей в первой фазе, следует, что при подаче в горелку газов в равных объемах ($\beta_0 = 1$) сгорание является неполным, и в качестве продуктов сгорания в средней зоне пламени образуются восстановительные газы СО и H_2 . Однако протяженность восстановительной зоны, содержащей в основном СО и H_2 , невелика и составляет всего несколько миллиметров. По

мере удаления от мунштука горелки в пламени начинают преобладать CO_2 и H_2O , образующиеся при догорании ацетилена за счет кислорода воздуха по реакции второй фазы.

Пламя с таким соотношением газов принято называть нормальным. Однако практически вследствие того, что небольшая часть водорода при сгорании превращается в водяной пар, а поступающий в горелку кислород является недостаточно чистым, кислорода в горелку подается несколько больше; поэтому соотношение газов в нормальном пламени составляет обычно

$$\beta_0 = 1,1 \div 1,2.$$

При отношении кислорода к ацетилену в смеси по объему $\beta_0 = 1,1 \div 1,2$ содержание CO и H_2 в средней зоне пламени достигает максимальных значений, составляя для CO — 60—65% и для H_2 — 34—40%.

С увеличением отношения β_0 количество CO и H_2 в средней зоне пламени уменьшается, а количество CO_2 и H_2O возрастает.

По мере удаления от внутреннего ядра пламени в продольном и в поперечном направлениях количество CO и H_2 уменьшается, а количество CO_2 , H_2O , N_2 и O_2 возрастает.

Неоднородность состава пламени как в продольном, так и в поперечном сечении вызывает различие в температуре разных его зон. У всех углеводородных газов, образующих при сгорании в кислороде внутреннее ядро пламени, наивысшая температура имеет место в средней зоне пламени, в непосредственной близости от ядра. Так как средняя зона является в то же время и восстановительной, содержащей в основном окись углерода и водород, то, естественно, процесс сварки целесообразно вести именно этой зоной, т. е. держать горелку таким образом, чтобы ядро пламени отстояло от металла на расстоянии 2—3 мм.

Существенное влияние на температуру пламени оказывает соотношение

горючего газа с кислородом. С увеличением до известного предела отношения $\beta_0 = \frac{\text{O}_2}{\text{C}_2\text{H}_2}$ температура пламени возрастает. Наиболее вероятной величиной отношения, соответствующего максимальной температуре пламени, является 1,4—1,5.

Температура ацетилено-кислородного пламени вдоль его оси (при $\beta_0 = 1,2$ — и $V_{\text{C}_2\text{H}_2} = 500$ л/час) составляет:

Расстояние от ядра в мм	3	4	11	25
Температура в °C	3100—3200	2850—3050	2650—2850	2450—2650

Температура средней зоны нормального водородно-кислородного пламени — 2100—2300°, керосино-кислородного — 2450—2500° C, бензино-кислородного — 2500—2600° C.

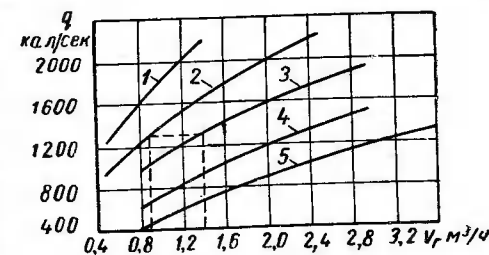
Так как газы — заменители ацетилена дают меньшую температуру пламени и значительно меньшее количество тепла в средней зоне, применение

их при газовой сварке ограничивается главным образом областью легкоплавких металлов и сплавов — алюминия, магния, свинца и т. п.

Для получения одинакового с ацетилено-кислородным пламенем эффективности нагрева металла прибегают обычно к коэффициенту ψ замены ацетилена, представляющему отношение расхода газа-заменителя V_z к расходу ацетилена V_a при одинаковом тепловом воздействии пламени на металл,

$$\psi = \frac{V_z}{V_a}.$$

Расход газа-заменителя, эквивалентный по эффективной тепловой мощности соответствующему расходу ацетилена, может быть определен по графикам на



Фиг. 2. Эффективная мощность различных видов газо-кислородного пламени кольцевой многосопловой горелки в зависимости от расхода горючего газа: 1 — пропан-бутан, $\beta_0 = 3,5$; 2 — ацетилен, $\beta_0 = 1,15$; 3 — метан, $\beta_0 = 1,5$; 4 — коксовый газ, $\beta_0 = 0,8$; 5 — водород, $\beta_0 = 0,4$, где β_0 — соотношение кислорода и горючего газа в смеси. Условия опыта: угол наклона горелки $\phi = 90^\circ$; расстояние от мунштука до поверхности металла $h = \frac{5}{4} L$ (L — длина ядра пламени); скорость перемещения горелки $w = 900$ мм/мин; размеры образцов $110 \times 50 \times 5$ мм.

При сварке меди, никеля и железа регулирование состава пламени предупреждает в известной мере образование окислов этих металлов, так как они сравнительно хорошо восстанавливаются окисью углерода и водородом.

На основе изучения диаграмм равновесия реакций CO и H_2 с закисью железа (FeO) установлено максимально допустимое содержание кислорода в пламени при сварке стали, отвечающее $\beta_0 = 1,3$, при котором окисления сварочной ванны еще не происходит.

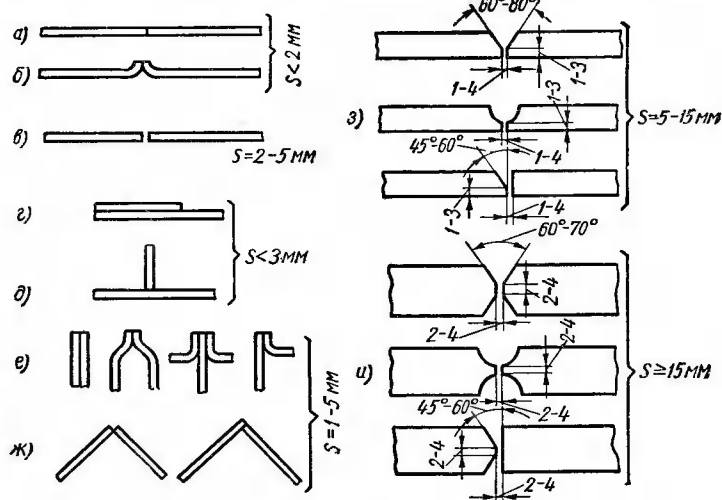
Сварка же меди во избежание чрезмерного окисления ее, а также возможного возникновения в металле шва водородной болезни, всегда производится строго нормальным пламенем, соответствующим $\beta_0 = 1,05 \div 1,1$.

Нормальное пламя применяется также при сварке никеля. При сварке магния, алюминия и цинка, не восстанавливающихся газами пламени, для связывания окислов необходимо действующие компоненты или физические но и флюсов, содержащих химически действующие компоненты или физические растворители. Исключение составляют латуни, газовая сварка которых производится обычно окислительным пламенем с отношением $\beta_0 = 1,4$, при котором водитесь обычно окислительным пламенем с отношением $\beta_0 = 1,4$, при котором на поверхности расплавленной латуни образуется пленка окиси цинка (ZnO), предохраняющая сварочную ванну от дальнейшего испарения и окисления цинка. Большое количество теплоты, вводимой в металл при газовой сварке, и значительная ширина зоны теплового влияния пламени создают условия медленного охлаждения металла и способствуют возникновению в нем крупнокристаллической структуры с равноосными неправильной формы зернами, типичными для литого металла

Столбчатая структура при газовой сварке образуется лишь в таких металлах, как медь и алюминий, обладающих высокой теплопроводностью и интенсивно отводящих тепло от шва в основной металл.

Типы сварных соединений при газовой сварке

Наиболее распространенным типом соединения при газовой сварке является стыковое. Нахлесточное и тавровое соединения ввиду возможности возникновения в металле значительных собственных напряжений являются нежелательными, а при сварке металла относительно большой толщины — недопустимыми.



Фиг. 3. Типы сварных соединений: а, б, в, г, и — стыковые соединения; з — нахлесточное; д — тавровое; е — торцовые; жс — угловые.

При сварке стали толщиной до 2 мм большое распространение получило стыковое соединение, осуществляемое без разделки кромок и без зазора между листами (фиг. 3, а) и соединение с отбортовкой кромок (фиг. 3, б), выполняемые обычно без присадочного металла.

При толщине стали от 2 до 5 мм соединение в стык может осуществляться без разделки кромок, но с соответствующим зазором (фиг. 3, в).

При толщине стали до 3 мм находят также применение соединения: нахлесточное (фиг. 3, г) и тавровое (фиг. 3, д), а в некоторых случаях при толщине от 1 до 5 мм — торцовое (фиг. 3, е) и угловое (фиг. 3, жс).

Сталь толщиной более 5 мм сваривается только в стык с односторонней или двухсторонней разделкой кромок (фиг. 3, з) и (фиг. 3, и).

Техника сварки

При газовой сварке имеют распространение два способа перемещения горелки — правый и левый. При правом способе пламя сварочной горелки направлено на шов, процесс сварки ведется слева направо; горелка перемещается впереди присадочного стержня, формирование сварного шва происходит по схеме фиг. 4 а. При левом способе пламя горелки направлено от шва и процесс сварки ведется справа налево; горелка перемещается за присадочным стержнем, формирование сварочного шва происходит по схеме фиг. 4, б.

При правом способе сварки пламя направлено непосредственно на жидкую ванну металла и формирующийся сварной шов, чем достигается наилучшая

защита металла шва от воздуха и наиболее медленное охлаждение. Однако внешний вид шва при правом способе всегда хуже, чем при левом, где сварщик лучше видит верхнюю кромку застывающей ванны и выдерживает более равномерную высоту и ширину валика.

Практика сварки показывает, что при толщине стали до 3 мм более производительным является левый способ; для больших толщин, в особенности при сварке с разделкой кромок, — правый. Объясняется это тем, что при сварке левым способом стали малой толщины подогревающее действие факела пламени значительно больше, чем при сварке стали большой толщины.

С другой стороны, при правом способе сварки стали большой толщины сварочное пламя оказывается погруженным в разделку кромок, и ядро пламени находится на близком расстоянии от металла, в результате создается концентрированный нагрев металла и достигается производительность сварки более высокая, чем при левом способе сварки той же толщины.

Процесс формирования шва при газовой сварке в значительной мере зависит от давления газового потока пламени, движения конца присадочной проволоки, силы тяжести капли и силы поверхностного натяжения жидкого металла.

При сварке в нижнем положении влияние двух последних факторов незначительно.

Давлением газового потока пламени (до 100—120 г/см²) металл ванны интенсивно перемешивается и отбрасывается в направлении формирующегося шва. Большое значение для формирования шва имеет и перемешивание ванны концом присадочной проволоки.

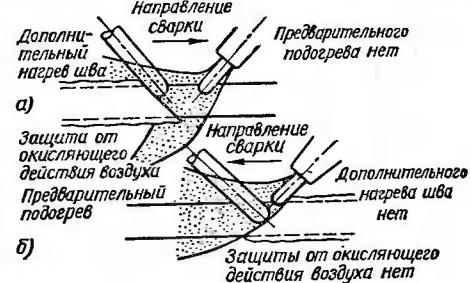
При сварке в вертикальной и потолочной плоскостях давление газового потока пламени и соответствующее движение конца присадочной проволоки способствуют удержанию жидкого металла в ванне. В этих случаях на формирование шва большое влияние оказывают и два других фактора: сила тяжести капли, способствующая отрыву и стеканию капли из жидкой ванны, и сила поверхностного натяжения, направленная в обратную сторону и стремящаяся удержать каплю в ванне.

При выборе способа газовой сварки исходят как из толщины свариваемого металла, так и из положения шва в пространстве. При нижнем положении шва процесс можно вести и правым и левым способом; в этом случае выбор способа определяется в основном толщиной металла. При сварке в вертикальной и потолочной плоскостях определяющим является удобство выполнения сварки и хорошо формирование шва. Вертикальная сварка снизу вверх, независимо от толщины металла, всегда выполняется левым способом, а потолочная — правым.

Подготовка изделия к сварке заключается главным образом в зачистке свариваемых кромок и их прихватке. Кромки свариваемого изделия и прилегающая к ним зона шириной 20—30 мм на сторону должны быть зачищены от окислины, ржавчины, краски, масла и других загрязнений.

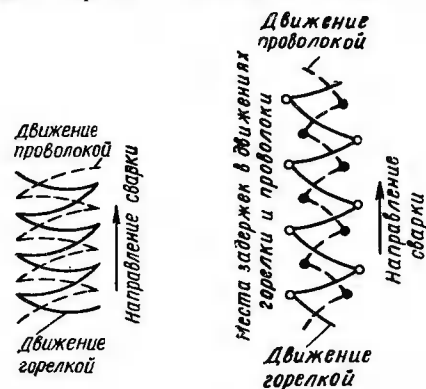
При сварке ответственных изделий небольших размеров поверхность их подвергается травлению или обдувке пескоструйным аппаратом.

Во избежание деформации соединяемые элементы перед сваркой прихватываются короткими сварными швами. Длина отдельных прихваток и расстояние между ними зависят от длины шва и толщины свариваемого металла. Так, при сварке небольших узлов из тонкой стали длина прихваток может составлять более 5 мм, а расстояние между ними 50—100 мм, при сварке же стали толщиной более 3—4 мм при значительной длине швов длина прихваток составляет 20—30 мм, а расстояние между ними до 300—500 мм.

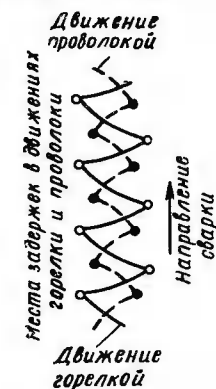


Фиг. 4. Правый (а) и левый (б) способы сварки.

Прихватку следует производить с большой тщательностью на тех же режимах, что и сварку, так как наличие непровара в прихватках, не провариваемых на все сечение в процессе сварки, делает сварное соединение недоброкачественным.



Фиг. 5. Движения горелкой и проволокой при сварке металла толщиной более 3 мм.



Фиг. 6. Движения горелкой и проволокой при сварке нормальных угловых швов.

При сварке малоуглеродистых и низколегированных сталей расход ацетиленов устанавливается по следующим эмпирическим формулам:

для левого способа сварки

$$V_{C_2H_2} = (100 - 120) s \text{ л/час};$$

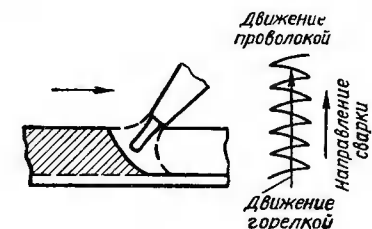
для правого способа сварки

$$V_{C_2H_2} = (120 - 150) s \text{ л/час},$$

где s — толщина свариваемой стали в мм. При сварке чугуна, сплавов меди и алюминия мощность пламени устанавливается примерно такая же, как для сварки стали.

При сварке же меди, обладающей большой теплопроводностью, мощность пламени устанавливается из расчета

$$V_{C_2H_2} = (150 - 200) s \text{ л/час}.$$



Фиг. 7. Движения горелкой и проволокой при правом способе сварки с разделкой кромок.

Диаметр присадочной проволоки зависит от толщины свариваемого металла и от способа сварки. Для левого способа он составляет несколько большую величину, чем для правого. Так, для сварки стали толщиной до 12—15 мм диаметр присадочной проволоки может быть определен по формулам:

для левого способа

$$d = \frac{s}{2} + 1 \text{ мм};$$

для правого способа

$$d = \frac{s}{2} \text{ мм},$$

где d — диаметр проволоки в мм;
 s — толщина стали в мм.

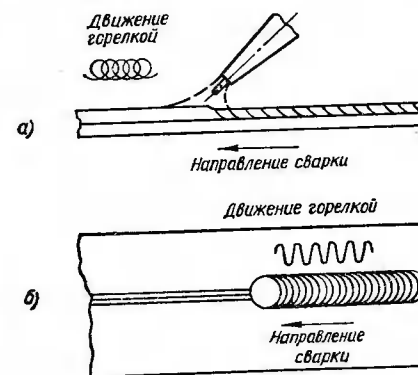
При сварке стали толщиной более 15 мм диаметр проволоки составляет 6—8 мм.

Угол наклона мундштука горелки к поверхности металла зависит от толщины свариваемых листов и от теплофизических свойств металла. Чем больше толщина металла, тем выше температура плавления и теплопроводность металла, тем большим должен быть угол наклона горелки. Например, при сварке меди, имеющей достаточно высокую температуру плавления и очень высокую теплопроводность, угол наклона горелки составляет 60—80°, а при сварке легкоплавкого свинца 10—15°.

Мощность пламени также зависит от толщины и теплофизических свойств металла. Чем больше толщина металла и чем выше температура его плавления и теплопроводность, тем больше должна быть мощность пламени.

Движения горелкой и проволокой в большой степени зависят от толщины свариваемого металла, требуемых размеров сварного шва и расположения шва в пространстве.

При выполнении нижних швов правым способом без разделки кромок или при сварке левым способом металла сравнительно больших толщин (более 3 мм), выполняемой с разделкой кромок или без нее, движение горелкой и проволокой соответствует схеме, изображенной на фиг. 5. При таком движении достигается наилучший провар свариваемых кромок и хорошее формирование шва. Для получения нормальной формы угловых швов производят движения по схеме фиг. 6.



Фиг. 8. Движения горелкой при сварке с отбортовкой кромок: а — спиральное движение; б — колебательное.



Фиг. 9. Сварка методом последовательного образования сварочных ванночек

В этом случае пламя и конец присадочной проволоки больше задерживают по краям шва и меньше посередине. При правом способе сварки стали толщиной более 5 мм пламя горелки, будучи погруженным в разделку шва (фиг. 7), перемещается вдоль шва без колебательных движений (движения производятся только проволокой).

При сварке металла толщиной менее 3 мм с отбортовкой кромок процесс ведется обычно без присадочного металла; горелкой же производятся спиральные или колебательные движения по схемам фиг. 8, а и б.

Сварка стали малой толщины (менее 3 мм), осуществляемая в стык без отбортовки кромок или угловыми швами, выполняется обычно способом последовательного образования сварочных ванночек, получившим в производстве название сварки «пятачками» или сварки «каплями». Сущность этого способа состоит в том, что, образовав на свариваемых кромках жидкую ванночку (диаметром 4—6 мм), сварщик погружает в нее на очень короткое время конец присадочной проволоки и затем выводит его в среднюю зону пламени, которым, в свою очередь, производит резкое круговое движение. Переместив затем пламя вперед по шву, образует следующую ванночку, перекрывающую первую примерно на $1/3$ ее диаметра, и повторяет те же движения проволокой и горелкой (фиг. 9).

ЛИТЕРАТУРА

1. Глизманенко Д. Л., Енсеев Г. Б., Газовая сварка и резка металлов, Машгиз, 1954.
2. Клебанов Н. Н., Технология газовой сварки и резки металлов, Машгиз, 1947.
3. Шапков А. Н., Основы регулирования состава газосварочного пламени, «Автогенное дело», № 7, 1946.

ГАЗОПРЕССОВАЯ СВАРКА

Общие сведения

Газопрессовой сваркой называется процесс соединения деталей в стык при нагреве места соединения газовым пламенем с приложением давления. Этим способом сваривают детали вагонов и локомотивов [4], рельсы [1], [10], части самолетов [8], контактные провода железных дорог, трамвайных

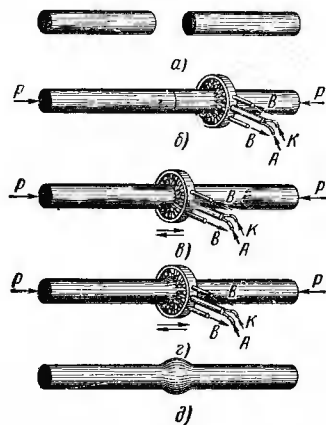
и троллейбусных линий [11], трубопроводы [9] и т. п. Газопрессовая сварка нашла также широкое применение в ремонтных работах.

При газопрессовой сварке нагрев производят до пластического состояния металла (пластическая сварка) или до его оплавления (сварка оплавлением).

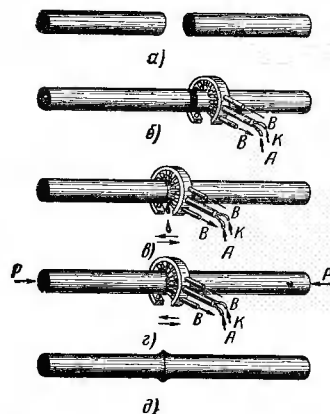
Сварка в пластическом состоянии металла может производиться: а) при постоянном давлении; б) при заданной температуре.

Процесс сварки в пластическом состоянии металла при постоянном давлении схематически показан на фиг. 10.

Подготовленные к сварке части (фиг. 10, а) зажимают в захватах газопрессового станка, выравнивают до совпадения осей (центрируют), сжимают силой P , устанавливают и зажигают горелку. Передвинув горелку на стык (фиг. 10, б), нагревают место соединения (фиг. 10, в). Для нагрева обычно применяется ацетилено-кислородное пламя температурой около 3100° . Сварка стали произ-



Фиг. 10. Газопрессовая сварка в пластическом состоянии металла.



Фиг. 11. Газопрессовая сварка оплавлением.

водится при температуре металла $1200-1250^\circ$. Поэтому для устранения перегрева поверхностных слоев металла горелку приводят в колебательное движение. Процесс нагрева производится восстановительным пламенем (с небольшим избытком ацетилена). При нагреве металла до пластического состояния концы свариваемых частей деформируются; происходит их укорочение (осадка) с одновременным утолщением в месте стыка (фиг. 10, г). При этом соединяемые части свариваются с исчезновением поверхности раздела между ними. Когда заданная величина осадки достигнута, сдавливание деталей прекращается и пламя горелки гасится. Сваренные в одно целое части показаны на фиг. 10, д.

При этом способе сварки соединение зерен металла через поверхность раздела в стыке происходит при температуре ниже точки плавления.

При газопрессовой сварке оплавлением свариваемые части (фиг. 11, а) зажимают в захватах газопрессового станка, центрируют и нагревают пламенем специальной горелки. Для предупреждения повреждения горелки стекающим расплавленным металлом целесообразно применять горелки с подковообразным, открытым снизу наконечником (фиг. 11, б). Концы свариваемых частей предварительно нагревают в области стыка до пластического состояния с колебанием горелки; затем пламя задерживают на стыке, металл доводят до оплавления (фиг. 11, в) и прикладывают давление P ; вследствие этого расплавленный металл выдавливается из стыка (фиг. 11, г) и части свариваются в одно целое (фиг. 11, д).

Существует также [7] способ сварки оплавлением с нагревом торцов свариваемых частей горелкой, вводимой между ними. Недостатком этого способа является возможность окисления места сварки при отводе горелки.

Утолщение в месте сварки может быть удалено механическим путем или газовой резкой с последующей проковкой.

При газопрессовой сварке вследствие нагрева металла до высокой температуры его структура в зоне нагрева ухудшается. Зерно значительно вырастает, феррит приобретает игольчатую форму (рост зерна, видманштеттова структура). Поэтому для улучшения структуры и повышения механических свойств обычно производится термическая обработка или проковка усиления, а иногда и то нормализация при помощи тех же газопрессовых горелок, которые применяются для сварки. При этом место сварки охлаждают до потемнения, после чего вновь нагревают до $870-900^\circ$ (для углеродистой стали) при колебательных движениях горелки и окончательно охлаждают на воздухе.

Способ газопрессовой сварки выбирается с учетом назначения детали, ее формы и размеров, марки стали, а также имеющейся аппаратуры.

При пластической сварке требуется тщательная обработка торцов свариваемых частей: торцы должны быть перпендикулярны оси, на них не должно быть ржавчины, масла и других загрязнений. Перед сваркой поверхности рекомендуют промыть четыреххлористым углеродом. Если сварка будет производиться не сразу после подготовки, обработанную поверхность покрывают антикоррозийной не растворяющейся в воде смазкой (например, солидолом, вазелином и т. п.), которая перед сваркой удаляется четыреххлористым углеродом. Обработка поверхностей шлифованием не рекомендуется, так как характеристики пластичности и вязкости сварного соединения получаются при этом недостаточно постоянными. При пластической сварке отсутствуют пороки, связанные с расплавлением и последующим затвердеванием металла: усадочные раковины, рыхлость, трещины, окисления. Расход ацетилена и кислорода при этом меньше, чем при сварке оплавлением. При пластической сварке величина укорочения детали может быть точно выдержана, что затруднительно при сварке оплавлением. Пластическая сварка особенно пригодна для соединения деталей диаметром свыше 70 мм или сечений сложной формы, например двутаврового и т. п.

При сварке оплавлением нет необходимости производить механическую обработку торцов деталей и зачищать их, так как концы оплавляются.

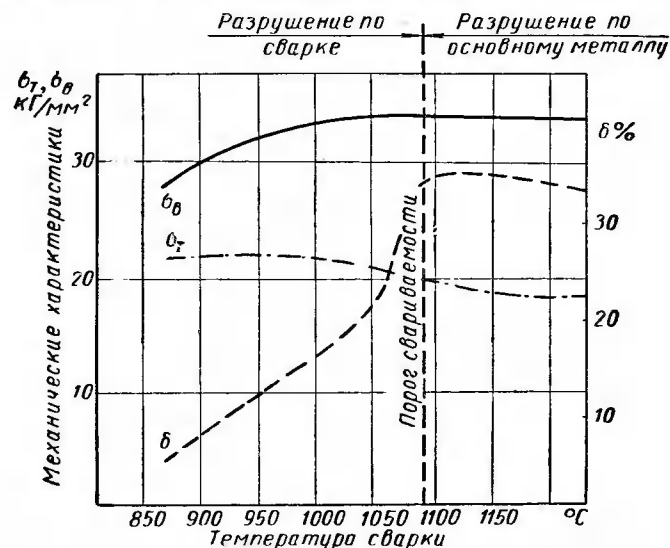
Механизм соединения

При газопрессовой сварке оплавлением механизм соединения имеет некоторое сходство с таковым при электрической контактной сварке оплавлением. Механизм соединения при газопрессовой сварке в пластическом состоянии слабо изучен. На основании исследований структуры и механических свойств образцов, сваренных при различных температурах, наиболее вероятно предположить, что соединение происходит посредством образования общих зерен металла соединяемых частей и диффузии окислов, находящихся на поверхности раздела, в основной металл.

Температура при пластической сварке является одним из главных факторов. Металлографическое исследование соединений из мягкой стали показывает, что при температуре сварки $760-850^\circ$ по поверхности раздела наблюдается образование цепочки мелких зерен, возникающих вследствие рекристаллизации при наличии местной пластической деформации от контактных напряжений. При температуре около 900° (выше A_{cs}) линия раздела еще отчетливо заметна по цепочке окислов; границы зерен не совпадают с линией раздела, но размеры зерен около этой линии отличаются от размеров зерен основного металла. При температуре около 1000° величина зерен у линии раздела и в основном металле делается приблизительно одинаковой. Для исчезновения цепочки включений, состоящей, в основном, из окислов, необходимо дальнейшее повышение температуры приблизительно до 1100° . Этот процесс происходит вследствие диффузии.

Изменению структуры при повышении температуры газопрессовой сварки соответствует изменение механических характеристик. До температуры 900° все характеристики прочности и пластичности ниже, чем у основного металла. При $1000-1060^\circ$ временное сопротивление достигает значений, близких к значе-

нию этой характеристики для основного металла, но показатели пластичности — относительное удлинение и относительное сужение при разрыве — остаются все еще низкими. Предел текучести при температурах приблизительно до 1050° повышен по сравнению с его значением для основного металла, что можно объяснить наличием тонкого слоя мелких зерен на месте начальной поверхности раздела и цепочки окислов, играющих роль микроскопических надрезов, что затрудняет процесс текучести. Характеристики пластичности (относительное удлинение, сужение) и вязкости (ударная вязкость) интенсивно повышаются при температурах 1100° и выше. При этом разрушение при растяжении начинает проходить по основному металлу, а не по сварному шву, как при более низких температурах.



Фиг. 12. Зависимость механических характеристик от температуры сварки: σ_T — предел текучести; $\sigma_в$ — временное сопротивление; δ — относительное удлинение при разрыве.

Эта зависимость основных механических характеристик от температуры сварки изображена на фиг. 12.

Таким образом, можно говорить о некоторой предельной температуре (температурный порог свариваемости), ниже которой механические показатели сварного соединения понижаются. На фиг. 12 эта температура соответствует приблизительно 1090°.

Важным фактором является давление. Одновременное действие давления и высокой температуры создают оптимальные условия для диффузии окислов с поверхности шва в массу металла для процесса образования общих зерен. Пленка окислов, мешающая процессу сварки, при действии давления подвергается механическому разрушению, так как концы свариваемых частей с образованием местного утолщения укорачиваются. Опыт показывает, что для получения качественной сварки относительное увеличение площади сечения должно быть не менее 50%.

Основные параметры

Величина удельного давления p устанавливается опытным путем в зависимости от состава металла и формы сечения. Для сплошных сечений из углеродистой стали рекомендуется при пластической сварке $p = 1,5 \text{ кг/мм}^2$, для труб — до $2,5\text{—}3,5 \text{ кг/мм}^2$ *. При сварке оплавлением удельное давление берется значи-

* При двухступенчатом приложении давления.

тельно более высоким. Расчет давления осадки производится исходя из начальной величины сечения.

С удельным давлением тесно связана величина осадки, косвенно определяющая длительность сварочного процесса, т. е. время действия сжимающего усилия и нагрева. При сварке с постоянным давлением величина осадки является удобным измерителем степени готовности сварки. Опытным путем установлено, что оптимальная величина осадки зависит от размеров сечения и формы свариваемых деталей.

Ориентировочные значения величины осадки h следующие:

Сплошное круглое сечение диаметром d	$h = 0,3d$
Квадратное сечение со стороной сечения a	$h = 0,3a$
Трубы с толщиной стенок e	$h = 1,0 \div 1,3 b$
Полосовая сталь толщиной b	$h = 0,75b$
Двутавровое сечение с наибольшей толщиной полки (или стенки) b	$h = \frac{2}{3}b$

Амплитуда колебания (ход) горелки H оказывает влияние на степень разогрева различных частей свариваемых деталей и тесно связана с величиной осадки. При недостаточном ходе горелки центральная часть свариваемого сечения может не нагреться до необходимой температуры (порога свариваемости), при чрезмерно большом ходе вызывается излишний расход газов. Для каждого изделия оптимальная величина хода горелки H должна определяться опытным путем. При сварке с постоянным давлением для сплошного круглого сечения диаметром d $H \approx d$, для полосовой стали толщиной b или двутаврового сечения с наибольшей толщиной полки (или стенки) b $H \approx (1 \div 1,2) b$.

Мощность пламени существенно влияет на качество соединения при пластической сварке. При недостаточной мощности процесс длится долго, при чрезмерно сильном пламени в центральной части сечения температура не достигает порога свариваемости и качество сварки снижается. Опытным путем установлено, что горелки должны рассчитываться по расходу ацетилена на 1 мм^2 поперечного сечения изделия: для стержней диаметром 30—120 мм — 0,8—1,5 л/час *, для труб 2—2,5 л/час.

Расход ацетилена при пластической сварке и нагреве пламенем, охватывающим сечение, может быть подсчитан (в зависимости от формы сечения) для деталей круглого сечения диаметром d $G \approx 1,5 d^3$, где G — общий расход в л; d — диаметр стержня в см. При двутавровых сечениях $G \approx 1,5 FH$, где F — площадь поперечного сечения в см²; H — ход горелки в см.

Данные о расходе материалов и времени сварки на один стык при газопрессовой сварке труб небольшого диаметра указаны в табл. 1.

1. Расход материалов и время сварки на один стык при газопрессовой сварке труб небольшого диаметра [6]

Диаметр трубы в мм	Расход ацетилена в л	Расход кислорода в л	Время сварки 1 в мин.
33,5	15	17,5	1,8
60	30	35	2,0
88,5	60	70	3,2

1 Основное и вспомогательное время (на зажатие, освобождение и центровку).

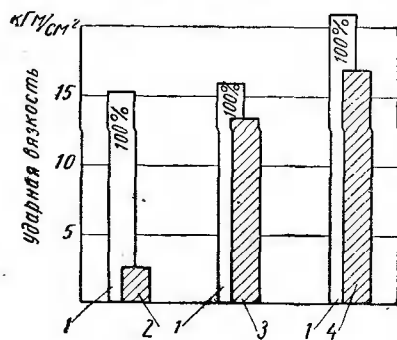
* Более высокий удельный расход для небольших горелок.

При сварке оплавлением расход газов на 30—50% выше, чем при пластической сварке.

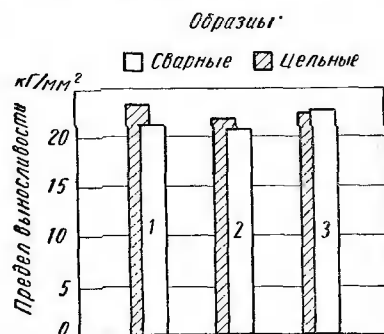
Состав пламени влияет на качество соединений, так как, кроме нагревания металла, пламя защищает стык от окисления. Установлено, что для оптимальных результатов по прочности и пластичности нагревающее пламя, по крайней мере до плотного закрытия стыка, должно содержать небольшой (5—7%) избыток ацетилен¹. При более высоком содержании ацетилена увеличивается время сварки и наблюдается значительное оплавление поверхности нагрева.

Механические характеристики и структура сварных соединений

Исследования [2], [4], [12] показывают, что при соблюдении технологического процесса качество соединения при газопрессовой сварке очень высокое и однородное. При сварке углеродистых сталей значения временного сопроти-



Фиг. 13. Ударная вязкость основного металла (сталь Ст. 3) и газопрессового соединения из той же стали: 1 — до сварки; 2 — после сварки без дополнительной обработки; 3 — после сварки и проковки без дополнительного нагрева; 4 — после сварки и нормализации ацетилено-кислородной горелкой при 900°.



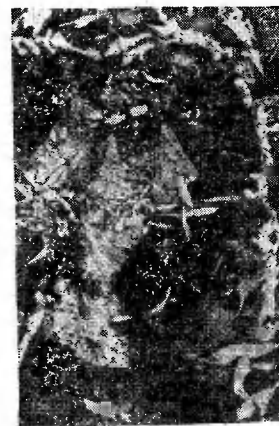
Фиг. 14. Значения предела выносливости для образцов из цельных и сварных образцов стали Ст. 5: 1 — без термообработки; 2 — отпуск при 630°; 3 — нормализация при 870°.

вления, предела текучести, поперечного сужения и истинного сопротивления разрыву в сварных и цельных образцах практически равны. Место разрыва проходит, как правило, по целому металлу. Относительно удлинение обычно несколько ниже, чем для основного металла. При испытании на растяжение ударом значения работы разрыва и относительного удлинения для сварных образцов также несколько ниже, чем для основного металла, но разрыв идет по основному металлу.

Результаты сравнительных испытаний на ударную вязкость (основного металла и сварных соединений), полученные на образцах из стали марки Ст. 3, показаны на фиг. 13. Как видно из сравнения, нормализация или проковка сильно влияет на вязкость сварного соединения. На фиг. 14 приведены значения предела выносливости образцов сварных соединений и основного металла для стали Ст. 5. Прочность сварного соединения без термической обработки ниже, чем у основного металла; отпуск сближает прочность сварного соединения и основного металла; после нормализации пределы выносливости сварных соединений и основного металла практически одинаковы.

Структура сварных соединений непосредственно после сварки — крупнозернистая вследствие влияния высоких температур (фиг. 15); но кратковременная

¹ Так называемая сварка «с защитой шва».



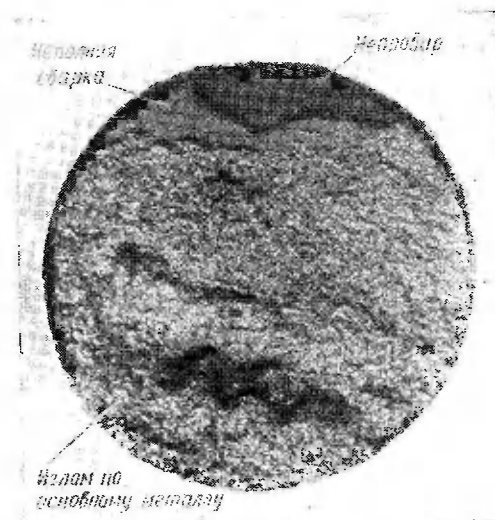
Фиг. 15. Микроструктура сварного соединения (сталь Ст. 5) без термической обработки $\times 100$



Фиг. 16. Микроструктура сварного соединения (сталь Ст. 5) после нормализации при 800° $\times 100$

нормализация при помощи сварочной горелки делает структуру мелкозернистой, причем шов после обычного травления незаметен даже при большом увеличении (фиг. 16).

Металлографическое исследование сварного соединения применяется для контроля качества сварки. Поверхностный слой в области усиления обычно носит следы перегрева и даже пережога, который следует удалять, по крайней мере, на глубину 1,5—2 мм. Металлографическим путем может быть установлен также дефект, называемый неполной сваркой, связанный с наличием цепочки окислов по линии шва. Причинами неполной сварки могут быть перерывы в нагреве при сварке, применение окислительного пламени, сварка при температуре ниже порога свариваемости или с недостаточным удельным давлением. Такой дефект, возникший при сварке горелкой с частью заглушенных сопел, показан на фиг. 17. Строение сварного соединения в разрезе в этом случае следующее: темная окисленность поверхности края излома говорит о наличии непровара. Это соответствует в разрезе образованию раскрытой трещины. Далее идет зона неполной сварки, характеризующаяся на разрезе цепочкой окислов, ближе к центру — зернистый излом, указывающий на нормальное качество сварки.

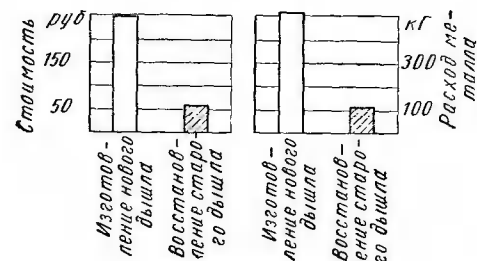


Фиг. 17. Излом сварного соединения при сварке с частью заглушенных сопел.

Качество сварного соединения определяют испытанием обработанной детали на изгиб, причем наибольшее напряжение берется 0,75—0,80 от предела текучести материала, из которого изготовлена деталь, с последующим контролем места сварки магнитным дефектоскопом. При газопрессовой сварке дефекты редки и если встречаются, то, как правило, расположены в поверхностных слоях изделия.

Технико-экономические показатели сварки

Сварка должна рассматриваться с учетом размера, формы и назначения изделия, объема производства и имеющегося оборудования. Газопрессовая сварка обеспечивает очень высокое качество сварного соединения, что в ряде случаев



Фиг. 22. Экономический эффект применения газопрессовой сварки при ремонте поршневых дышл локомотивов серии ФД.

большие сечения при малых начальных затратах. Газопрессовые станки не требуют мощных источников электроэнергии и могут применяться как в стационарных, так и в полевых условиях.

Представление об экономии, получаемой при ремонте деталей с применением газопрессовой сварки (по сравнению с изготовлением новых деталей), дает фиг. 22. Опыт показывает, что эти отремонтированные детали служат так же хорошо, как вновь изготовленные.

ЛИТЕРАТУРА

1. Владимирский Т. А., Жарнов А. Ф. и Швылов А. К., Газопрессовая сварка рельсов, «Сварочное производство» № 8, 1960.
2. Владимирский Т. А. и Селиванов К. В., Газопрессовая сварка деталей большого сечения, «Автогенное дело» № 10, 1952.
3. Владимирский Т. А. и Фалькевич А. С., Оборудование и опыт применения газопрессовой сварки, Машгиз, 1952.
4. Владимирский Т. А., Селиванов К. В., Швылов А. К., Мельников О. Е., Применение газопрессовой сварки при ремонте подвижного состава, «Железнодорожный транспорт» № 6, 1960.
5. Владимирский Т. А., Мельников О. Е., Селиванов К. В. и Швылов А. К., Технические указания по газопрессовой сварке паровозных деталей. Информационное письмо № 443 ЦНИИ МПС. М. 1958.
6. Фалькевич А. С. и Полякова Р. Б., Газопрессовая сварка труб небольших диаметров, «Автогенное дело» № 7, 1950.
7. Хренов К. К. и Борт М. М., Торцевая газопрессовая сварка, в сборн. «Новые способы сварки и резки металлов», Госуд. издат. технич. литературы УССР, Киев, 1953.
8. «The Welding Journal» № 11, 1956.
9. Forbes A. L., Pressure welding of pipe lines, «Petroleum Engineer», March, 1943.
10. Pressure welding of continuous welded rail, «The Welding Journal», November, 1955.
11. Siegenthaler H., Die Fahrdrat — Pressschweißmaschine, «Zeitschrift für Schweistechnik», № 5, 1955.
12. Газопрессовая сварка деталей подвижного состава и рельсов. Сб. статей, Трансжелдориздат, 1959.

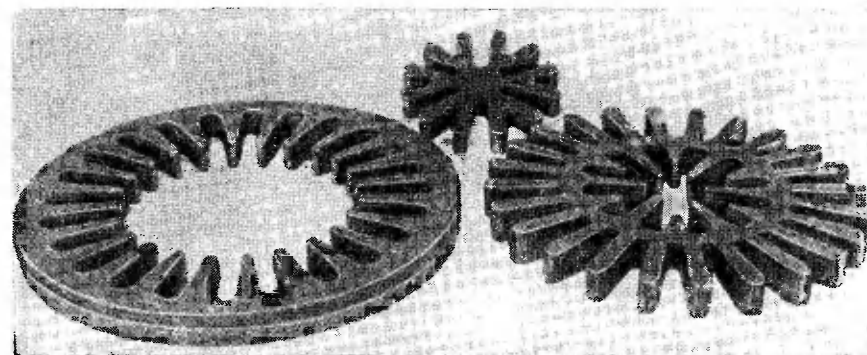
КИСЛОРОДНАЯ РЕЗКА

Общие сведения

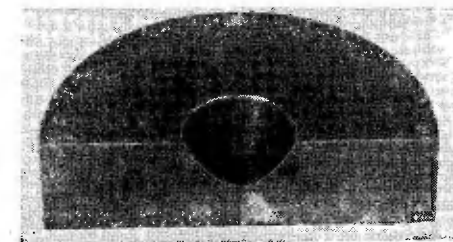
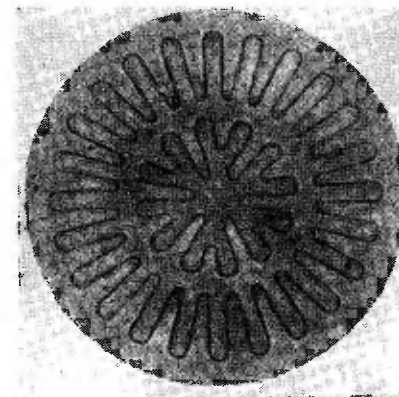
Кислородная резка основана на способности металла воспламеняться в струе кислорода при температуре, более низкой, чем температура плавления, и интенсивно сгорать с выделением значительного количества теплоты. На каждый килограмм кислорода, перешедшего в окислы железа (шлак кислородной резки), выделяется около 4100 ккал теплоты.

Кроме струи так называемого «режущего» кислорода, при кислородной резке обязательно наличие источника теплоты для подогрева поверхности металла в начальной точке реза до температуры воспламенения в кислороде и подогрева поверхности впереди струи режущего кислорода при установившемся процессе резки. В качестве источника теплоты при кислородной резке используется преимущественно газовое пламя.

Для нормального протекания процесса обычной кислородной резки необходимо, чтобы температура плавления образующихся при резке окислов была ниже



Фиг. 23. а — детали магнитной плиты, вырезанные по контуру из одного листа в три прохода; б — детали плиты в сборе.



Фиг. 24. Центровое углубление, выполненное с помощью кислородной резки (разрез).

температуры плавления основного металла, а сами окислы достаточно жидкотекучими. Разрезаемый металл должен иметь низкую теплопроводность.

Указанным требованиям отвечает большинство марок сталей. Высокохромистые стали, чугун и цветные металлы и сплавы могут разрезаться только при введении в разрез флюсов, повышающих температуру в месте резки и разжижающих или механически удаляющих образующиеся на поверхности металла тугоплавкие окислы. Такой способ резки называют кислородно-флюсовой резкой (см. стр. 352).

Оба способа резки могут применяться как для целей разделения металлов, так и для поверхностной их обработки (получения канавок или местных углублений) (фиг. 24).

При разделительной кислородной резке с механизированным перемещением резака достигаются точность и чистота поверхности, позволяющие во многих случаях не применять дальнейшую механическую обработку (фиг. 23).

Влияние основных легирующих элементов стали на ее способность подвергаться резке

Основными элементами, кроме железа, входящими в больших или меньших количествах в состав почти всех марок стали и специальных сплавов на железной основе, являются: углерод, марганец, кремний, хром, никель, вольфрам, молибден, медь, алюминий, ванадий, фосфор и сера.

Ниже приводятся краткие сведения о влиянии этих элементов на способность стали или специального сплава подвергаться кислородной резке.

Углерод. С повышением содержания углерода температура плавления стали повышается; при содержании углерода 0,7% и выше кислородная резка стали затрудняется. Кроме того, при содержании углерода свыше 0,3% обработанная поверхность заметно увеличивает свою твердость по сравнению с первоначальной. Это явление поверхностной закалки выражается тем резче, чем выше содержание углерода и скорость охлаждения изделия после резки. При содержании углерода свыше 0,7% в случае резки без предварительного подогрева изделия необходимо более мощное подогревающее пламя для нагрева стали до температуры, при которой она может гореть в кислороде.

Марганец улучшает способность сталей подвергаться резке кислородом. Так, например, стали, содержащие до 13% марганца, при содержании углерода до 1,3% достаточно хорошо поддаются кислородной резке. Однако при повышенном содержании марганца возрастает склонность сталей к самозакаливанию, вследствие чего возникает необходимость в предварительном подогреве изделия перед резкой.

Кремний в обычных количествах не препятствует кислородной резке. При содержании в стали свыше 0,2% углерода и более 4% кремния кислородная резка замедляется в связи с образованием вязких шлаков. Кремне-марганцовистые стали с повышенным содержанием углерода и марганца после кислородной резки должны подвергаться термообработке для снятия поверхностной закалки.

Хром. Стали, содержащие до 5% хрома и до 0,4% углерода, могут подвергаться резке обычным способом, но с предварительным подогревом во избежание воздушной закалки кромок. При большем содержании углерода способность стали, содержащей хром, подвергаться кислородной резке значительно снижается. Стали, содержащие до 0,7% углерода, разрезаются удовлетворительно при содержании хрома не более 1,5%. При содержании хрома свыше 5% необходимо применять специальные способы резки: резка с дополнительным железным прутом, кислородно-флюсовая резка и др.

Никель. При весьма малом содержании углерода (до 0,05%) сплавы с 70% никеля удовлетворительно обрабатываются кислородной струей, если они не содержат в заметных количествах других легирующих элементов. При более высоком содержании углерода допустимое содержание никеля уменьшается. Как правило, стали, содержащие до 15% никеля, могут подвергаться обычной кислородной резке. Аустенитные стали, содержащие свыше 30% никеля при повышенном содержании углерода, обычной кислородной резке поддаются с трудом. При резке сталей, содержащих значительное количество никеля, требуется более мощное подогревающее пламя, чем для обычных сталей тех же толщин.

Вольфрам. Если среднеуглеродистая сталь содержит вольфрама не больше 10%, резка протекает удовлетворительно. При содержании его от 10 до 15% резка возможна при предварительном подогреве стали и повышении давления кислорода. Стали, содержащие свыше 20% вольфрама, резке обычными методами не поддаются.

Молибден при содержании в стали до 2% практически не влияет на процесс резки. При 3,5% молибдена резка поддается только стали, содержащие не больше 0,3% углерода. Стали с содержанием молибдена больше 5% резке обычным способом не поддаются.

Медь до 3% не ухудшает способность стали подвергаться кислородной резке. Однако наличие меди в стали повышает склонность поверхности реза к закалке, что вызывает необходимость последующей термической обработки.

Алюминий. Перлитные стали, содержащие не больше 1,2% алюминия, поддаются кислородной резке, если в них не содержатся такие легирующие элементы, как хром, молибден и никель, но процесс резки при этом замедляется. Специальные сплавы, содержащие алюминия больше 10%, не поддаются обычной резке даже при сильном подогреве сплава и кислорода. Чистый алюминий также не поддается обычной резке.

Ванадий при обычном содержании в конструкционных сталях (до 0,3%) на разрезаемость влияет благоприятно.

Фосфор и сера. При обычном содержании в сталях (в сумме меньше 0,1%) заметного влияния на процесс резки не оказывают. В тех случаях, когда фосфор применяется как легирующий элемент, содержание его в стали до 2% также мало влияет на обрабатываемость кислородной струей. При повышенном содержании серы образующаяся двуокись серы замедляет и затрудняет процесс резки.

Структурные изменения при кислородной резке конструкционных и инструментальных сталей

Различные металлы и сплавы в разной степени чувствительны к термическому воздействию при резке; этим в основном и определяется трудность установления технологического режима. Так как кромки металла при кислородной резке сильно разогреваются, а затем быстро охлаждаются, то в прилегающих к месту реза слоях металла (зона термического влияния) происходят структурные изменения. Глубина зоны структурных изменений пропорциональна количеству тепла, приходящегося на единицу объема металла около обрабатываемой поверхности. Эта глубина увеличивается при прочих равных условиях с увеличением мощности подогревающего пламени, массы обрабатываемого изделия, содержания в стали углерода и легирующих элементов и уменьшается с увеличением скорости перемещения резака, чистоты кислорода и давления кислорода (до определенного предела).

2. Зависимость глубины зоны влияния от содержания углерода в стали

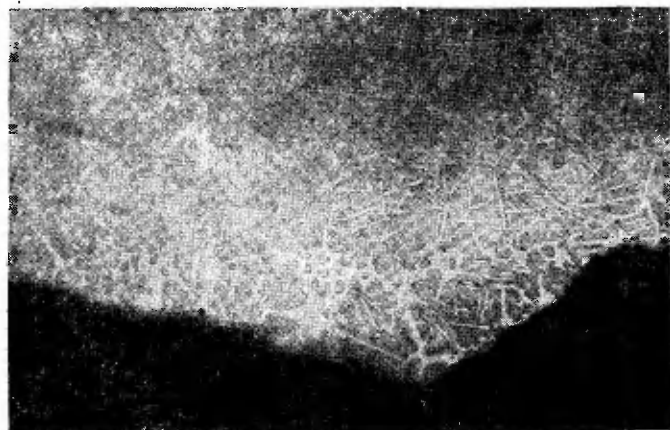
Толщина разрезаемой стали в мм		5	25	100	250	800
Скорость резки в мм/мин		400	250	150	100	40
Глубина зоны влияния в мм при резке	малоуглеродистой стали (до 0,3% С)	0,1—0,3	0,5—0,7	1,5—2,0	1,5—3,0	4—5
	стали, содержащей 0,5—1% С	0,3—0,5	0,8—1,5	2,5—3,5	3,5—5	6—8

При резке стали в зоне термического влияния, вследствие различных температур нагрева отдельных участков зоны и различных скоростей охлаждения каждого участка в отдельности, могут образоваться участки закалки и отпуска. Образование закалочных структур обуславливает возникновение в зоне термического влияния больших остаточных напряжений и может привести к образованию трещин.

На возможность возникновения трещин влияет также природная величина зерна аустенита. Чем крупнее зерно аустенита, тем более предрасположена данная сталь к образованию трещин.

Таким образом, возможность образования закалочных трещин при охлаждении металла после резки тем больше, чем более устойчив аустенит, чем больше толщина разрезаемого металла, содержание углерода в стали и скорость охлаждения при резке. Скорость охлаждения может регулироваться предварительным подогревом и замедленным охлаждением кромки после резки.

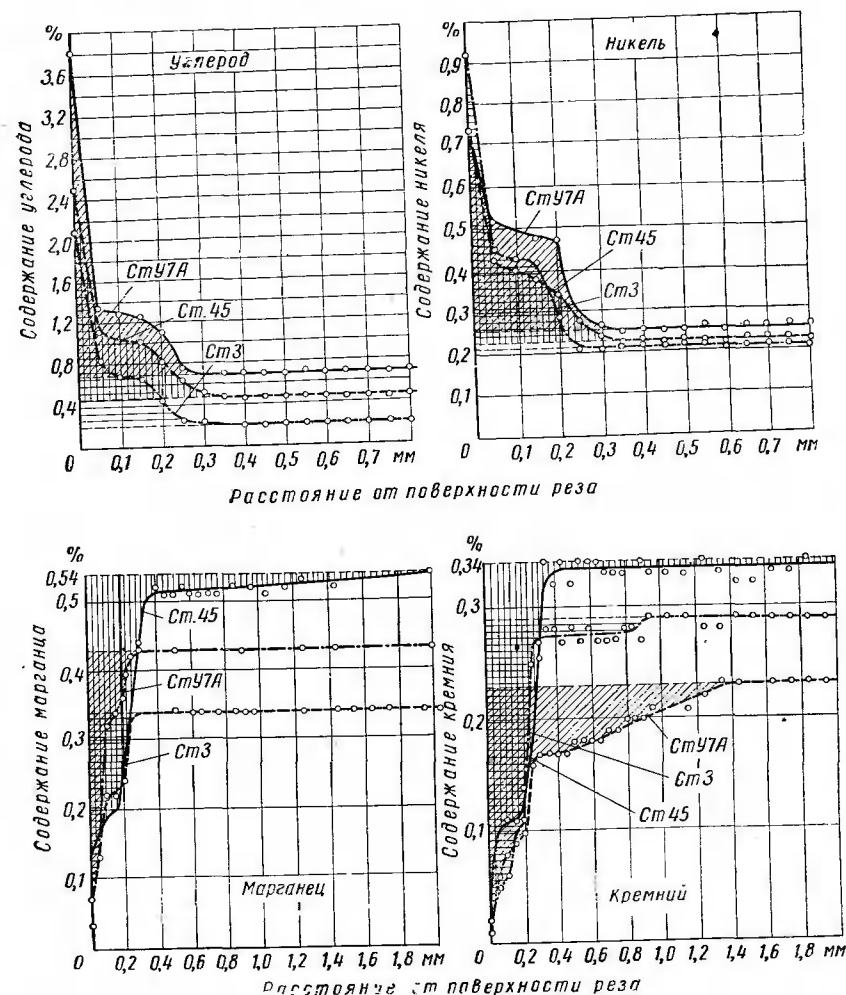
Характерной особенностью структуры зоны термического влияния при кислородной резке среднеуглеродистой стали является наличие у кромки отдельных участков, по строению аналогичных ледебуритной эвтектике (фиг. 25). Участок перегрева состоит из мартенсита видманшtedтовой ориентации с цементитными иглами и крупнозернистого троостомартенсита с ферритной сеткой по границам зерен. Это подтверждается и результатами послойных спектральных



Фиг. 25 Структура зоны термического влияния при кислородной резке среднеуглеродистой стали

анализов химического состава, согласно которым в зоне, прилегающей к кромке реза, глубина которой обычно не превышает 0,3 мм, имеет место резкое повышение содержания С и Ni и уменьшение содержания Mn и Si. При этом, как видно из графика фиг. 26, содержание углерода на поверхности реза может достигать 2,0% даже при содержании его в основном металле, не превышающем 0,2%. Замена ацетиленоводородом в подогревающем пламени практически не влияет на степень науглероживания поверхности кромки реза. При избытке кислорода в ацетилено-кислородном пламени содержание легирующих элементов у верхней кромки реза изменяется более резко, чем при нагреве пламенем с избытком ацетилена. Наиболее вероятное объяснение науглероживания кромки при кислородной резке основывается на том, что процесс окисления различных легирующих элементов в разрезе носит избирательный характер. В результате этого частицы неокисленного металла в шлаке обогащаются углеродом и во время перемещения шлака струей режущего кислорода взаимодействуют с жидкой пленкой металла на поверхности реза. Об этом свидетельствует наличие резкого перехода от участков со структурой ледебуритного мартенсита к участкам с сорбитной структурой, а также наличие литой структуры со шлаковыми включениями округлой формы.

О действии шлаковой фазы на процесс науглероживания свидетельствует также и то, что у верхней кромки реза имеются участки обезуглероженного металла с чисто ферритной структурой, а концентрация углерода растет по мере углубления струи режущего кислорода в металл, достигая максимума у нижней кромки.



Фиг. 26. Изменение содержания основных элементов в поверхностном слое стали различных марок в результате кислородной резки

Предварительный и сопутствующий подогрев

При кислородной резке высокоуглеродистых и легированных сталей предварительный (до резки) или сопутствующий (в процессе резки) дополнительный подогрев изделия может быть общим для всего изделия или местным в зависимости от величины и конфигурации изделия и характера подогревающих устройств (термические печи, горны нагревательные колодцы, многопламенные горелки и т. п.).

Подогрев может иметь целью: а) быстрее довести обрабатываемую поверхность до температуры воспламенения и поддерживать образующиеся шлаки в состоянии жидкотекучести; б) обеспечить условия для полного превращения в области критических температур. При этом нагрев не должен превышать нижней критической точки; в) обеспечить замедленное и равномерное охлаждение из-

делия после резки для предупреждения закалки, образования трещин и больших деформаций; г) повысить скорость резки.

Как правило, изделия подогреваются до температуры 300—450° С. При нагреве до более высоких температур увеличивается ширина реза, ухудшается состояние его поверхности, усложняется обслуживание оборудования, возникает необходимость искусственного охлаждения резака.

Изделия большой толщины следует нагревать равномерно по всему сечению во избежание неодинакового окисления и ухудшения состояния поверхности.

Общий подогрев небольших изделий осуществляется обычно в пламенных печах или нагревательных колодцах, местный подогрев громоздких изделий — пламенем резака или многопламенных горелок. Резку изделий, поступающих после прокатки,ковки или штамповки, целесообразно производить в горячем виде, не дожидаясь их полного охлаждения.

Классификация конструкционных и инструментальных сталей по их способности подвергаться кислородной резке

Способность стали подвергаться резке можно оценить на основе химического состава, по эквиваленту углерода:

$$C_{\text{э}} = C + 0,16Mn + 0,3(Si + Mo) + 0,4Cr + 0,2V + 0,04(Ni + Cu),$$

где символы элементов означают содержание их в стали в весовых процентах.

Применяемые отечественной промышленностью марки конструкционных и инструментальных сталей могут быть разделены на четыре группы (табл. 3).

На практике возможны случаи, когда различные плавки стали одной и той же марки могут относиться к различным группам по разрезаемости. Так, например, сталь 50 при содержании углерода на нижнем пределе (до 0,5%) будет относиться ко II группе, хотя, как правило, эта сталь III группы.

Если изделие работает при знакопеременных нагрузках, то независимо от марки стали свободные поверхности резов должны быть шлифованы до полного удаления бороздок, а верхняя и нижняя кромки закруглены радиусом 1—1,5 мм.

Классификация высоколегированных хромистых и хромоникелевых сталей по их способности подвергаться кислородной резке

Так как высокохромистые стали наряду с хромом содержат в различном сочетании алюминий, кремний, марганец, никель, вольфрам, молибден, кобальт и другие элементы, то эти стали в различной степени чувствительны к термическому воздействию при нагреве, что в значительной мере затрудняет установление технологического режима резки.

При резке хромоникелевых сталей, стабилизированных титаном или ниобием, глубина зоны термического влияния для толщины 10—100 мм составляет не более 0,5—1,0 мм. Для большинства исследованных марок стали характерно наличие на поверхности кромок оплавленного участка протяженностью 0,1—0,2 мм с крупнокристаллической структурой полиэдрического типа. При кислородно-флюсовой резке имеет место сильное выгорание легирующих элементов с поверхности реза. Выгорание этих элементов увеличивается по толщине разрезаемого металла, т. е. является наибольшим у нижней кромки.

Так как глубина обедненного слоя не превышает 0,5 мм, то при выполнении последующей сварки этот слой будет расплавлен и практически не повлияет на механические и коррозионные свойства сварного соединения.

В тех случаях, когда вырезанное изделие не подвергается последующей сварке, удаление обедненного слоя металла после кислородно-флюсовой резки рекомендуется выполнять путем легкой шлифовки поверхности реза абразивами (наждачными кругами). При этом слой металла, подлежащий удалению, составляет примерно 0,25 мм для толщин до 25 мм и 0,5 мм для толщин от 30 до 100 мм.

3. Классификация сталей по разрезаемости

№ группы	C _{эк}	% C	Марки стали	Условия резки
I	До 0,6	До 0,3	10—25, Мст. 1—Мст. 4, 15Г, 20Г, 10Г2, 15М, 15НМ,	Резка может производиться в любых производственных условиях без технологических ограничений и без предъявления требований по термической обработке стали до и после резки
II	0,61—0,8	До 0,5	30—45, 30Г—40Г, 30Г2, 15Х, 20Х, 15ХФ, 20ХФ, 15ХГ, 20М, 30М, 20НМ, 20ХН, 12ХН2А, 12ХН3А—20ХН3А	Резка без подогрева может производиться только в летнее время. При работах в зимнее время или при резке больших сечений требуется предварительный подогрев до температуры не ниже 120° С
III	0,81—1,1	До 0,8	50—70, 50Г—70Г, 35Г2—50Г2, 30Х—50Х, 12ХМ—35ХМ, 20ХГ—40ХГ, 18ХГТ, 40ХН—50ХН, 40НМ, 18ХГМ, 12Х2Н4А—20Х2Н4А, 12ХН4—25ХН4, 33ХН3МА, 18ХНВА, 20ХГС, 20ХН4ФА, 30ХН2МФА, 35ХМФА, 27СГ, 35СГ, 35ХГ2, 38ХГН, 40ХНМА, 40ХФА, 5ХНМ, ШХ10	Стали этой группы склонны к закалке. При обычных условиях резки могут возникнуть закалочные трещины. Резку следует производить только в горячем состоянии при температуре изделия 200—300° С
IV	Более 1,1	Более 0,8	25ХГС—50ХГС, 33ХС—40ХС, 20Х3, 35ХЮА, 37ХН3А, 35Х2МА, 25ХНВА, 38ХМЮА, 40ХГМ, 45ХНМФА, 50ХГА, 50ХФА, 50ХГФА, 5ХНМ, 12Х2Н3МА, ШХ9, ШХ15, ШХ15СГ	К этой группе относятся стали, весьма склонные к образованию трещин после резки. Резка возможна только при предварительном нагреве до температуры 300—450° С и замедленном остывании после резки

При резке нестабилизированных сталей аустенитного класса зона термического влияния, в которой происходят структурные изменения, простирается на глубину 3—7 мм. Указанная зона разделяется на два участка: оплавленный участок, в котором может иметь место выпадение карбидов хрома, и участок, где металл нагреет выше температуры точки A_{c1} , вследствие чего имеет место рост зерен аустенита.

Резку нестабилизированной стали целесообразно сопровождать интенсивным охлаждением кромки водой, чтобы сократить время пребывания металла при критической температуре; этим предотвращается выпадение карбидов хрома или по крайней мере уменьшается опасность образования межкристаллитной коррозии.

При резке сталей, склонных к воздушной закалке (например, высокохромистых мартенситного класса), для предотвращения образования трещин резку следует производить с предварительным подогревом до 300—370° С.

Высокий нагрев полуферритных сталей типа Х17 при кислородной резке приводит к росту зерен феррита у кромки реза; это вызывает снижение пластических свойств металла и может привести к образованию трещин. Поэтому после кислородной резки таких сталей рекомендуется термообработка при температуре 740—760° С.

Хромистые стали, мартенситного класса, нагретые до температуры выше критической, при охлаждении на воздухе закаливаются, вследствие чего на кромке реза образуется напряженная структура закалки. Поэтому при резке сталей этой группы необходим предварительный подогрев разрезаемого изделия до температуры 300—370° и последующий за резкой отжиг или отпуск с медленным охлаждением, например в печи.

На основании обобщения производственного опыта ряда заводов и данных, полученных при лабораторных исследованиях, все высоколегированные хромистые и хромоникелевые стали могут быть разделены на три группы по их способности подвергаться кислородно-флюсовой резке.

1. Стали, не требующие термической обработки до и после резки независимо от величины и конфигурации изделия. К этой группе относятся низкоуглеродистые стали аустенитного класса, стабилизированные титаном или ниобием. Общее содержание никеля и хрома в этих сталях обычно составляет не менее 26%.

2. Стали, разрезаемые без особых затруднений, но требующие после резки специальной обработки. К этой группе относятся нестабилизированные стали аустенитного класса. Резку их целесообразно сопровождать интенсивным охлаждением кромок водой для сокращения времени пребывания металла при критической температуре; это уменьшает опасность образования межкристаллитной коррозии.

3. Стали, которые режутся удовлетворительно лишь при соответствующей термической обработке до и после резки. К этой группе относятся стали мартенситного и полуферритного класса, например хромистые стали, содержащие 12—14% хрома. К этой же группе сталей относятся и хромистые стали ферритного класса, содержащие 16—30% хрома и менее 0,3% углерода. В этих сталях после резки, как и после сварки, наблюдается склонность к росту зерен феррита и снижение пластичности металла в зоне термического влияния. Поэтому после резки рекомендуется подвергать их отжигу при температуре 740—760° С.

Основы технологии разделительной кислородной резки стали толщиной до 200 мм

Процесс разделительной кислородной резки протекает следующим образом. На предварительно нагретую в месте начала резки до 1300—1400° С поверхность направляют струю кислорода; металл загорается, выделяющееся при этом тепло передается через образовавшийся шлак нижележащим слоям металла, которые также воспламеняются в струе кислорода и сгорают. При равномерном перемещении зоны горения образуется непрерывный и сквозной рез. Расплавленный металл и окислы удаляются из разреза под воздействием давления кислородной струи и собственного веса. Эффективность струи режущего кислорода зависит

в первую очередь, от давления кислорода перед мундштуком, чистоты кислорода и расхода его в единицу времени, а также от размеров и формы каналов в мундштуке. Существенное влияние на экономичность и качество резки оказывает скорость перемещения резака.

Давление кислорода

Чем больше давление кислорода при данной толщине разрезаемой стали и данном диаметре горлового сечения канала мундштука, тем обычно выше скорость резки. Практически повышение давления является целесообразным лишь до некоторого предела и для ограниченного интервала толщин. С увеличением давления кислорода увеличивается скорость протекания частиц кислорода через разрез, а следовательно бесполезный его унос и охлаждающее действие на металл в зоне химико-термической реакции резки. При неизменном выходном сечении мундштука увеличение давления кислорода нарушает цилиндричность струи, что приводит к бесполезной потере энергии струи и увеличению ширины реза. Поэтому существует оптимальная величина давления кислорода, превышение которой ведет к снижению скорости резки, увеличению удельного расхода кислорода и ухудшению качества поверхности реза.

При снижении требований к качеству поверхности реза (увеличении допустимого отставания) оптимальное давление повышается (фиг. 27). Для стали толщиной от 20 до 100 мм оптимальное давление кислорода перед мундштуком составляет 8—10 *атм*. Иногда это давление целесообразно снижать до 5—6 *атм*.

При резке стали малых и больших толщин оптимальным является давление кислорода 2—3 *атм*.

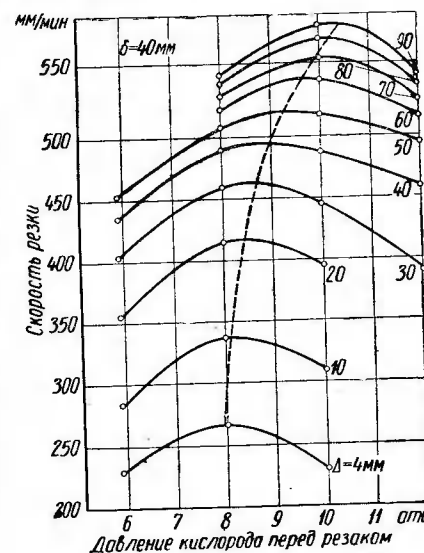
Поддержание оптимальных давлений режущего кислорода перед мундштуком затрудняется тем, что, как правило, контролируется по манометру редуктора. Однако в редукторах и резаках различной конструкции, а также при разных сечениях и длине планга потери давления кислорода между рабочей камерой редуктора и мундштуком резака могут существенно отличаться. Величина потерь давления зависит также и от расхода газа в единицу времени. Таким образом, при одинаковых давлениях по манометру редуктора можно получить весьма различные давления перед мундштуком. Между тем динамические свойства кислородной струи и расход кислорода в единицу времени находятся в прямой зависимости от давления кислорода перед горловым сечением канала режущего кислорода в мундштуке.

Потери давления определяются следующей зависимостью:

$$\Delta p = p_n - p_k = \frac{K_c V^2}{2 p_{cp}},$$

где Δp — потеря (перепад) давления в данном узле аппаратуры (резаке, редукторе, планге) в *атм*;

p_n и p_k — давление газа перед узлом и на выходе из него в *атм*;



Фиг. 27. Зависимость скорости резки стали толщиной 40 мм от давления кислорода при различном качестве поверхности реза (различных отставаниях).

K_c — так называемый коэффициент сопротивления;
 p_{cp} — среднее давление газа на участке в *атм*;
 V — расход газа в $м^3/час$.

Так как $p_{cp} = \frac{p_n + 1 + p_k + 1}{2}$, то

$$\Delta p = \sqrt{(p_k + 1)^2 + K_c V^2} - (p_k + 1) = (p_n + 1) - \sqrt{(p_n + 1)^2 - K_c V^2}.$$

Коэффициент сопротивления для каждого вида аппаратуры определяется экспериментально. Для трубок и шлангов K_c обратно пропорционален внутреннему диаметру трубки (шланга) в степени примерно 5,25 и прямо пропорционален длине трубки (шланга).

Значения коэффициента сопротивления для различных типов резаков и редукторов, а также для шлангов приведены в табл. 4.

4. Коэффициенты сопротивления для различных видов аппаратуры, применяемой при кислородной резке

Наименование аппаратуры	Марка	Коэффициент сопротивления K_c
Резак ручной для работы на ацетилене	УР-50 и РР-53	$30 \cdot 10^{-3}$
Резак ручной для работы на жидких горючих (керосинорез)	К-48 К-51	$60 \cdot 10^{-3}$ $25 \cdot 10^{-3}$
Резак машинный для разделительной резки с вентилем режущего кислорода	РМР	$30 \cdot 10^{-3}$
То же, без вентиля	СГУ	$12 \cdot 10^{-3}$
Резак ручной для резки больших толщин с запорным вентилем	РР-600	$1,3 \cdot 10^{-3}$
Резак машинный для резки больших толщин без вентиля	РМ-600	$0,45 \cdot 10^{-3}$
Редуктор кислородный баллонный с запорным вентилем	РК-53	$6 \cdot 10^{-3}$
Редуктор рамповый без запорного вентиля	РК-250	$0,1 \cdot 10^{-3}$
Шланг с внутренним диаметром 9 мм, длиной 1 м	—	$0,7 \cdot 10^{-3}$
То же, с внутренним диаметром 13 мм	—	$0,1 \cdot 10^{-3}$

Зная коэффициенты сопротивления для резака, шланга и редуктора и необходимое давление перед мундштуком (p_k), можно определить начальное давление, которое требуется поддерживать в рабочей камере редуктора (p_n).

Из приведенной выше формулы видно, что потери давления резки возрастают с увеличением расхода кислорода, т. е. с увеличением толщины разрезаемого металла. Поэтому при резке стали толщиной свыше 300 мм поддерживать оптимальное давление кислорода, обеспечивающее наибольшую скорость резки, трудно, так как рабочее давление редуктора превышает 15 *атм*.

При обычной резке в нижнем положении существенную роль играет стекание жидкого металла и окислов под действием силы тяжести. При резке в горизонтальном положении действие силы тяжести приходится компенсировать увеличением давления струи режущего кислорода.

Чистота кислорода

В техническом кислороде может содержаться от 0,2 до 2,0% (а иногда и более) газообразных примесей, состоящих в основном из азота и аргона. Интенсивность окисления железа находится в прямой зависимости от концентрации кислорода на поверхности, подвергаемой окислению. В результате использования части кислорода на окисление распределение примесей по сечению кислородной струи неравномерно. Наибольшая концентрация примесей имеет место у поверхности металла. По мере проникновения кислородной струи в глубь металла активность реакции окисления уменьшается и при недостаточной исходной чистоте кислорода рез может не дойти до нижней кромки. Для компенсации вредного влияния пониженной чистоты кислорода приходится либо увеличивать расход кислорода, либо уменьшать скорость резки (чаще последнее).

Применение кислорода чистотой ниже 98% нецелесообразно, так как даже при малой величине отставания поверхность реза получается нечистой с глубокими рисками и трудно отделяемым шлаком. По ГОСТу 5583-58 нижний предел чистоты кислорода второго сорта — 98,5%, а первого сорта — 99,2%.

Получение резов высокого качества и без грат на нижних кромках при резке стали толщиной до 10 мм возможно лишь при использовании кислорода высшего сорта с нижним допустимым пределом чистоты — 99,5%.

Для практически возможного интервала изменения чистоты кислорода (98,0—99,8%) можно в первом приближении определять необходимую скорость резки, пользуясь следующей зависимостью:

$$U_n = \frac{U_m}{\sqrt[4]{100,5 - \epsilon}} = K_\epsilon U_m,$$

где U_n — необходимая скорость резки;
 U_m — табличная скорость резки, соответствующая кислороду чистотой 99,5%;

K_ϵ — коэффициент чистоты кислорода;

ϵ — действительная чистота кислорода в %

Из приведенной зависимости следует, что увеличение чистоты кислорода на 0,5% позволяет при прочих равных условиях увеличить скорость резки на 5—14% (в зависимости от исходной чистоты кислорода), или, соответственно, уменьшить удельный расход кислорода.

ϵ %	99,8	99,5	99,2	99,0	98,8	98,5	98,0
K_ϵ	1,09	1,0	0,94	0,90	0,88	0,84	0,80

При поверхностной кислородной резке уменьшение чистоты кислорода приводит к уменьшению размеров получаемой канавки и ухудшению ее поверхности. Численная характеристика влияния чистоты кислорода в этом случае весьма близка к приведенной выше для разделительной резки.

Расход кислорода

Теоретически для окисления 1 кг железа требуется от 0,29 до 0,38 м³ кислорода в зависимости от того, окисляется ли железо полностью в FeO или в Fe₂O₃. Практически в шлаке присутствуют оба окисла в соотношении, которое зависит от толщины разрезаемого стали и режима резки. Часть удаляемого из разреза металла остается неокисленной. В то же время некоторое количество кислорода расходуется на выдувание окислов и расплавленного металла из разреза, а также теряется бесполезно вследствие высокой скорости кислородной струи. Это особенно заметно при малой толщине разрезаемого металла. Наименьший расход кислорода на 1 пог. м длины реза или на 1 см² поверхности реза имеет место, когда наибольшая часть вводимого в рез кислорода расходуется на окисление (при наименьшей ширине реза). Чем выше требования к качеству поверхности реза (чем меньше допустимое отставание), тем большим должен быть расход кислорода.

Оптимальный расход кислорода в единицу времени можно в первом приближении считать не зависящим от скорости резки и допустимого отставания и примерно пропорциональным толщине разрезаемого стали.

Оптимальный расход кислорода на единицу длины реза изменяется для стали толщиной от 5 до 300 мм, также примерно пропорционально толщине стали, а оптимальный расход кислорода на единицу поверхности реза пропорционален толщине стали в степени 0,2.

При уменьшении расхода кислорода увеличивается содержание неокисленного железа в шлаке и усиливается его приваривание к нижним кромкам реза (образование грата).

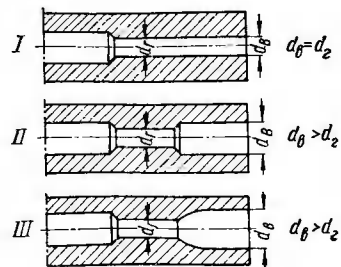
Экономичность процесса кислородной резки определяется совокупностью затрат на оплату рабочей силы и расходуемых газов. Поэтому иногда выгоднее расходовать несколько больше кислорода на единицу длины реза, особенно при резке стали средних толщин, если при этом повышается скорость резки и облегчается отделение грата, так как накладные расходы производства являются прямой функцией количества затрачиваемого труда.

Мундштуки для режущего кислорода

Мундштуки для режущего кислорода разделяются по форме на три типа (фиг. 28): без расширения на выходе (I), со ступенчатым расширением (II) и с профилированным расширением (III).

Для наиболее экономичной и качественной резки стали толщиной до 20 мм и свыше 200 мм целесообразно применять мундштуки, не имеющие расширения на выходе (при давлении кислорода до 3 атм). Для стали толщиной от 20 до 200 мм наиболее экономичны мундштуки с расширяющимся участком. При этом при давлении кислорода не превышающих 10 атм, и диаметрах горловых каналов, не превышающих 3,0 мм, вполне достаточно применять мундштуки со ступенчатым расширением.

В некоторых случаях и для этих толщин целесообразнее применять мундштуки без расширения на выходе, так как их легче изготовить. Во всех случаях решающее значение имеет гладкость стенок каналов и отсутствие заусенцев.



Фиг. 28. Схемы канавов для режущего кислорода в мундштуках

Скорость резки

Как показали исследования, при разделительной резке существует функциональная зависимость между скоростью резки (U) и толщиной разрезаемого металла (δ). Для устойчивых скоростей обычной машинной резки стали толщиной от 5 до 300 мм эта зависимость удовлетворительно выражается формулой $U = 1300 \cdot \delta^{-0.3}$ [мм/мин], представляющей собой степенную функцию, выражаемую в логарифмических координатах прямой линией.

Указанные скорости могут применяться при прямолинейной и фигурной резке с припуском на последующую механическую обработку (класс IV)*. При резке деталей с прямолинейными кромками, не требующими высокого качества (класс III), наибольшие расчетные скорости резки следует уменьшать на 5—10%. Для чистовой машинной прямолинейной резки расчетные скорости следует снижать на 20—25%. Для чистовой машинной резки по криволинейным контурам скорости должны составлять 50—60% от наибольших расчетных. При заготовительной машинной резке стали толщиной от 10 до 100 мм (резка «карт» и т. п.) наибольшие расчетные скорости можно увеличить на 10—20%.

В табл. 5 приведены ориентировочные технические скорости различных видов машинной разделительной кислородной резки, соответствующие приведенной выше формуле с указанными коэффициентами.

При ручной резке вследствие невозможности перемещать резак с такой же равномерностью, как при машинной резке, скорости резки несколько понижаются.

Величина снижения зависит от квалификации резчика, а также от того, держит ли он резак на весу или с опорой на тележку. В среднем снижение скорости при ручной резке составляет примерно 20% для III—V классов качества резки. Получение резцов I и II классов качества при ручной резке, как правило, невозможно.

Классификация видов разделительной кислородной резки

Нормирование операций кислородной разделительной резки следует производить с учетом назначения детали, состояния металла, подлежащего резке, и необходимости в дальнейшей обработке по вырезанному контуру.

В некоторых случаях целесообразно уменьшать техническую скорость резки, если при этом обеспечивается качество поверхности реза, позволяющее отказаться от дополнительной механической обработки. Имеют место и обратные случаи, когда вырезаемые детали неизбежно должны подвергаться последующей механической обработке или более точной кислородной вырезке по копиру, в связи с чем от поверхности реза не следует требовать особо высокого качества. При этом можно значительно увеличить скорость резки и снизить удельный расход газов на единицу длины реза. Если резка поддается листовая сталь (прокат) с чистой поверхностью, то имеется полная возможность, не снижая производительности резки, существенно уменьшить расход ацетиленов по сравнению с резкой листовой стали, покрытой окалиной или ржавчиной, или литой стали. При этом наряду с заметной экономией дорогостоящего газа улучшается качество поверхности вырезанных деталей и уменьшаются деформации.

Оценку качества разделительной резки можно производить по следующим показателям:

- состояние верхней кромки реза;
- характер шлака (окислов) и степень его сцепления с поверхностью реза, в особенности с нижней кромкой (с точки зрения легкости удаления);
- равномерность ширины разреза по высоте;
- количество и размеры местных выхватов на поверхности реза;
- глубину и искривление бороздок на поверхности реза.

Искривление бороздок, являющееся функцией скорости резки, характеризуется величиной так называемого «отставания». Эта величина показывает, на

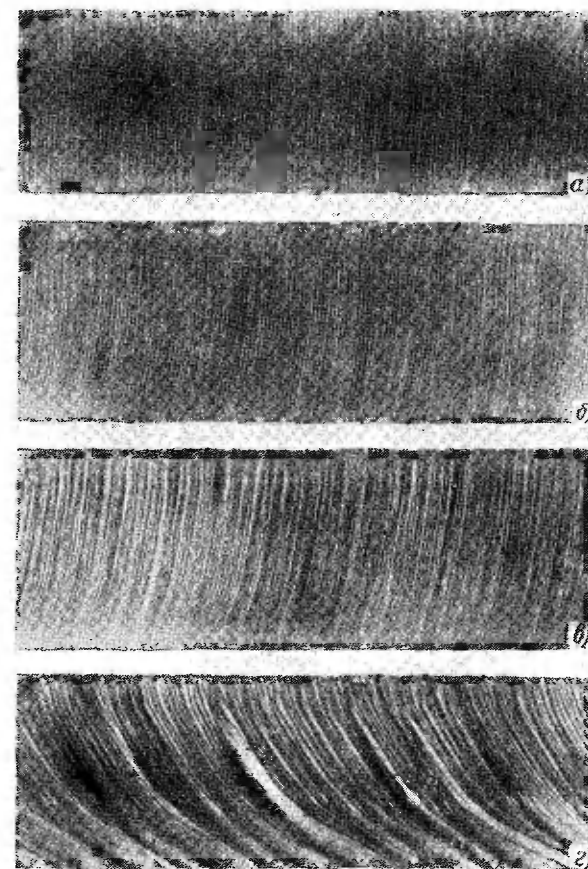
* См. классификацию, приведенную в табл. 6

5. Ориентировочные технические скорости при чистовой кислородной раздельной резке

Вид резки и класс качества	Скорость резки в мм/мин при толщине разрезаемой стали в мм									
	5	10	20	30	50	80	100	150	200	300
Заготовительная резка (класс V)	—	710—780	580—630	520—560	440—480	380—420	360—390	—	—	—
Резка деталей с припуском на механическую обработку (класс IV)	800	650	530	470	400	350	330	290	260	240
Прямой резка с пониженным качеством поверхности (класс III)	740—760	570—620	470—500	410—450	350—380	310—330	290—310	260—280	230—250	210—230
Чистовая прямая резка (класс II)	590—640	480—520	390—420	350—380	300—320	260—280	240—260	210—230	200—210	180—190
Чистовая фасонная резка (класс I)	400—500	320—400	260—330	230—290	200—250	170—220	160—200	150—180	140—160	120—140

Примечание. Приведенные скорости соответствуют резке кислородом, имеющим чистоту 99,5%.

сколько миллиметров каждая бороздка у нижней кромки отстает от начального ее положения у верхней кромки. Глубина и шаг бороздок на поверхности реза также являются функцией скорости перемещения резака, т. е. в известной мере и они характеризуются величиной отставания.



Фиг. 29. Внешний вид поверхностей резов различного качества, оцениваемых: а — баллом 3; б — баллом 2; в — баллом 1; г — баллом 0.

В некоторых случаях отставание удобнее выразить в процентах от толщины разрезаемой стали.

Если за критерий допустимого качества принимают поверхность реза с еле заметными бороздками при отставании, практически равном нулю, то скорость резки будет значительно ниже, чем при отставании, составляющем 14—100% от толщины разрезаемой стали (см. табл. 6, класс качества III). Практически же, в случае прямой резки, поверхность реза при таком отставании оказывается вполне приемлемой для большинства изделий, которые не подвергаются дальнейшей механической обработке. Следует лишь несколько замедлить резку в начале и в конце реза во избежание непрореза.

6. Классификация видов раздельной ислородной резки малоуглеродистой стали толщиной от 5 мм до 200 мм по назначению, качеству поверхности и скорости резки

Класс качества	Вид резки и назначения детали (изделия)	Общее состояние поверхности реза (оценка по внешнему виду)	Требования к качеству поверхности реза (наибольшие допускаемые значения)						Коэффициент скорости резки $K_{ср}$	Примеры вырезанных деталей
			Коэффициент отставания борозки на поверхности реза K_0	Глубина борозки в мм	Скручивание верхних кромок (радиус) в мм	Выхваты				
						Глубина в мм	Длина одного выхвата в мм	Количество на один пог. м реза		
I	Чистовая вырезка круглых и фасонных деталей без последующей механической обработки	Отличное без графа на нижних кромках (балл 3)	0,06—0,15	0,4	0,2	Как правило, не допускаются, за исключением отдельных случаев (в неотвешенных деталях при условии последующей заварки и зачистки)			0,50—0,60	Фланцы, звездочки и т. п. д.
II	Чистовая вырезка деталей с прямолинейными кромками без последующей механической обработки	Хорошее, с легкотелым отделанным графом (балл 2)	0,36—0,40	0,3	0,5	1,0	2,5	2	0,75—0,80	Подготовка кромок под автоматическую сварку. Обрезка стенок сварных балок

III	Резка деталей с прямолинейными кромками, не требующих высокой точности	Удовлетворительное, с труднотелым делимым графом (балл 1)	0,60—0,80	Не регламентируется					1,0	2,0	5,0	3	0,90—0,95	Подготовка кромок под ручную сварку. Обрезка полок сварных балок
IV	Вырезка деталей с припуском на механическую обработку по контуру вырезки	Не регламентируется (балл 0)	1,0	Не регламентируется					В пределах пуска	2,5	8,0	4	1,0	Заготовка деталей со сложным наружным контуром, требующих точных размеров (шестерен и т. п.)
V	Заготовительная резка	Не регламентируется (балл 0)	1,5—2,0	Не регламентируется					Не регламентируется	4,0	10	5	1,1—1,2	Вырезка «карт» для последующей точной резки деталей на машинах типа АСП и др.

Примечания:

- Для IV класса качества наибольшая допускаемая величина отставания $\Delta \approx 7d_0$, и расчетная скорость резки $U = 1300 \delta - 0,3$ в мм/мин, где δ — толщина разрезаемой стали в мм;
- d_0 — абсолютная величина отставания линий реза в мм;
- d_0 и d_0 — диаметры горючего и выходного каналов для режущего кислорода в мм. Для других классов качества допускаемая величина отставания и расчетная скорость резки определяются умножением приведенных выше величин на соответствующие коэффициенты.
- Припуск (δ) при резке малоуглеродистой и низколегированной стали по IV классу качества следует принимать равным глубине допускаемых выхватам плюс $1,0 \div 1,5$ мм, но не более $\delta = 3 + 0,01 \delta$, а при резке высокоуглеродистой и легированной стали $\delta = 4 + 0,02 \delta$, где δ и δ в мм.
- При резке в лом классе качества не устанавливается, так как к качеству поверхности реза не предъявляются никаких требований. Коэффициент скорости в этом случае (для стали толщиной 20—100 мм) может быть принят равным 1,3—1,4. Резка в лом выполняется, как правило, вручную.
- Коэффициенты скорости для класса V определены для интервала толщин 10—100 мм.
- Расчетная скорость ручной резки при работе без направляющих уменьшается по сравнению со скоростью машинной резки того же класса в среднем на 20%.

При резке по замкнутым кривым, если изделие вырезается с припуском на дальнейшую обработку, также целесообразно резать со скоростью, при которой отставание имеет значительную величину.

Даже при чистовой криволинейной резке нет оснований стремиться получать отставание, равное нулю. Практически для резов, оцениваемых баллом 3, можно, как правило, допускать отставание от 0,3 до 2,5 мм для стали толщиной от 3 до 50 мм.

Оценка качества поверхности реза по внешнему виду в значительной мере зависит от конкретного назначения детали и не может быть строго регламентирована.

В табл. 6 приведена классификация кислородной разделительной резки в зависимости от требований, предъявляемых к точности вырезки и качеству поверхности вырезаемой детали, в соответствии с ее назначением.

Примерный характер поверхностей резов, оцениваемых соответственно баллами 3, 2, 1 и 0, показан на фиг. 29.

Оценка поверхности реза баллом 0 не всегда должна служить основанием для забракования детали, если все остальные требования выдержаны в пределах допусков для IV и V класса качества (по табл. 6). Соответственно для класса I может быть допущена в ряде случаев поверхность, оцениваемая баллом 2, а для класса II — баллом 1.

Практически следует рекомендовать создание на каждом предприятии эталонов качества резки, так как оценка конкретных резов по приведенным выше определениям и иллюстрациям зачастую представляется затруднительной.

Получение резов без грата на нижних кромках

Для получения резов высокого качества (класса I) и исключения ручной операции удаления грата с нижних кромок реза необходимо соблюдать следующие условия:

а) выполнять резку кислородом высокой чистоты — для стали толщиной до 10 мм не ниже 99,5%, для 10—15 мм не ниже 99,2%, для 15—100 мм не ниже 98,5%;

б) устанавливать по возможности наименьшую мощность подогревающего пламени;

в) расход кислорода на единицу поверхности реза должен быть не менее оптимального для данной толщины стали. При толщине стали 5—300 мм и чистоте кислорода 99,5% он определяется по формуле $v_{крп} \geq 0,45 \delta^{0,2}$, где δ в мм, а $v_{крп}$ в л/см².

При толщине стали до 15 мм допускаемые отклонения от указанной величины не более +10%;

г) направление струи режущего кислорода и скорость резки должны быть такими, чтобы струя шлака, вытекая из разреза, не могла затекать на кромки уже выполненного разреза.

При скоростях чистовой прямолинейной резки (II класс) и соответствующем уменьшении расхода кислорода на единицу поверхности реза ($v_{крп} \geq 0,3 \cdot \delta^{0,2}$) соблюдение указанных условий позволяет получать резы с легкоотделимым графом.

При прямолинейной резке стали толщиной до 20 мм возможно получение резов без грата и с легкоотделимым графом при обычной чистоте кислорода (98,5%) и высоких скоростях резки (выше IV класса), если мундштук направлять под острым углом к поверхности разрезаемой стали (см. «скоростную» резку).

Подготовка металла к резке

От подготовки металла к резке в значительной мере зависят качество поверхности реза и точность размеров вырезаемой детали. Подготовка металла к резке включает операции правки, очистки и укладки.

Правка листов металла перед резкой необходима для получения деталей с точными размерами. Детали, вырезанные из непрямоугольного листа, при последующей правке изменяют размеры. Работа с «плавающим» суппортом облегчает

выполнение резки, но не устраняет влияния неровности листа на точность размеров получаемых деталей.

Очистка поверхности разрезаемого металла обязательна, так как при наличии загрязнений не только ухудшается качество поверхности реза, но и затрудняется выполнение резки.

Очистка производится химическими растворителями, дробеструйными устройствами, специальными широкопламенными горелками, металлическими щетками и т. п. Простейшим способом очистки является проход над намеченной линией реза подогревающим пламенем резака перед началом резки с последующей зачисткой поверхности металлической щеткой.

Разрезаемый лист металла укладывается на специальный стол или подкладки (подставки) строго горизонтально. Так как плоскость расположения копира должна быть горизонтальна и перпендикулярна осям резака и магнитного пальца, то при негоризонтальной укладке листа не будет выдержано требуемое угловое расположение плоскости реза по отношению к поверхности листа, и размеры деталей будут неправильными.

Под разрезаемым изделием оставляется свободное пространство для того, чтобы вытекающая из разреза струя кислорода и шлака, отражаясь от пола, не испортила поверхности реза.

В зависимости от толщины разрезаемого изделия (δ мм) величина свободного пространства должна быть не менее $H = 0,5 \delta + 100$ мм.

Начало резки

Длительность подогрева поверхности металла в начальной точке реза подогревающим пламенем резака зависит от толщины металла, его химического состава, мощности пламени, вида горючего и других факторов. Ориентировочно при правильно выбранной мощности подогревающего пламени и при начале резки с кромок длительность подогрева для листовой стали толщиной 5—200 мм составляет от 3 до 15 сек. (горючее — ацетилен).

Если резку начинают не от кромок листа, то в начальной точке просверливают отверстие или пробивают его кислородом. Длительность начального подогрева при этом увеличивается в 2—3 раза.

Пробивку отверстия кислородом при машинной резке рекомендуется производить вспомогательным ручным резаком; пользоваться для этой цели резаком машины можно лишь при условии, если резчик обладает достаточным навыком выполнения указанной операции, чтобы обеспечить сохранность мундштука резака.

Деформации металла при резке и их устранение

Неравномерный нагрев листа при кислородной резке вызывает в нем значительные напряжения, приводящие к деформациям листа и вырезаемой детали. Деформация кромок начинается вскоре после начала резки, причем возникающие перемещения листа и вырезаемой детали приводят к тому, что размеры детали после резки и полного охлаждения не соответствуют размерам, задаваемым копиром.

Величина конечных деформаций при резке пропорциональна квадрату длины детали и тем больше, чем меньше толщина и ширина листа и выше интенсивность нагрева.

Во избежание поворота детали или листа на опорах в процессе резки следует предусматривать их крепление к столу струбцинами, эксцентриковыми зажимами или электромагнитными присосами. Детали с замкнутым наружным контуром резки рекомендуется закреплять по наружному контуру, оставляя для этого несколько участков непрорезанными для сохранения жесткой связи детали с закрепленной обрезью. Указанные участки прорезаются по окончании вырезки всей детали. Чтобы избежать при этом смещения от заданной линии реза, в прорезанные участки следует вставлять клинья. При точной вырезке деталей желательно, чтобы обрест обладала большей подвижностью, чем вырезаемая деталь. Для этого целесообразно производить вырезку не из большого листа,

а из предварительно вырезанных заготовок («карт»). Если это невозможно, следует в каждом отдельном случае разрабатывать последовательность резки. В первую очередь надо резать те участки детали, на которые дан наименьший припуск.

Многорезаковая резка

При многорезаковой резке один ведущий механизм одновременно перемещает от 3 до 10, а иногда и до 20 резаков. Толщина разрезаемого металла лимитируется лишь конструктивными возможностями резаков.

Если резаки снабжены плавающими суппортами, то не имеет значения и возможная кривизна листов (в пределах, допускаемых техническими условиями). Стоимость работы от размеров партии зависит мало, так как никаких специальных приспособлений не требуется.

Относительный расход копиров снижается пропорционально количеству одновременно вырезаемых деталей.

Применение многорезаковой резки ограничивается некоторым усложнением обслуживания машины, трудностью исправления дефектов резки при ненормальной работе одного или нескольких резаков и размерами детали, которые определяют площадь рабочего стола машины, приходящейся на один резак. Чем больше площадь вырезаемой детали, тем меньшее число резаков может работать одновременно. При больших партиях одинаковых деталей указанный метод резки может дать заметный экономический эффект.

При обслуживании машины одним резчиком экономически целесообразное количество одновременно работающих резаков составляет 3—5.

Пакетная резка

Заметное увеличение производительности при удовлетворительном качестве поверхности реза может дать пакетная резка, осуществление которой возможно на любом оборудовании, рассчитанном на резку металла толщиной, равной суммарной толщине пакета. При этом не требуется каких-либо переделок оборудования. Дополнительным является лишь время на сборку пакета листов, образование начального отверстия (в том случае, если резка должна начинаться не с края) и разделение вырезанных деталей.

Условия рационального применения пакетной резки при обычных режимах:

- а) толщина отдельных листов не больше 12 мм; наилучшие результаты получаются при толщине листов 1,5—2 мм;

- б) достаточный размер партии одинаковых деталей, окупающий затраты времени на закрепление листов и стоимость приспособлений, необходимых для этой цели;

- в) ровная и чистая поверхность листов.

Точность механизированной пакетной резки так же, как и при резке отдельных листов, в значительной мере зависит от степени деформации металла в результате нагрева и от суммарной толщины пакета.

Так как при пакетной резке применяются мундштуки и режимы, соответствующие суммарной толщине пакета (а скорости резки даже несколько меньшие), то ширина реза будет большей, чем при резке отдельного листа. Поэтому значительно увеличивается расход кислорода на одно изделие. Так, например, при резке пакета из 25 листов толщиной по 4 мм расход кислорода увеличивается примерно в 2 раза.

Обычная пакетная резка может быть осуществлена, если зазоры между отдельными листами не превышают 0,1 мм, что вызывает ряд технологических трудностей при соединении в пакет неправильных листов и во многих случаях делает этот вид резки неэкономичным.

Применение мундштуков с увеличенными диаметрами каналов исключает необходимость в плотном соединении листов перед резкой, так как при пониженных давлениях кислорода большие зазоры (до 2—3 мм) не препятствуют нормальному протеканию процесса резки. Следует лишь иметь в виду, что рас-

ход кислорода в этом случае существенно возрастает, поскольку рез получается значительно шире обычного. Тем не менее достигаемое повышение производительности иногда экономически оправдывает имеющее место увеличение расхода кислорода.

При пакетной резке известные трудности вызывает разделение листов пакета после резки, так как они довольно прочно соединяются застывшим шлаком.

Скоростная кислородная резка

Скорость разделительной кислородной резки может быть значительно повышена при наклоне мундштука по отношению к поверхности разрезаемого металла в направлении резки.

При заготовительной резке металла толщиной 5—20 мм, когда к качеству поверхности реза не предъявляются высокие требования, уменьшение угла атаки * с 90° до 45° позволяет повысить скорость резки на 60—80% против скорости обычной резки IV класса качества.

При резке с такими скоростями мундштуками обычного типа качество поверхности реза не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к чистовой резке. В случае применения специальных мундштуков с двумя каналами для режущего кислорода, взаимно смещенными поперек направления реза и вдоль него, вторая струя, срезающая тонкий слой металла и пробивая нижнюю область отставания первой кислородной струи, образует поверхность, которая по чистоте превосходит получаемую при обычной кислородной резке. При этом снижение скорости резки составляет всего лишь около 25% от скорости заготовительной резки. Получение хорошей поверхности реза на обеих кромках возможно при использовании мундштуков, имеющих две зацепляющие струи режущего кислорода, расположенные позади основной режущей струи.

Однако точная ориентировка таких мундштуков по отношению к направлению реза требует значительной затраты времени и, кроме того, расход кислорода при этом заметно увеличивается. Поэтому практически более целесообразным является использование обычных мундштуков. В этом случае хорошее качество поверхности реза без грат на нижних кромках получается при скоростях резки превышающих обычные скорости I класса качества в 1,6—1,8 раза.

Поверхности образцов чистовой скоростной резки стали различной толщины показаны на фиг. 30.

При наклонном расположении мундштука по отношению к поверхности металла кислородная струя достаточно подогревается снизу теплом, выделяемым в резе. Поэтому резка с высокими скоростями допускает сохранение той же мощности подогревающего пламени, что и при обычной кислородной резке.

К числу особенностей скоростной кислородной резки относятся следующие:

- а) металл у верхней кромки доводится до температуры воспламенения значительно быстрее, чем при нагреве под прямым углом, так как факел подогревающего пламени резака направлен прямо на острый угол металла у верхней кромки вследствие скосного расположения со струей режущего кислорода;

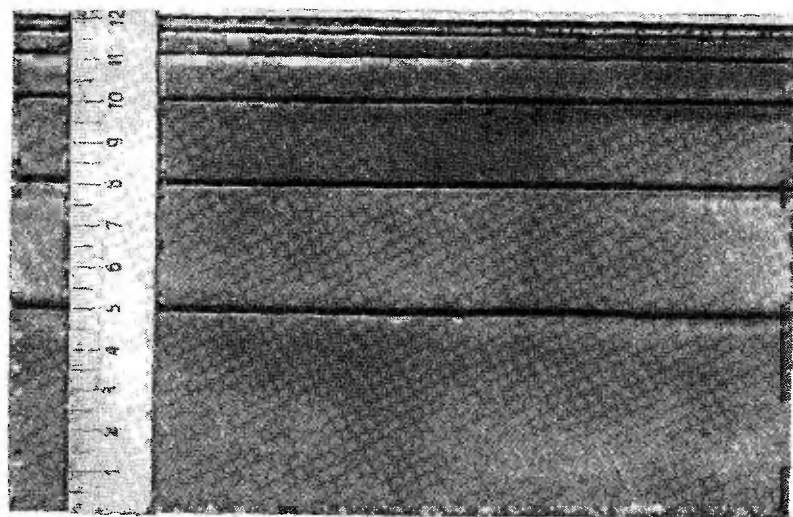
- б) быстрый подогрев кромки усиливается благодаря перемещению по верхней поверхности разрезаемой стали некоторого количества расплавленного шлака (фиг. 31);

- в) при использовании дополнительных струй режущего кислорода, перемещающихся по кромке еще не остывшего металла, отсечение расплавленного металла назад по кромке реза происходит в значительно меньших объемах по сравнению с обычной резкой, в связи с чем получается гладкая поверхность реза.

Основные преимущества скоростной резки перед обычной кислородной:

- а) значительное снижение основного времени резки и соответственное снижение себестоимости процесса;

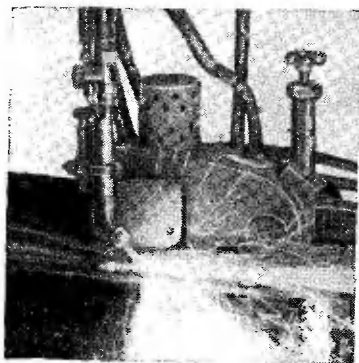
* Под углом атаки понимается угол между осью струи режущего кислорода и поверхностью металла в направлении перемещения резака.



Фиг. 30. Поверхность образцов чистовой скоростной резки, полученных мундштуками с несколькими отверстиями для режущего кислорода.

б) уменьшение деформаций, вызываемых температурными напряжениями, вследствие уменьшения зоны разогретого металла;

в) облегчение резки стали с поверхностью, покрытой ржавчиной и окалиной, которые при скоростной резке сравнительно легко сжигаются или отслаиваются и сдуваются подогревающим пламенем; при этом не происходит засорения отверстий в мундштуке отскакивающими от металла частицами, как это имеет место при обычной резке;



Фиг. 31. Скоростная резка с помощью резака с угловой головкой.

г) уменьшение вспомогательного времени вследствие исключения операции удаления грата с кромок реза, так как при правильно отрегулированном процессе шлак не приваривается к нижней кромке даже при низкой чистоте кислорода (98,5%).

Для выполнения скоростной машинной резки необходимы резак с угловой головкой и переносная или стационарная машина, обеспечивающая верхний предел скоростей перемещения резака в 1200—1500 м/мин (ПП, ППВ, СГУ, МДМ, ПР-3,5М).

Наиболее широкое распространение может найти скоростная механизированная резка стали толщиной от 5 до 20 мм как по прямой, так и по кривым с большими радиусами.

Резаки для скоростной резки особенно успешно могут быть использованы на машинах, обрезающих одновременно две продольные кромки длинных листов без скоса кромок, при заготовке обечаек различных сосудов, вертикальных стенок и полок сварных двутавровых балок, а также для раскроя листов на относительно узкие полосы.

Резка стали большой толщины кислородом низкого давления

Для резаков обычного типа верхним пределом толщины разрезаемой стали следует считать 300 мм; до этого предела при резке не возникает особых затруднений.

Толщины свыше указанной принято называть «большими», требующими при резке применения специальной аппаратуры и особых приемов работы.

При резке стали больших толщин так же, как и при резке стали обычных толщин, наибольшие скорости резки достигаются при давлении кислорода перед мундштуком 8—10 атм, но мундштуки при этом должны иметь каналы для режущего кислорода с профилированным расширением на выходе. При таких режимах, учитывая большие потери давления, требуются очень высокие давления в шлангах и в рабочей камере редуктора. Уже при резке стали толщиной 600 мм необходимы давления, превышающие 25 атм. Это требует применения специальных бронированных шлангов и сильно затрудняет ведение процесса ручной резки вследствие большой «отдачи» кислородной струи. Кроме того, увеличиваются потери кислорода за счет остаточного давления в баллонах и становится невозможным питание кислородом от распределительных трубопроводов, в которых, как правило, давление не превышает 15 атм.

При работе на таких режимах незначительное нарушение процесса резки может привести к непоправимой порче дорогостоящего изделия.

Исследования последних лет по резке стали больших толщин кислородом низкого давления показали, что для нормального протекания процесса раздельной резки (при средних скоростях) не требуется, чтобы струя обладала очень большой кинетической энергией и сверхзвуковой скоростью.

При низких скоростях истечения, не превышающих звуковую, каждая частица кислорода имеет возможность дольше соприкасаться с поверхностью разрезаемого металла, благодаря чему уменьшаются бесполезные потери кислорода. Кроме того, при этом уменьшается количество тепла, уносимого из разреза избыточным кислородом и балластными газами, не участвующими в реакции, в результате чего сокращается общий удельный расход кислорода.

Наилучшие по экономичности и качеству поверхности результаты резки стали толщиной свыше 200 мм обеспечиваются при давлении кислорода перед соплом режущего кислорода в пределах 0,6 ÷ 2,0 атм и при простых цилиндрических соплах без расширения на выходе.

Технические показатели процесса резки стали больших толщин кислородом низкого давления приведены в табл. 7.

Технологические особенности резки стали больших толщин

При резке стали больших толщин процесс окисления металла по всей толщине протекает значительно медленнее, чем при обычных толщинах. Поэтому успех резки в значительной степени определяется правильным врезанием кислородной струи в металл. Если в момент врезания кислородной струи металл не сразу прорезается на всю толщину, не следует уменьшать скорость перемещения резака или совсем прекращать перемещение, так как при этом количество шлака, образуемого в единицу времени, уменьшается, и процесс резки легко может прекратиться. Не следует также в начальный момент перемещать резак с очень большой скоростью, так как при этом возникает чрезмерно большое отставание, приводящее в дальнейшем к непрорезу. Для успешного ведения процесса следует перемещать резак равномерно со скоростью, составляющей 0,5—0,6 от скорости указанной в табл. 7. При этом, как правило, сквозное прорезание наступает лишь после того, как резак пройдет значительный путь.

Особое внимание необходимо уделять операциям, предшествующим резке. Место начала резки следует хорошо подогреть, причем нагреваемая зона должна простираться больше к низу торцовой поверхности, чем по верху вдоль линии предполагаемого реза. Для этого мундштук должен только примерно на 1/3 диаметра находиться над кромкой. Если в момент начала резки почти весь мундштук будет находиться над кромкой, как это принято при резке обычных толщин, то будет нагреваться только верхняя плоскость разрезаемого изделия;

7. Технические показатели резки стали больших толщин кислородом низкого давления при помощи машины ПМР-600 или установки УРР-600

Толщина разрезаемой стали в мм	200	300	400	500	600	700	800
Диаметр выходного (торцового) канала во вставке в мм	6	6	7	8	8	9 (8)	9
Скорость резки в мм/мин	140—180	100—130	80—100	65—80	55—70	45—60	40—55
Давление кислорода по манометру редуктора в кг/см ² при:							
резке РМ-800 и редукторе РК-250 *	1,1—1,5	1,9—2,3	2,2—3,0	2,3—3,2	3,0—4,0	3,3—4,2	4,0—5,2
» и редукторе РК-50 **	2,8—3,6	4,3—5,2	5,6—7,0	6,2—8,4	7,7—9,8	9,0—11,0	10,4—13,3
резке РР-600 и редукторе РК-250 ***	2,0—2,5	3,2—4,0	3,9—5,0	4,2—5,8	5,3—6,8	6,3—8,0	—
Давление кислорода в кг/см ² :							
перед резком РМ-800	0,65—0,90	1,2—1,55	1,2—1,65	0,9—1,5	1,3—1,95	1,3—1,7	1,55—2,2
» РР-600	0,85—1,15	1,5—1,85	1,6—2,2	1,5—2,25	2,0—2,75	2,5—3,25	—
Расстояние от конца мундштука до поверхности разрезаемого металла в мм	15—20	20—30	25—40	30—50	35—60	40—70	45—80
Часовой расход кислорода в м ³ /час	25—30	35—40	45—55	50—65	60—75	70—85	80—100
Часовой расход ацетилен в м ³ /час	1,0—1,4	1,3—1,8	1,6—2,2	1,9—2,6	2,2—3,0	2,5—3,4	2,8—3,8
Линейный расход кислорода в м ³ /пог. м	2,8—3,6	3,1—6,7	9,2—11,5	12,8—16,7	17,8—22,7	23,7—31,6	30,3—41,8
Линейный расход ацетилена в м ³ /пог. м	0,10—0,17	0,17—0,30	0,27—0,46	0,40—0,67	0,53—0,92	0,70—1,26	0,85—1,58
Примерная ширина реза в мм	6—8	8—11	10—14	12—17	14—20	16—23	18—26

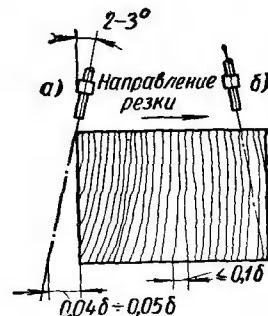
* При работе на машине ПМР-600 и при пласте с внутренним диаметром 13 мм и длиной 10 м.
 ** При работе на машине ПМР-600 и при пласте с внутренним диаметром 9,5 мм и длиной 10 м.
 *** При пласте с внутренним диаметром 9,5 мм и длиной 10 м.

Примечания: 1. У резака РР-600 один наружный мундштук (№ 1) и три вставных — сопла, обеспечивающие резку металла толщиной до 100 мм.

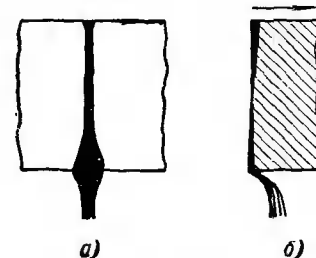
2. Меньшие скорости и большие часовой и линейные расходы кислорода соответствуют ручной резке.

3. Часовые часовой и линейные расходы ацетилена соответствуют резке легкого металла или покровов, покрытых окисной пленкой.

4. Приведенные давления кислорода и расходы действительны при пользовании кислородом, имеющим чистоту 99%.



Фиг. 32. Схема положения мундштука резака в начале и конце резки: а — начало; б — конец.

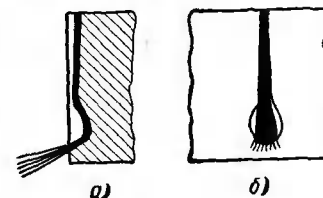


Фиг. 33. Форма и направление потока шлака при правильно протекающем врезании.

Для повышения устойчивости процесса резки при врезании кислородной струи в заготовку прямоугольного сечения целесообразно устанавливать мундштук резака под углом 2—3° к ее торцовой поверхности с наклоном в сторону перемещения резака (фиг. 32). Это значит, что в начальном положении струя режущего кислорода, касаясь верхней кромки изделия, в нижней части должна отклоняться от торцовой поверхности на 0,04 — 0,05 δ (где δ — толщина разрезаемой заготовки). Место начала резки необходимо предварительно хорошо прогреть до начала оплавления кромки. При резке круглых заготовок мундштук резака устанавливается вертикально, касательно к поверхности в месте начала реза. Для ускорения подогрева начальной точки реза целесообразно вводить в пламя проволоку диаметром 5—6 мм («пусковой прут»). Капли расплавленного металла быстро разогревают поверхность заготовки до температуры воспламенения в струе кислорода. Пуск режущего кислорода надо производить медленно и плавно. Одновременно с пуском режущего кислорода, не дожидаясь прорезания металла на всю толщину, нужно начинать перемещение резака.

При правильном начале резки шлак течет сплошной струей по разрезаемой поверхности. Растекание шлака расширяющейся полосой в нижней части заготовки не является признаком неправильного начала (фиг. 33, а). Правильное начало резки характеризуется подтеканием шлака под деталь (фиг. 33, б), неправильное — отбрасыванием его в сторону, обратную направлению резки (фиг. 34, а).

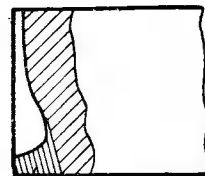
При неудовлетворительном начале резки в нижней части реза образуется уширение, нижний край которого не доходит до кромки заготовки (фиг. 34, б). Такой дефект начала резки может образоваться в результате неправильно установленного давления кислорода, слишком резкого пуска кислорода,



Фиг. 34. Форма и направление потока шлака при неправильном врезании (образование непрочеса).

излишне высокой скорости движения в момент врезания. Не следует смешивать это уширение реза с указанным выше растеканием шлака. Появление уширения характеризуется устойчивым выбросом шлака в сторону, противоположную направлению резки.

При появлении уширения необходимо срочно откорректировать давление кислорода и скорость движения в соответствии с технологическими рекомендациями. Если эти меры после продвижения резака вдоль линии реза на 10—15% толщины детали не дают положительного результата, резку нужно прекратить.



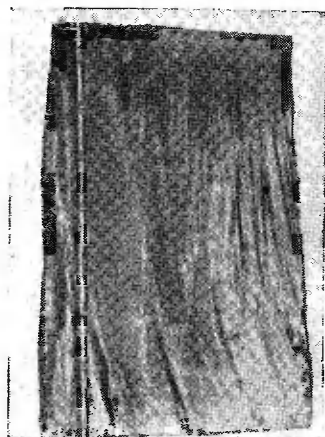
Прорезать вручную

Фиг. 35. Схема направления непореза.

После установления процесса резки не рекомендуется без крайней необходимости изменять его режим. Уменьшение скорости или повышение давления кислорода при установившемся процессе резки проявляется в недостатке шлака в первом случае и в излишнем охлаждении разреза во втором.



Фиг. 36. Поверхность реза заготовки с глубиной реза 700 мм, выполненного резаком УРР-600.



Фиг. 37. Поверхность реза заготовки с глубиной реза 800 мм, выполненного прибором ПМР-600 с резаком РМЗ-800.

Если по ходу резания внутри металла вскрыется небольшая полость или шлаковое включение, то обычно происходит их прорезание без изменения режима.

Процесс прорезания пороков металла можно улучшить увеличением мощности подогревающего пламени.

Перед окончанием процесса резки нужно постепенно изменять угол наклона резака так, чтобы к моменту окончания реза струя режущего кислорода была направлена несколько вперед вдоль линии резки. Угол опережения не должен превышать указанного выше угла отставания при начале резки (2—3°). При та-

ком направлении кислородной струи металл в конце реза будет прорезаться в первую очередь внизу. При вертикальном направлении и в особенности при отстающей струе в нижней части реза возможно образование непорезанного угла, который затем придется прорезать ручным резаком. Иногда перед окончанием резки может оказаться полезным несколько уменьшить скорость перемещения резака, но лишь настолько, чтобы не нарушать непрерывность процесса в результате уменьшения количества образующегося шлака.

При правильном ведении процесса как при машинной, так и при ручной резке получаются гладкие резы с небольшим отставанием. Образцы разрезов показаны на фиг. 36—37.

Кислородная резка горячей стали

Повышение начальной температуры разрезаемой стали увеличивает скорость ее окисления, причем реакция окисления интенсифицируется во всех направлениях, что приводит к значительному увеличению ширины реза. Для восстановления быстро отстающей струи режущего кислорода приходится значительно увеличивать его расход. Одновременно с этим может быть значительно повышена скорость резки.

Резка стали в горячем состоянии исключает необходимость промежуточного складирования и повторного нагрева металла. Это особенно важно при резке высокоуглеродистых и легированных сталей, требующих предварительного нагрева перед резкой и замедленного охлаждения после резки.

Увеличение ширины разреза и количества образующегося при этом шлака позволяет также успешно выполнять резку слитков кипящей стали в нижнем и горизонтальном положении со скоростями не меньшими, чем при резке спокойной стали соответствующих сечений.

В настоящее время кислородная резка горячей стали успешно применяется в условиях непрерывной разливки стали и непрерывного металлургического производства, когда требуется производить разрезку заготовок на куски мерной длины, а также в литейных цехах при отрезке прибылей и донной части слитков из высокоуглеродистых и легированных сталей.

Кислородная резка при непрерывной разливке стали

Получение при помощи непрерывной разливки стали полуфабриката для последующей прокатки на лист или сортовой металл имеет значительные технико-экономические преимущества по сравнению с существующей технологией. При этом процессе сокращается расход металла на тонну готовой продукции за счет уменьшения отходов от донной и головной частей до 2—3 вместо 15—25% при изготовлении заготовок из обычных слитков. Кроме того, значительно повышается культура производства и сокращается количество занятых рабочих.

Непрерывная разливка стали как при вертикальных, так и при наклонных машинах невозможна без узла кислородной резки, осуществляющего периодически, синхронно со скоростью процесса разливки отрезку от непрерывного слитка мерных заготовок.

Кислородная резка при непрерывной разливке, особенно в машинах вертикального типа, имеет ряд специфических особенностей, из которых важнейшими являются следующие:

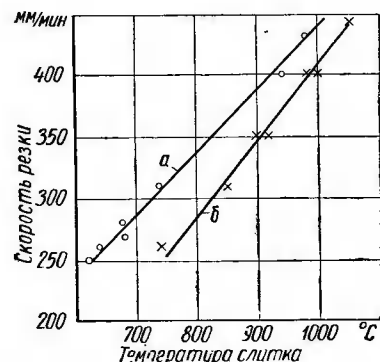
- резка производится при горизонтальном направлении струи режущего кислорода;
- резке подвергается металл, имеющий температуру в пределах 800—1200°С;
- необходимые скорости резки превышают скорости, обычно применяемые при резке в нижнем положении, в 2—3 раза.

Исходя из этих особенностей кислородной резки горячей стали в условиях непрерывного металлургического производства, горизонтальная резка возможна при тех же скоростях, что и обычная резка в нижнем положении, при условии

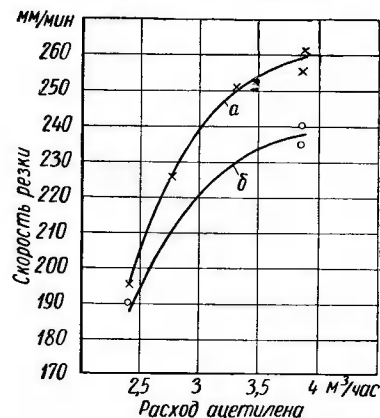
увеличения расхода кислорода в единицу времени примерно в 2,5—3 раза. В случае же увеличения расхода режущего кислорода при горизонтальной резке в 6 раз по сравнению с обычной резкой такой же толщины скорость резки может быть увеличена примерно в 2,5 раза.

Кроме того, как видно из графика (фиг. 38), при постоянном расходе кислорода с повышением температуры металла от 600 до 1000° возможно увеличить скорость резки примерно в 1,8—2,4 раза. При этом увеличение мощности струи (часового расхода) кислорода на 15% при температуре металла 600° и выше позволяет повысить скорость резки на 10—20%.

Увеличение мощности подогревающего пламени до некоторого предела (фиг. 39) позволяет повысить скорость резки. Однако для каждой толщины существует предельный расход ацетилена в единицу времени, превышение которого экономически не оправдано.



Фиг. 38. Зависимость скорости резки горячей стали толщиной 150 мм в горизонтальном положении от температуры слитка и расхода кислорода в единицу времени: а — расход кислорода 100 м³/час; б — расход кислорода 86 м³/час.



Фиг. 39. Зависимость скорости резки стали толщиной 150 мм в горизонтальном положении от расхода ацетилена и кислорода в единицу времени при комнатной температуре слитка: а — расход кислорода 55 м³/час; б — расход кислорода 50 м³/час.

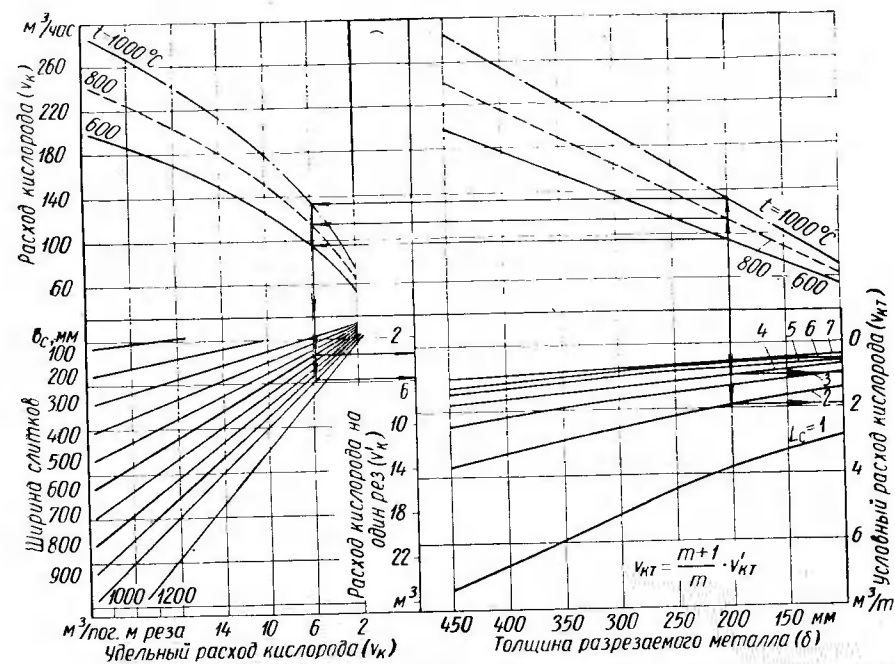
Основными данными при проектировании установок для непрерывной разливки стали являются расход кислорода и расход горючего газа. На фиг. 40 и 41 приведены номограммы, позволяющие определять расход кислорода и ацетилена в единицу времени, а также расход газов на погонный метр реза и тонну металла при резке слитковой стали в зависимости от толщины разрезаемого заготовки и температуры металла перед резкой.

Основные параметры процесса резки (минимальная длина хода тележки, основное и оперативное время резки) в установках для непрерывной разливки стали могут быть определены по номограмме, приведенной на фиг. 42.

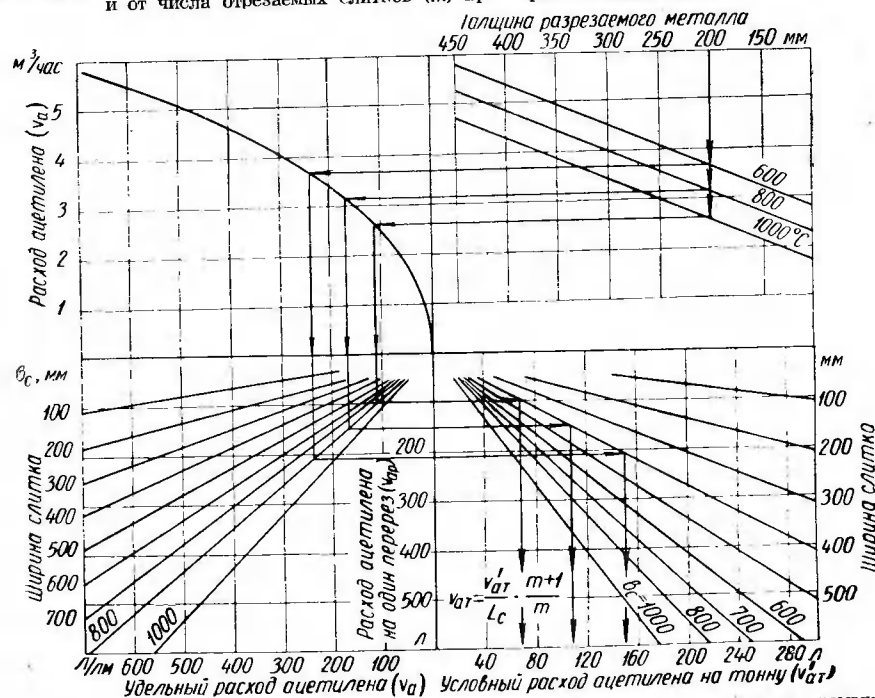
Для пользования номограммой необходимо задаться сечением слитка (толщиной и шириной), температурой металла перед резкой и скоростью движения слитка, которые устанавливаются в зависимости от технологического режима разливки, а также количеством одновременно работающих резаков.

Кислородная резка горячей стали в нижнем положении

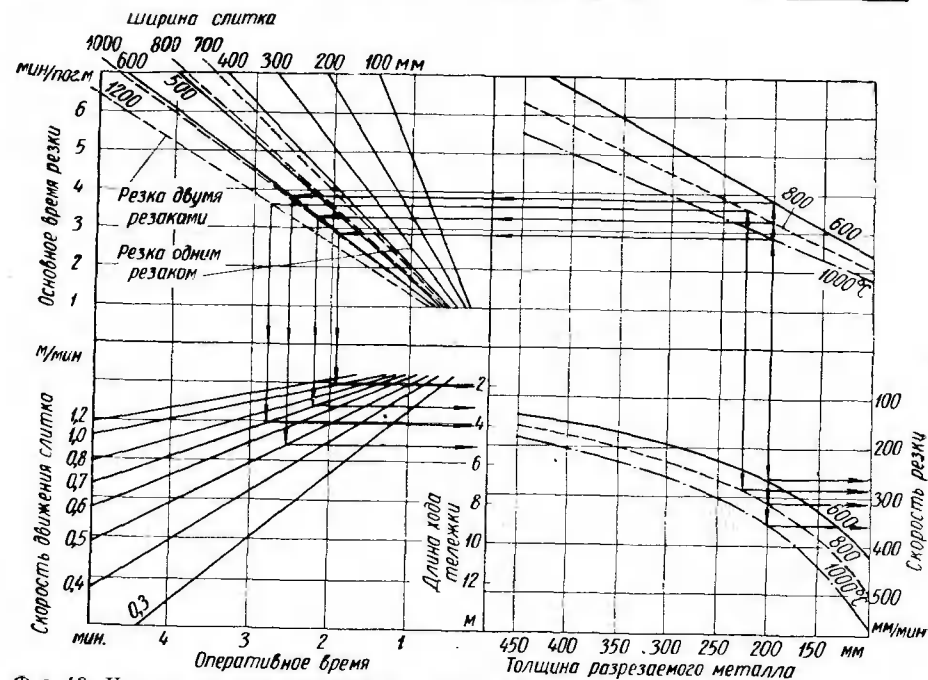
Повышение температуры разрезаемого металла до 1100° С позволяет увеличить скорость резки в 1,7—3 раза. На графиках (фиг. 43 и 44) показано влияние температуры заготовок круглого и квадратного сечения на производительность процесса резки.



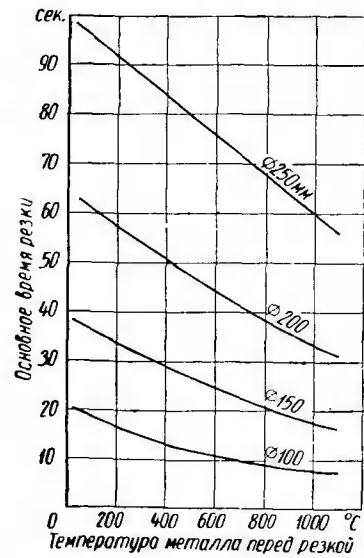
Фиг. 40. Номограмма для определения потребного расхода кислорода в единицу времени на единицу длины реза и на тонну стали в зависимости от размеров и температуры слитка и от числа отрезаемых слитков (m) при горизонтальной резке



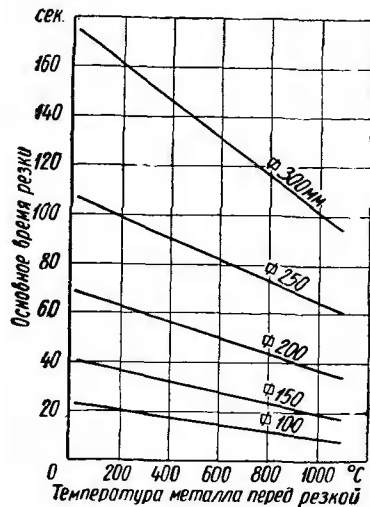
Фиг. 41. Номограмма для определения потребного расхода ацетилена в единицу времени на единицу длины реза и на тонну стали в зависимости от размеров слитка и от числа отрезаемых слитков (m) при горизонтальной резке.



Фиг. 42. Номограмма для определения технической скорости резки, а также основного и оперативного времени и необходимой длины хода тележки в зависимости от сечения и температуры слитка, скорости его движения и числа одновременно работающих резаков при горизонтальной резке.



Фиг. 43. Зависимость производительности резки круглых заготовок различного диаметра от температуры металла перед резкой.



Фиг. 44. Зависимость производительности резки квадратных заготовок различного сечения от температуры металла перед резкой.

Однако с повышением температуры металла качество поверхности реза несколько ухудшается, так как при этом увеличивается количество шлака, приваривающегося к нижним кромкам реза, и усиливается оплавление кромок.

Технические показатели процесса резки стали, нагретой до 600° С, в нижнем положении приведены в табл. 8.

8. Технические показатели процесса резки стали, нагретой до 600° С, в нижнем положении при высоком качестве поверхности реза.

Толщина разрезаемой стали в мм	100	150	200	250	300
Диаметр горлового канала режущего сопла в мм . .	2,4	2,4	3,0	3,0	3,2
Диаметр выходного канала режущего сопла в мм	3,4	3,4	4,2	4,2	4,5
Скорость резки в мм/мин	270—290	250—270	230—250	210—230	190—210
Давление режущего кислорода перед резаком в кг/см ²	6,5—7,5	9,0—10,0	7,0—8,0	9,0—10,0	9,5—10,5
Расстояние от конца мундштука до поверхности разрезаемого металла в мм	8—12	10—14	12—16	16—18	18—20
Часовой расход { кислорода в м ³ /час { ацетилена	18—24 0,8—1,0	25—33 1,0—1,1	32—40 1,1—1,4	40—48 1,2—1,5	45—60 1,4—1,8
Расход на { кислорода в л/м 1 пог. м { ацетилена »	1,1—1,4 50—58	1,65—2,0 67—70	2,5—2,7 85—95	3,2—3,75 95—117	4,3—4,8 135—145
Средняя ширина реза в мм	6—8	8—10	10—12	12—14	14—16

Кислородная резка слитков из кипящей стали

При резке слитков из кипящей стали из-за повышенной их пористости процесс окисления металла по всей толщине протекает значительно медленнее и менее устойчиво, чем при резке спокойной стали. Поэтому особое внимание необходимо уделять моменту врезания струи режущего кислорода в металл, а также моменту окончания резки.

Для слитков из кипящей стали устойчивый процесс резки достигается лишь в том случае, когда одновременно с пуском режущего кислорода начинается перемещение резака вдоль линии реза со скоростью, составляющей 40—50% от номинальной. В этом случае шлак течет спокойной струей. Только после того, как струя кислорода пробьет металл на всю толщину, скорость перемещения резака может быть постепенно повышена до номинальной. Если после этого во время резки имеет место большое отставание, что можно установить по на-

правлению потока шлака, вытекающего из разреза, необходимо несколько уменьшить скорость перемещения резака или увеличить давление кислорода перед резаком. По мере приближения к концу реза скорость перемещения резака также необходимо постепенно уменьшать до начальной, в противном случае может иметь место непрорезание нижнего угла.

Резка слитков из кипящей стали сопровождается обильным разбрызгиванием шлака, что может вызвать засорение отверстий мундштука. Поэтому расстояние между мундштуком и поверхностью разрезаемого металла необходимо увеличивать по сравнению с принятым при резке спокойной стали.

При этом уменьшается также нагрев мундштука отраженным теплом.

Указанное расстояние зависит от толщины разрезаемого металла и может быть определено по следующей формуле: $h = 5 + 0,1 \delta$, где δ — толщина разрезаемой стали в мм.

Кроме того, при резке слитков из кипящей стали требуется значительно увеличивать расход кислорода по сравнению с расходом при резке спокойной стали такой же толщины.

Увеличение расхода кислорода за счет повышения давления недопустимо, так как струя кислорода, поступающая к разрезу под высоким давлением, вследствие большой турбулентности быстрее теряет форму, проникая в поры металла, что приводит к прекращению резки.

Наиболее устойчивый процесс резки слитков из кипящей стали достигается при работе на пониженном давлении кислорода мундштуками с увеличенным сечением канала для режущего кислорода. При этом увеличивается ширина разреза и соответственно количество образующегося шлака.

Сравнительные режимы резки спокойной и кипящей стали толщиной 100 мм приведены в табл. 9.

9. Режимы резки спокойной и кипящей стали толщиной 100 мм

Скорость резки в мм/мин	Спокойная сталь		Кипящая сталь		Увеличение расхода кислорода при резке кипящей стали в %	Увеличение стоимости резки в %
	Средний расход кислорода в м³/час	Стоимость резки 1 пог.м в условных единицах	Средний расход кислорода в м³/час	Стоимость резки 1 пог.м в условных единицах		
200	11,0	1,9	16,0	2,65	145	140
300	17,0	1,6	29,0	2,25	170	140
400	23,0	1,25	55,0	2,10	240	170

Кислородно-флюсовая резка

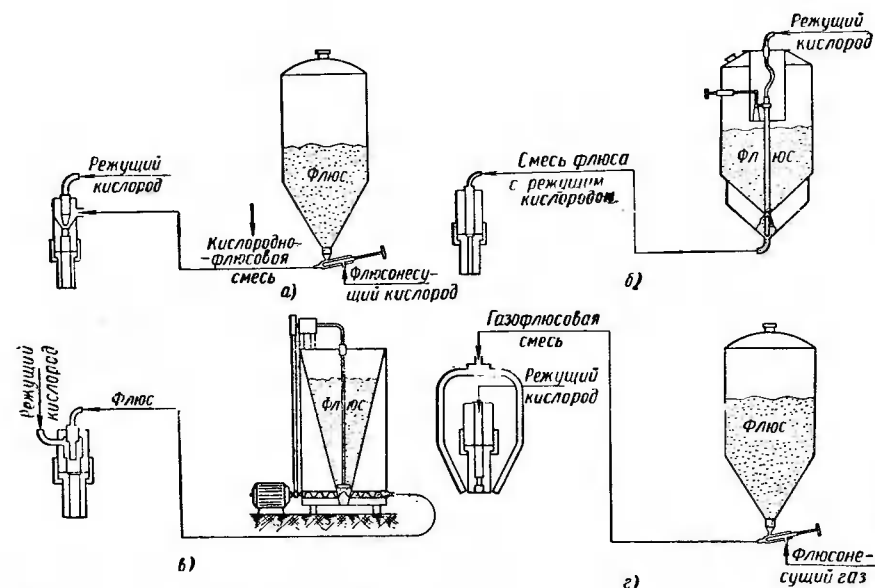
Кислородно-флюсовая резка отличается от обычной газопламенной кислородной резки тем, что в разрез подается порошкообразный флюс (см. стр. 158).

Подача флюса в разрез осуществляется по следующим схемам (фиг. 45).

Схема подачи флюса двойной инжекцией. Порошок из бачка флюсопитателя подается в инжекторно-регулирующее устройство, к которому поступает кислород низкого давления, увлекающий порошок в разрез.

Поступающий к головке резака основной поток режущего кислорода инжектирует кислородно-флюсовую смесь и, смешиваясь с ней, поступает в зону резки.

Схема подачи флюса под высоким давлением. Флюс из бачка флюсопитателя инжектируется непосредственно основной струей режущего кислорода. Смесь флюса с кислородом по шлангу подводится к резаку, и через центральный канал мундштука поступает к разрезаемому металлу.



Фиг. 45. Схемы подачи флюса при кислородно-флюсовой резке: а — подача двойной инжекцией; б — подача под высоким давлением; в — механическая подача; г — «внешняя» подача.

Схема механической подачи флюса. Флюс, состоящий из смеси алюминиево-магниевого порошка с силикокальцием или ферросилицием, из бачка флюсопитателя при помощи специального шнекового устройства подается к головке резака, где струя режущего кислорода засасывает флюс и подает его к разрезаемому металлу.

Схема «внешней» подачи флюса. Из бачка флюсопитателя флюс подается кислородом или азотом к порошковой головке, выходные каналы которой расположены снаружи мундштука резака для обычной кислородной резки малоуглеродистой стали. Газо-флюсовая смесь, выходя из отверстий порошковой головки, поступает через подогревающее пламя резака в струю режущего кислорода на расстоянии 40—60 мм ниже торца мундштука.

Промышленностью СССР в настоящее время выпускаются установки УРХС-4, работающие по системе внешней подачи флюса.

В табл. 10 приведены режимы механизированной резки нержавеющей сталей при помощи установки УРХС-4.

Технологические особенности разделительной резки высоколегированных хромистых и хромоникелевых сталей с использованием в качестве флюса железного порошка

Для успешного ведения процесса резки нержавеющей стали необходимо, чтобы порошкообразный флюс воспламенялся и начинал гореть над поверхностью обрабатываемого металла. Поэтому расстояние между торцом мундштука и поверхностью разрезаемого металла в данном случае должно быть значительно больше, чем при резке малоуглеродистой стали такой же толщины.

Указанное расстояние зависит от толщины разрезаемого металла и схемы подачи флюса к резаку. В практике резки нержавеющей стали толщиной до 100 мм оно принимается равным 15—40 мм, при резке больших толщин оно может достигать 60 мм.

10. Режимы резки нержавеющей стали с помощью установки УРХС-4

Показатели	Режимы									
	10	20	30	40	60	80	100			
Толщина разрезаемой стали в мм										
Расход кислорода в м ³ /час	8—9	10—11	12—14	15—16	18—19	20—22	22—25			
Расход ацетилена в м ³ /час	0,7—0,8	0,7—0,8	0,7—0,8	0,8—0,9	0,9—1,0	1,0—1,1	1,1—1,2			
Средняя ширина реза в мм	3,5—4,5	4,5—5,5	5,5—6,5	6—7	7—8	7,5—8,5	8,5—9,5			
Фигурная резка	Скорость резки в мм/мин	475	350	290	250	210	180			
	Расход кислорода в м ³ /пог. м	0,28—0,32	0,48—0,52	0,7—0,8	1,0—1,1	1,4—1,5	1,85—2,05			
	Расход ацетилена в м ³ /пог. м	25—30	35—40	40—45	55—60	70—80	90—100			
	Расход флюса в кг/пог. м	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7			
	Скорость резки в мм/мин	760	560	460	400	330	290			
Прямая резка	Расход кислорода в м ³ /пог. м	0,17—0,2	0,3—0,33	0,45—0,5	0,6—0,7	0,9—1,0	1,15—1,25			
	Расход ацетилена в л/пог. м	15—17	21—24	25—30	35—40	45—50	60—65			
	Расход флюса в кг/пог. м	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	0,45			

В процессе резки нержавеющей стали тепло, выделяемое подогревающим пламенем, должно сообщаться не только разрезаемому металлу, но и флюсу, поступающему к месту реза со сравнительно большой скоростью. Если мощность подогревающего пламени мала, то нагрев металла в момент начала резки будет недостаточным, и требуемое количество флюса не будет полностью стогать; вследствие этого количество тепла, выделяемого на поверхности металла, будет недостаточным, и резка не начнется или будет протекать неустойчиво.

Практически мощность подогревающего пламени должна быть выше на 15—25% мощности пламени, используемого при кислородной резке малоуглеродистой стали такой же толщины.

К особенностям процесса кислородно-флюсовой резки с подачей в рез железного порошка следует также отнести значительную протяженность зоны высоких температур. При резке малых толщин значительная часть флюса не используется, так как горение его частично происходит после того, как флюс прошел через образованный разрез. С увеличением толщины разрезаемого металла флюс используется более эффективно. Поэтому при прямой резке тонкого металла (до 15—20 мм) целесообразно использовать опережающий острый угол атаки, т. е. наклонять резак под углом от 10° до 50°. При вырезке большого числа одинаковых деталей из тонколистовой стали, особенно деталей с криволинейным контуром, экономически эффективна резка пакетом. При этом не требуется никакой специальной подготовки листов, укладываемых в пакет: листы скрепляются лишь в нескольких местах во избежание взаимного смещения при резке. Местные зазоры между листами допускаются в пределах 2—5 мм. Оптимальная толщина пакета составляет в зависимости от толщины отдельных листов разрезаемого металла 40—100 мм.

Существенную экономию можно получить, применяя предварительный нагрев металла вдоль линии реза до 150—200° С. При этом скорость резки можно повысить на 60—70%, а линейный расход флюса и кислорода сократить на 30%.

На фиг. 46—48 показаны образцы резов на стали 1Х18Н9Т различной толщины, полученных с помощью установки УРХС-3.

Режимы разделительной кислородно-флюсовой резки высокохромистых и хромоникелевых сталей толщиной от 100 до 500 мм приведены в табл. 11.

11. Режимы разделительной кислородно-флюсовой резки нержавеющей сталей большой толщины при помощи установки УРХС-3 резаком РКФ-4

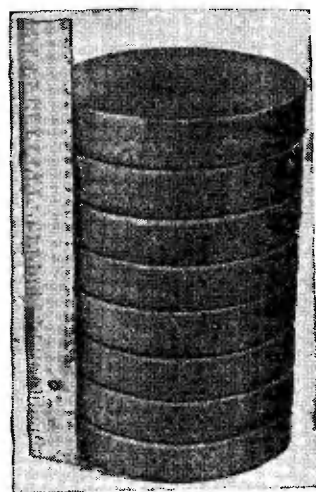
Показатели	Режимы				
Толщина разрезаемой стали в мм	100	200	300	400	500
Примерные технические скорости резки в мм/мин	150—110	75—50	40—30	30—20	20—15
Расход кислорода в м ³ /пог. м	1,2—2	5—8,5	12—20	20—34	28—48
Расход ацетилена в м ³ /пог. м	0,11—0,15	0,26—0,35	0,5—0,7	0,75—1,0	1,0—1,3
Расход флюса в кг/пог. м	2—3,5	6—10,3	12—19,5	18,5—28,5	25—40

Разделительная резка чугуна

При резке чугуна, так же, как и при резке нержавеющей сталей, в закрытом помещении рабочее место резчика должно быть оборудовано местной вытяжной вентиляцией вследствие выделения значительного количества едкого дыма.



Фиг. 46. Поверхность реза со скосом кромки на стали IX18N9T толщиной 40 мм, выполненного на машине.



Фиг. 47. Диски из стали IX18N9T толщиной 30 мм, вырезанные по копиру.



Фиг. 48. Поверхность образца стали IX18N9T с глубиной реза 300 мм (ручная резка).

Расстояние от выходного сечения мундштука до поверхности разрезаемого изделия должно составлять 30—50 мм в зависимости от толщины металла.

Для предупреждения появления напряжений и трещин, могущих возникнуть при резке местном нагреве и охлаждении, а также для уменьшения глубины отбеленного слоя на кромках реза следует применять предварительный подогрев деталей или производить резку деталей, еще не остывших после отливки.

При кислородно-флюсовой резке чугуна в холодном состоянии глубина отбеленного слоя зависит от химического состава чугуна и в первую очередь от содержания графитообразующей примеси — кремния. Так, например, при резке отливки толщиной 80 мм из чугуна с содержанием 3% С и 0,9% Si глубина отбеленного слоя составляет 3—6 мм, а при содержании в чугуне около 3% С и 1,95% Si — не превышает 1,5 мм.

По окончании резки для замедления охлаждения необходимо детали прикрывать асбестом, засыпать сухим песком, шлаком или другим теплоизолирующим огнестойким материалом.

Отрезку прибылей и литников на отливках из белого чугуна можно осуществлять без предварительного подогрева и последующего замедленного остывания.

Режимы кислородно-флюсовой резки чугуна толщиной до 300 мм приведены в табл. 12.

12. Режимы ручной кислородно-флюсовой резки чугуна резаками РКФ с флюсопитателем ФП-3

Показатели	Режимы						
Толщина разрезаемого металла в мм	20	50	100	150	200	250	300
Примерные технические скорости резки в мм/мин	130—80	90—60	50—40	35—25	30—20	25—17	22—15
Расход кислорода в л³/пог. м реза	0,9—1,8	2,0—4,0	4,5—8,0	8,5—14,5	13,5—22,5	20,0—31,5	27,5—43,0
Расход ацетилена в л³/пог. м реза	0,10—0,16	0,16—0,25	0,30—0,45	0,45—0,65	0,60—0,90	0,75—1,10	0,90—1,30
Расход флюса в кг/пог. м реза	2,0—3,5	3,5—6,0	6,0—10,0	9,0—14,5	11,5—19,0	14,0—23,0	17,0—28,0

Разделительная резка меди, ее сплавов и др. материалов

Высокая теплопроводность меди и ее сплавов затрудняет процесс резки и требует для поддержания необходимой температуры в месте реза интенсивного нагрева мощным подогревающим пламенем и большего расхода флюса и кислорода. Поэтому резак, имеющий мощность подогревающего пламени и кислородно-флюсовой струи, достаточные для резки высокохромистой стали толщиной до 300 мм, пригоден для резки бронзы и латуни толщиной только до 150 мм, а меди всего лишь до 50 мм.

Режимы кислородно-флюсовой резки меди, латуни и бронзы при помощи установки УРХС-3 приведены в табл. 13.

При резке цветных металлов в закрытых помещениях рабочее место должно быть оборудовано надежной общеобменной вентиляцией и местными отсосами. От рабочего места необходимо отсасывать не менее 10000 м³/час воздуха. При длительной работе резчику следует пользоваться шлемом-маской с принудительной подачей чистого воздуха для предохранения органов дыхания от паров цинка, олова и их окислов.

В связи с относительно высокой стоимостью железного порошка и недостаточно высоким качеством поверхности реза в некоторых случаях более целесообразно применение для резки цветных металлов плазменной струи.

Имеется положительный опыт резки кислородно-флюсовым способом бетона, огнеупорного кирпича и т. п. материалов.

Поверхностная кислородная резка

Поверхностную кислородную резку, как и скоростную разделительную, осуществляют струей кислорода, расположенной под острым углом к поверхности, но с меньшим углом атаки (15—40°). Скорость ее обычно выше 2 м/мин, вследствие чего вместо сквозного прореза на поверхности металла получается канавка, профиль которой зависит от формы и размеров выходного канала

13. Режимы кислородно-флюсовой резки меди и ее сплавов резаками РКФ с флюсопитателем ФП-3

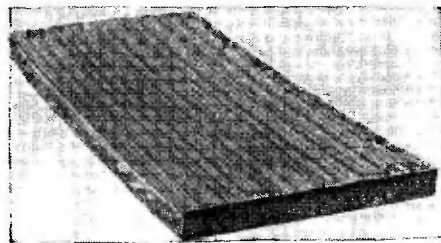
Показатели	Медь			Латунь и бронза				
Толщина разрезаемого металла в мм	10	20	50	10	20	50	100	150
Примерные технические скорости реза в мм/мин	130—110	80—65	25—20	215—149	190—120	120—80	55—30	25—15
Расход кислорода в м ³ /пог. м реза	1,0—1,3	1,7—2,4	7—10	0,5—1,0	0,6—1,2	1,2—2,4	3,6—8,5	10,5—21,5
Расход ацетилена в м ³ /пог. м реза	0,12—0,15	0,22—0,28	0,83—1,1	0,08—0,12	0,09—0,16	0,15—0,23	0,35—0,6	0,8—1,3
Расход флюса в кг/пог. м реза	4,7—3,2	3,4—6,2	17—30	1,7—3,0	2—3,5	3,5—6	9—17	21—39
Примечание. Приведенные в таблице данные соответствуют резке металла, предварительно нагретого в месте предполагаемого реза до температуры 300°С.								

для режущего кислорода в мундштуке. При общепринятых цилиндрических соплах канавка имеет форму сегмента круга или параболы.

Основным источником предварительного подогрева впереди лежащих слоев металла при поверхностной резке служит шлак, который под давлением струи режущего кислорода за-текает вперед.



Фиг. 49. Канавки различного сечения, полученные при изменении диаметра выходного отверстия для режущего кислорода в мундштуке, давления кислорода и скорости перемещения резака.



Фиг. 50. Поверхность образца, простроганного за несколько проходов на машине СКС резаком с целевым каналом для режущего кислорода в мундштуке.

При поверхностной кислородной резке практически все тепло реакции окисления металла концентрируется на обрабатываемой поверхности, тогда как при раздельной резке значительная часть тепла сразу же удаляется из разреза отходящими газами и шлаком.

Чем больше угол атаки, выше давление кислорода перед мундштуком и меньше скорость перемещения, тем при прочих равных условиях канавка получается глубже и шире.

В основном ширина канавки зависит от размеров выходного сечения канала режущего кислорода в мундштуке. Если придать выходному сечению форму щели с параллельными стенками, можно получить практически плоскую канавку.

Канавки различного сечения, полученные при изменении диаметра выходного отверстия в мундштуке, давления кислорода и скорости перемещения резака, показаны на фиг. 49. На фиг. 50 показана поверхность, «простроганная» за несколько проходов мундштуком с целевым каналом для режущего кислорода.

Существенное влияние на размеры получаемой канавки и чистоту ее поверхности оказывает чистота кислорода (допускается не ниже 98%). Изменение чистоты кислорода на 1% требует соответственного изменения скорости резки в среднем на 15% для сохранения размеров канавки и качества ее поверхности.

Области применения поверхностной кислородной резки

1. Удаление отдельных местных дефектов на холодной или подогретой поверхности проката, слитков и фасонного лития, производимое при помощи ручных резаков специальной конструкции (большой длины и с большими проходами для режущего кислорода). При этом требуются относительно широкие и неглубокие канавки малой протяженности.

2. Выборка «корней» и дефектов сварных швов, удаление прихваток и тому, подобные операции, которые выполняются легкими ручными резаками. В этих случаях требуются, как правило, относительно узкие и глубокие канавки, часто имеющие большую протяженность.

3. Сплошная зачистка прокатных заготовок из обычной легированной стали, выполняемая специальной (так называемой «огневой») машиной при помощи группы резаков, действующих одновременно по всему периметру заготовок. Работа выполняется при высокой температуре обрабатываемого металла.

4. Выборка одиночных канавок большой ширины и относительно большой протяженности на холодной и нагретой поверхности металла, а также сплошная очистка поверхности путем частично перекрывающих друг друга проходов одним резаком (см. фиг. 50). Для этой цели может быть применена специальная машина (типа СКС), в которой подогрев начальной кромки выполняется отдельной горелкой, чем обеспечивается режим работы, аналогичный режиму строгального станка.

В качестве горючего для подогревающего пламени применяются ацетилен или другие горючие газы, а также керосин и бензин.

Для ускорения предварительного разогрева металла, в особенности если рез начинается не с кромки, целесообразно пользоваться так называемым «пусковым» прутом, т. е. вводить в пламя стальной пруток диаметром 4—5 мм. Капля расплавленного металла быстро разогревает поверхность изделия до воспламенения. Можно использовать также электрическую дугу.

Поверхностная резка широко применяется на всех крупных металлургических предприятиях для удаления дефектов с поверхности отливок и проката, в сварочных цехах судостроительных заводов, в котельных цехах и т. д.

К положительным особенностям процесса поверхностной кислородной резки относятся:

а) высокая производительность, позволяющая удалять одиночным ручным резаком до 5 кг металла в минуту; скорости при ручной резке холодного металла 1—6 м/мин, при машинной резке горячего металла 20—40 м/мин и более;

б) глубокое выявление дефектов, которые не замазываются, как при вырубке зубилом или механической строжке, а четко обозначаются после прохода резаком;

в) на очищенной поверхности не возникает наклепа, характерного для механической вырубки.

При поверхностной резке высокоуглеродистых и легированных сталей требуется подогрев во избежание образования трещин, располагающихся в зоне термического влияния обычно поперек канавки.

Поверхностная кислородная резка технического чистого железа (типа Армко) и малоуглеродистых кипящих сталей с содержанием углерода до 0,1% затрудняется тем, что образующийся шлак, расплавляя металл у кромок реза, прочно приваривается к ним и может быть отделен лишь с большим трудом. Меры борьбы с этим явлением в настоящее время в достаточной мере не разработаны. Для всех остальных сталей, включая высокохромистые (при кислородно-флюсовой резке) поверхностная кислородная резка протекает вполне успешно и дает высокий экономический эффект.

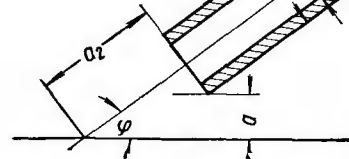
Режимы ручной поверхностной кислородной резки приведены в табл. 14.

14. Режимы ручной поверхностной кислородной резки с помощью резаков РАП-55 и РП-50

Тип резака	Номер мундштука	Размеры канавок в мм		Режим работы		Расход газов в л/час			Удельный расход газов в л/кг удаляемого металла		
		Ширина	Глубина	Давление кислорода перед резаком, в кг/см ²	Скорость резки в м/мин	Кислорода	Горючего		Кислорода	Горючего	
							ацетилена	коксового газа		ацетилена	коксового газа
РАП-55	1	11—20	2—5	2—6	1,0—6,0	9—18	1,5—2,0	—	190—360	16—60	—
	2	18—30	2—10	3—8		13—30	—	—	150—270	8—36	—
РП-50	1	15—30	2—12	3—6	1,5—8	18—40	0,9—1,0	4—5	180—300	5—17	20—80
	2	18—35	2—16	3—8	1,5—10	20—55			160—250	4—14	19—70
	3	30—50	2—20	3,5—10		30—75			220—300	3—7	15—32

Поверхностная резка высоколегированных хромистых и хромоникелевых сталей

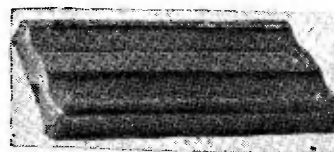
Технология поверхностной кислородно-флюсовой резки в принципе не отличается от технологии обычной поверхностной кислородной резки и состоит из следующих двух операций: подогрева начальной точки реза до температуры загорания металла в струе кислорода и непрерывного горения металла в движущемся очаге после включения режущего кислорода и начала движения резака.



Фиг. 51. Схема расположения мундштука резака по отношению к обрабатываемой поверхности при поверхностной кислородной резке.

При кислородно-флюсовой резке высота подъема мундштука a зависит от расстояния a_2 (фиг. 51). Для того чтобы в очаге горения металла было достаточное количество окислившегося флюса, a_2 должно быть не менее 55—60 мм. При этом расстоянии имеет место минимальный удельный расход флюса. При разных углах атаки струи режущего кислорода φ указанному расстоянию a_2 соответствует различная высота подъема мундштука a .

Пределы оптимальных значений расстояния между нижней точкой мундштука (с предохранительным кольцом) и обрабатываемой поверхностью при различных углах атаки струи режущего кислорода, а также размеры получающихся канавок и ориентировочные удельные расходы флюса и кислорода при резке приведены в табл. 15. Внешний вид поверхности и разрез канавок, полученных на стали IX18H9T, приведены на фиг. 52 и 53.



Фиг. 52. Поверхность канавок на стали IX18H9T, выполненных резаком для кислородно-флюсовой строжки.



Фиг. 53. Сечение канавок на стали IX18H9T, полученных за один, два и три прохода.

15. Режимы ручной поверхностной кислородно-флюсовой резки резаками РПКФ и РКФ с флюсопитателем ФП-3

Марка резака	Угол между осью мундштука и обрабатываемой поверхностью φ°	Расстояние от мундштука до обрабатываемой поверхности a в мм	Размеры канавок в мм		Расход на 1 кг удаляемого металла	
			Ширина	Глубина	кислорода в л/с	флюса в кг
РПКФ-3	20	8—10	20—24	2—3,5	0,65—1,0	1,5—2,0
	25	14—18	21—24	3—4,5	0,55—0,8	1,0—1,6
	30	18—28	22—24	4—4,5	0,56—0,65	0,8—1,3
	45	32—45	24—26	3—4	0,65—0,7	0,7—1,1
РКФ-3	30	20—24	12—13	2—3	0,65—0,7	1,8—2,2

Для вырезки более глубоких канавок резку нужно вести в два или три прохода. При этом глубину канавки можно увеличить в 2,5—4,3 раза по сравнению с однопроходной резкой (см. фиг. 53). При вырезке мелких канавок (1—2 мм) скорость перемещения резака следует увеличивать, а угол между осью мундштука и обрабатываемой поверхностью уменьшать до 15° .

В табл. 16 приведена техническая характеристика механизированной поверхностной кислородно-флюсовой резки, выполняемой резаком с широкозахватным мундштуком.

При поверхностной резке на металлургических заводах заготовки целесообразно предварительно подогревать до темно-красного каления в печи или укладывать для подогрева на еще неостывшие заготовки; при этом скорость зачистки увеличивается примерно в 2 раза по сравнению с обычной зачисткой на холодном металле.

При сплошной зачистке поверхности заготовки резак рекомендуется направлять таким образом, чтобы шлак затекал на уже обработанную поверхность. Это вызывает повторный нагрев канавки и улучшает отделение шлака после остывания металла.

При неправильно установленном режиме могут иметь место следующие нарушения процесса:

16. Параметры механизированной кислородно-флюсовой поверхностной резки резаком с широкозахватным мундштуком

Параметры	Величина
Угол между мундштуком для режущего кислорода и обрабатываемой поверхностью в град.	40—45
Угол между мундштуком для порошка и обрабатываемой поверхностью в град.	65—70
Расстояние между мундштуком для режущего кислорода и обрабатываемой поверхностью в мм	25—35
Скорость строжки в м/мин	0,8—2,5
Ширина снимаемого слоя в мм	115—135
Толщина снимаемого слоя в мм	3—5
Расход кислорода в м ³ /час	300—350
» ацетилен в м ³ /час	4—5
» железного порошка в кг/мин	1,8—2,3
Расход на единицу зачищаемой поверхности { кислорода в м ³ /м ²	25—30
ацетилен в м ³ /м ²	0,3—0,4
железного порошка в кг/м ²	9—12

- а) неравномерная пульсирующая подача флюса, приводящая к образованию неровной волнистой канавки;
- б) слишком резкое выдувание шлака, вызывающее размыв шлаком боковых кромок или полное прекращение процесса;
- в) невозможность образования канавки вследствие чрезмерно большой скорости перемещения резака, недостаточного давления кислорода или недостаточного количества подаваемого флюса.

ЛИТЕРАТУРА

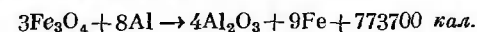
- Байкова И. П., Деформации при газовой резке и методы повышения точности вырезаемых деталей. Сборник «Газопламенная обработка металлов», Машгиз, 1956.
- Глизманенко Д. Л. и Евсеев Г. Б., Газовая сварка и резка металлов, Машгиз, 1954.
- Гузов С. Г., Конструкции мундштуков и режимы кислородной разделительной резки. «Справочные материалы ВНИИАвтогена», вып. 12, ЦБТИ Машиностроения, 1958.
- Гузов С. Г., Исследование влияния чистоты кислорода на производительность и качество разделительной кислородной резки. «Труды ВНИИАвтогена» вып. IV, Машгиз, 1957.
- Гузов С. Г. и Спектор О. Ш., Исследование разделительной резки стали больших толщин кислородом низкого давления. «Труды ВНИИАвтогена», вып. III, Машгиз, 1955.
- Гузов С. Г. и Кравецкий Г. А., Исследование условий образования и возможности уменьшения грат на кромок реза при кислородной резке. «Труды ВНИИАвтогена» вып. VII, Машгиз, 1960.
- Механизация кислородной резки листовой стали. Сборник ЦБТИ тяжелого машиностроения, 1957.
- Нинбург А. К., Поверхностная кислородная резка, Руководящие материалы ВНИИАвтогена, вып. 6, Машгиз, 1955.
- Спектор О. Ш., Классификация сталей по разрезаемости. «Передовой научно-технический и производственный опыт» № М — 57 — 231/20. Филиал ВИНТИ, 1957.
- Спектор О. Ш., Исследование основных параметров кислородной резки при непрерывной разливке стали. «Труды ВНИИАвтогена», вып. IV, Машгиз, 1957.
- Спектор О. Ш., Дуговая и газовая резка нержавеющей стали. «Передовой научно-технический и производственный опыт» № М — 58 — 190/18. Филиал ВИНТИ, 1958.
- Спектор О. Ш., Изменение состава и структуры в зоне резки сталей аустенитного и полуперлитного класса, «Сварочное производство» № 12, 1959.

ГЛАВА IX

ТЕРМИТНАЯ СВАРКА

ТЕРМИТ И ТЕРМИТНАЯ СТАЛЬ

В технике наибольшее применение получили алюмотермические реакции с использованием окислов железа. Железоалюминиевый термит представляет собой механическую смесь окислов железа (главным образом окиси-закиси) и алюминиевого порошка. Реакция горения термита условно может быть представлена следующим уравнением:



Выделяющееся при этом тепло нагревает продукты реакций до высокой температуры.

Компоненты термита должны быть определенного химического состава и грануляции.

При сварке ответственных конструкций методом промежуточного литья следует применять первичный алюминий, содержащий около 99% активного алюминия, или вторичный алюминий марки АЧ1 (табл. 1).

1. Химический состав алюминия, применяемого для изготовления термита

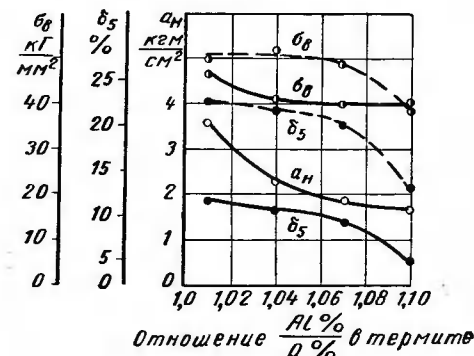
Марка алюминия	ГОСТ	Содержание алюминия в %, не менее	Содержание примесей в %, не более				
			Si	Fe	Si + Fe	Cu	Всего примесей
A00	3549-55	99,7	0,16	0,16	0,26	0,01	0,30
A0		99,6	0,20	0,25	0,36	0,01	0,40
A1		99,5	0,30	0,30	0,45	0,015	0,50
A2		99,0	0,50	0,50	0,90	0,020	1,0
A3		98,0	1,0	1,1	1,8	0,05	2,0
AЧ1	295-60	96,5	1,5	2,0	Zn 0,1	0,05	3,5

Для изготовления термита рекомендуется использовать окалину с содержанием кислорода не менее 25%, железа не менее 70%. При сварке методом промежуточного литья необходимо ограничивать содержание серы и фосфора в окалине, так как эти примеси переходят в металл шва и ухудшают его качество.

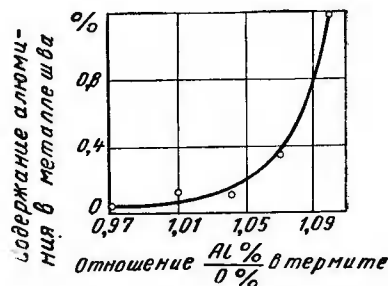
Окалина, составляющая около 80% термита, оказывает существенное влияние на его качество. Как известно, железо образует три химических соединения с кислородом: закись, закись-окись и окись железа. Порошок окислов

железа, вводимый под названием «окалина» в термит, представляет собой смесь всех трех окислов железа, соотношение между которыми зависит от условий его получения (от особенности процесса, температуры, при которой образуется окалина, от марки стали и т. д.). Поэтому содержание кислорода в окалине и в термита непостоянно. Сильно колеблется и содержание алюминия в термитной стали (0,10—0,60%), что часто приводит к низким свойствам сварного шва. Кроме того, окислы железа весьма гигроскопичны и прочно удерживают влагу, которая может служить источником образования водорода, вызывающего поры в металле шва.

Для полного удаления влаги из окалины и получения постоянного содержания в ней кислорода, не зависящего от происхождения окисла, окалину необходимо прокалывать при температурах, превышающих 700—750° С.



Фиг. 1. Механические свойства металла шва (сталь 30Л) в зависимости от отношения $\frac{Al\%}{O\%}$ в термите: сплошные линии — шов без термитной обработки; пунктирные линии — шов после нормализации (900° С, 1 час) и отпуска (650° С, 1 час)



Фиг. 2. Зависимость концентрации алюминия в металле шва от отношения $\frac{Al\%}{O\%}$ в термите

Термитная сталь не должна содержать алюминия более 0,15—0,20%, так как повышенная концентрация его ухудшает пластические свойства стали (фиг. 1).

Содержание алюминия в термитной стали зависит от отношения $\frac{Al\%}{O\%}$ в термите (фиг. 2)

Для расчета состава термита можно воспользоваться следующими формулами:

$$x = \frac{100bc}{a + bc}; \quad y = \frac{100a}{a + bc},$$

где x — весовой процент алюминиевого порошка в термите;

y — весовой процент окалины в термите;

a — процент содержания алюминия в алюминиевом порошке;

b — процент содержания кислорода в окалине;

$c = \frac{Al\%}{O\%} \approx 0,95 \div 1,05$ — оптимальное отношение алюминия к кислороду в термите.

Для термита, изготовленного из алюминия указанных в табл. 1 марок и окалины, содержащей 25—26% кислорода, $c \approx 1,02 \div 1,04$. В случае использования алюминия с более высоким содержанием магния и кремния $c < 1,02$; при наличии в алюминии меди и железа $c > 1,04$. Состав термита в сильной степени зависит от значения коэффициента c , величина которого связана со многими факторами (химическим составом алюминия и окалины, грануло-

метрическим составом алюминиевого порошка и окалины, степенью окисленности алюминия, количеством металлических добавок, порции сжигаемого термита и т. д.). Учесть влияние всех факторов в большинстве случаев не представляется возможным, поэтому приведенный расчет термита является приближенным.

Помимо алюминия, окалины и металлических добавок (стальная стружка, обечка и т. п.) в состав термита для легирования получаемой стали часто вводится ферросплавы — ферромарганец, ферросилиций и др.

Для определения количества добавляемых в термит ферромарганца и ферросилиция используются предложенные М. А. Карасевым эмпирические формулы:

$$M = \frac{K_1(a_1 + b_1 + c_1)}{m},$$

$$S = \frac{K_2(a_1 + b_1 + c_1)}{s},$$

где M — количество вводимого в термит ферромарганца в Г;

S — количество вводимого в термит ферросилиция в Г;

a_1 — вес алюминия в Г;

b_1 — вес окалины в Г;

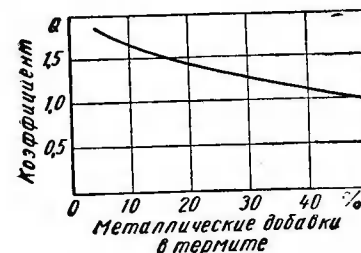
c_1 — вес металлодобавок в Г;

m — процентное содержание марганца в ферромарганце;

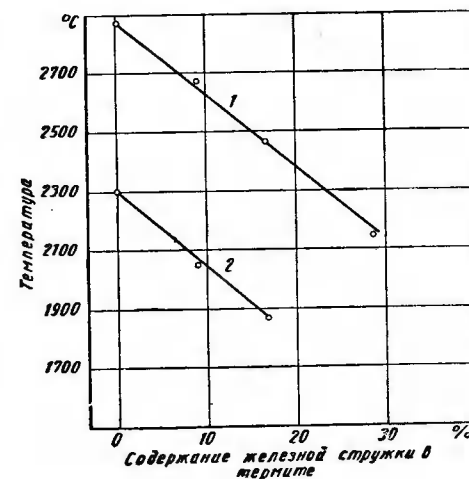
s — процентное содержание кремния в ферросилиции;

K_1 и K_2 — коэффициенты, зависящие от процентного содержания Mn и Si соответственно в алюминиевом порошке и в окалине; $K_1 = 1,4 \div 2,0$; $K_2 = 0,15 \div 0,21$.

Чем больше в алюминии и окалине содержание марганца и кремния, тем меньше значение



Фиг. 3. Зависимость коэффициента Q от процента металлических добавок



Фиг. 4. Зависимость температуры термитной стали от количества железной стружки в термите (при сжигании 14—16 кг термита): 1 — расчетные данные; 2 — опытные данные

коэффициентов K_1 и K_2 .

Количество термита для сварки определяется умножением необходимого веса металла на коэффициент Q , который изменяется в зависимости от процента вводимых в термит металлических добавок (фиг. 3).

Введение металлических добавок в термит увеличивает выход жидкой стали, но снижает ее температуру (фиг. 4). Поэтому количество вводимых в термит металлических добавок зависит от теплового баланса процесса и от физических свойств свариваемого металла. С увеличением порции термита

уменьшаются потери тепла (нагрев тиглей, излучение в окружающее пространство и т. п.), поэтому может быть допущен больший процент металлических добавок (табл. 2).

2. Количество металлических добавок, вводимых в термит, в зависимости от условий сварки

Требуемое количество расплавленного металла в кг для сварки		Оптимальное количество металлических добавок в % от веса чистого термита	Требуемое количество расплавленного металла в кг для сварки		Оптимальное количество металлических добавок в % от веса чистого термита
чугуна	стали		чугуна	стали	
1,5—2	2—2,5	5	20—35	Свыше 75	30
2—4	2,5—5	10	35—50	—	35
4—5	5—10	15	50—75	—	40
5—8	10—75	20	75—150	—	45
8—20	Свыше 75	25	Свыше 150	—	50

Для составления термита обычно применяется фракция алюминия и окислы, проходящая сквозь сито 36 от/см^2 . Однако при этом гранулометрический состав термита может изменяться в широких пределах, что влечет за собой нестабильность его свойств. Поэтому для получения более постоянного гранулометрического состава термита необходимо алюминий и окислы просеивать через два сита: отсеивать не только крупную, но и мелкую фракцию (например, использовать фракцию, проходящую через сито 64 от/см^2 , но остающуюся на сите с 400 от/см^2). Следует отметить, что при этом более значительная часть сырья становится отходом, что удорожает стоимость термита.

Для воспламенения термитной смеси требуется довольно высокая температура ($\sim 800^\circ\text{C}$), поэтому зажигание термита производится специальными спичками (термоспичками, саперными спичками), сварочной дугой или специальным запалом из смеси следующего состава: бертолетова соль — 25%; перекись марганца — 50%; алюминиевый порошок с зернами крупностью 0,1—0,2 мм — 10%; сера — 15%.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ТЕРМИТНОЙ СВАРКИ

Оборудование, используемое при термитной сварке, очень несложно и может быть изготовлено в условиях большинства предприятий.

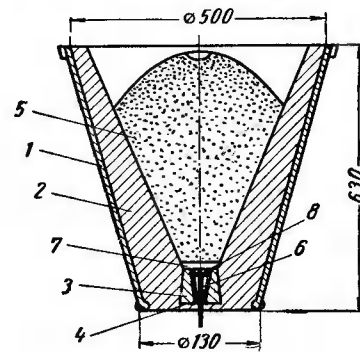
Тигли. Термитная реакция происходит в тиглях (фиг. 5). Железный кожух тигля 1 изнутри футеруется огнеупорной массой, состоящей из 85% магнезитового порошка (Т. У. Главогнеупора ММП № 260 от 11/XII 1948 г.) и 15% огнеупорной глины 2*. В дне тигля имеется отверстие, в которое вставлен магнезитовый стаканчик 3 со штепселем 4, образующим канал для выпуска термитной стали. При протекании стали штепель сильно изнашивается, поэтому после каждой реакции его заменяют новым. Отверстие в штепселе закрывается вставляемым сверху запорным гвоздем 6, поверх которого кладутся асбестовые прокладки 8. На асбестовые прокладки насыпается слой магнезита 7 в 10—15 мм. Выпуск стали 5 из тигля производится путем выбивания запорного гвоздя резким ударом снизу.

* Рекомендуемые карьеры огнеупорной глины: Боровичский (Октябрьской ж. д.), Латинский (Московско-Донбасской ж. д.), Часоварский (Северо-Донецкой ж. д.).

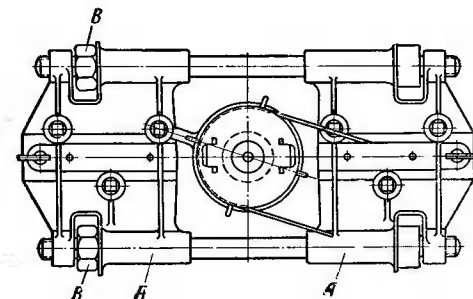
Перед сваркой тигли следует прокалить при температуре $700\text{—}800^\circ\text{C}$ в течение 2—3 час.

Формы. Формы служат для подвода жидкого металла к месту сварки деталей и формирования сварного шва нужной конфигурации. Формы являются также изоляционным материалом, уменьшающим теплопотери и облегчающим осуществление подогрева свариваемых деталей до необходимой температуры. Формы изготавливаются разъемными, состоящими из двух-трех частей. Набивка форм производится огнеупорной массой, состоящей из 80% песка и 20% огнеупорной глины. Перед сваркой формы просушиваются при температуре $120\text{—}150^\circ\text{C}$ в течение 6—8 час.

Подогреватели. Свариваемые концы деталей перед сваркой обычно подогревают до температуры $500\text{—}900^\circ\text{C}$. Подогрев производится специальными бензиновыми или керосиновыми горелками. При сварке больших сечений для нагревания одного стыка используется несколько подогревателей.



Фиг. 5. Тигель, подготовленный для термитной реакции.



Фиг. 6. Стяжной пресс для сварки рельсов.

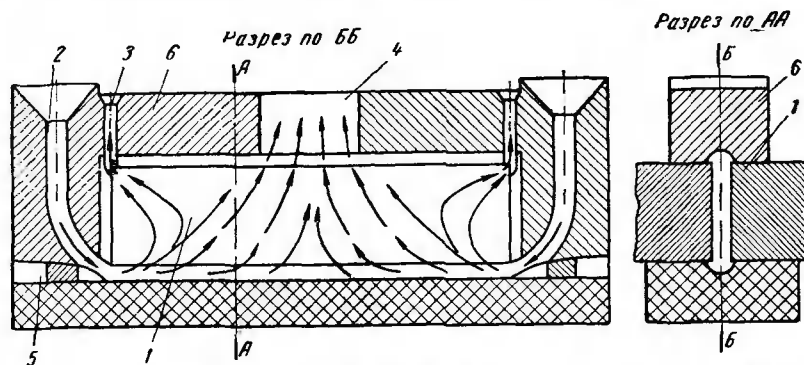
Прочее оборудование. В тех случаях, когда для сварки требуется стягивание деталей, применяются специальные прессы. Пресс (фиг. 6) состоит из обычных седел А, соединенных двумя штангами. Одно из седел может передвигаться по штангам при помощи гаек В. Седла прикрепляются к свариваемым деталям, которые при помощи гаек стягиваются с усилием до 3 кг/мм^2 .

Для закрепления форм применяются струбцины, прижимы и другие простейшие механизмы.

СВАРКА СПОСОБОМ ПРОМЕЖУТОЧНОГО ЛИТЬЯ

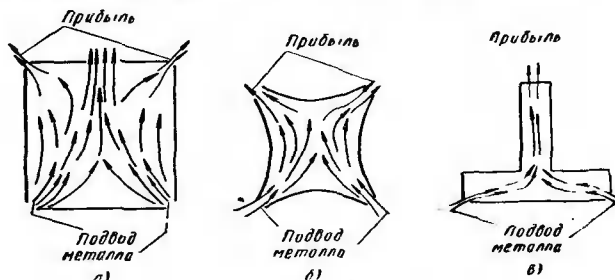
Этот способ термитной сварки является наиболее распространенным. Применяется он главным образом при изготовлении сварно-литых и сварно-кованых конструкций, а также при ремонте крупных деталей в тех случаях, когда требуется сварка больших сечений.

Схема процесса изображена на фиг. 7. Соединяемые сваркой концы деталей 1 устанавливаются с некоторым зазором и заформовываются огнеупорной массой 6, в которой устраиваются каналы для подвода металла 2, для выпоров 3, приливной части 4 и подогревателей 5. Для предохранения от попадания в зазор формовочных материалов зазор иногда заполняется воском, который вытапливается при подогреве. Свариваемые части подогреваются. После того как все указанные приготовления сделаны, термитную смесь засыпают в тигли и поджигают. Спустя 30—35 сек. после окончания термитной реакции и некоторой выдержки металл выпускается из тигля и заливается в заформованный стык. Через несколько часов огнеупорные формы снимаются, приливы и литники удаляются.



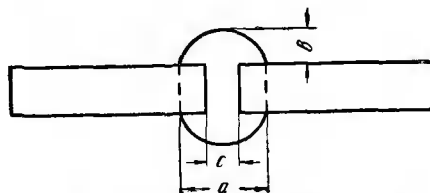
Фиг. 7. Схематическое изображение термитной сварки методом промежуточного литья сечения 120 × 500 мм.

Так как при термитной сварке способом промежуточного литья основным источником тепла является теплосодержание жидкой стали, то для получения хорошего сплавления шва с основным металлом через стык должен быть пропущен избыток металла, превышающий в 2—3 раза количество его, необходимо



Фиг. 8. Схемы рекомендуемых конструкций стыков при термитной сварке промежуточным литьем деталей различной конфигурации: а — четырехугольное сечение; б — трефообразное сечение; в — тавровое сечение.

для заполнения зазора между свариваемыми деталями. Другим важным условием получения хорошего провара по всей длине шва является правильное конструирование сварного стыка, предусматривающее такое расположение прибылей и подвода металла, чтобы потоки жидкой стали по возможности омыли всю площадь свариваемого сечения (фиг. 8 и 10, а).



Фиг. 9. Основные размеры сварного соединения при сварке промежуточным литьем.

Зазор между свариваемыми деталями (табл. 3), а также другие размеры сварного шва имеют важное значение для качества сварки. Между отдельными

размерами стыка при сварке способом промежуточного литья установлены следующие эмпирические зависимости:

$$a = \frac{3\sqrt{F}}{10} + 2c; \quad b = 0,34\sqrt{F}; \quad b = c,$$

где c — величина зазора в см;

b — высота усиления в см;

a — ширина усиления в см;

F — площадь поперечного сечения в см² свариваемых деталей (фиг. 9).

3. Зависимость ширины зазора от размера сечения свариваемой детали (Размеры в мм)

Сечение свариваемой детали	Ширина зазора	Сечение свариваемой детали	Ширина зазора	Сечение свариваемой детали	Ширина зазора
50×50	10	200×200	25	350×350	36
80×80	13	230×230	27	400×400	40
100×100	14	250×250	29	500×500	48
130×130	17	280×280	29	600×600	54
150×150	19	300×300	30	700×700	60
180×180	22				

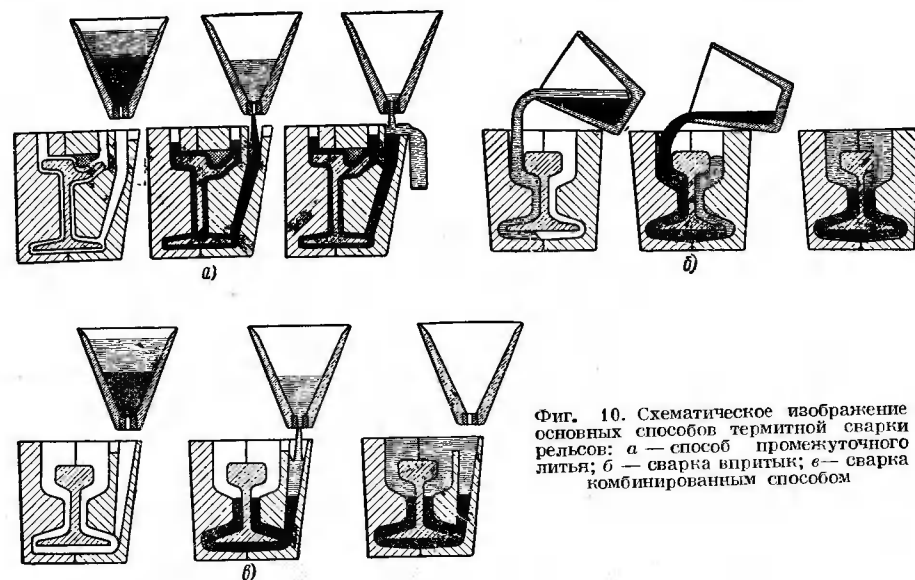
При термитной сварке способом промежуточного литья качество термита оказывает большое влияние на свойства сварного шва, так как шов образуется в основном за счет термитной стали.

Металл шва, выполненный термитной сваркой, обладает типичной крупнозернистой литой структурой. Нормализация выравнивает состав и структуру, улучшает свойства металла шва (см. фиг. 1). В основном металле на расстоянии до 10—15 мм от границы сплавления, вследствие перегрева его при заливке в шов термитной стали, образуется видманшtedтова структура, и ударная вязкость сварного соединения в указанной зоне невысока (1,5—2,5 Дж/см²). Видманшtedтова структура может быть уничтожена и свойства околошовной зоны улучшены путем нормализации.

В некоторых случаях при сварке промежуточным литьем применяется стягивание, которое производится непосредственно после выпуска термитного металла из тигля, при этом металл, находящийся в стыковом зазоре, из него выжимается. Этот способ может применяться только для сварки относительно небольших деталей в тех случаях, когда возможно последующее стягивание стыка.

СВАРКА ВПРИТЫК

Способ термитной сварки впритык (фиг. 10, б) применяется для соединения деталей относительно небольшого сечения (рельсов, труб и т. п.). Сварка производится следующим образом. Торцы деталей обрабатываются для получения чистых и взаимно параллельных плоскостей, детали сдвигаются вплотную, стык зачеканивается. На место соединения надеваются огнесупорные формы и производится подогрев сопрягаемых торцов бензиновыми подогревателями до температуры 450—600° С. По окончании термитной реакции в тигле слив расплавленного шлака и металла производится через край, при этом в огнеупорную форму в первую очередь попадает жидкий шлак, который быстро



Фиг. 10. Схематическое изображение основных способов термитной сварки рельсов: а — способ промежуточного литья; б — сварка впритык; в — сварка комбинированным способом

затвердевает, образуя вокруг свариваемых концов детали шлаковую корку. Поступающая затем в форму сталь вытесняет вверх шлак, находящийся в жидком состоянии, и свариваемые концы нагреваются до температуры белого каления. Однако благодаря наличию шлаковой прослойки термитная сталь к ним не приваривается. После достаточного разогрева свариваемые детали стягиваются специальным механизмом и свариваются впритык. После окончания сварки термитный шлак и металл легко удаляются с остывшего стыка.

СВАРКА КОМБИНИРОВАННЫМ СПОСОБОМ

Комбинированный способ термитной сварки совмещает сварку впритык и сварку промежуточным литьем. Он применяется исключительно при сварке рельсов. Сварка ведется следующим образом (фиг. 10, в). Свариваемые торцы рельсов фрезеруются. Между головками рельсов закладывается из железа или из малоуглеродистой стали пластина толщиной 6—8 мм, которая зажимается специальным прессом. Затем надевается форма и производится подогрев до 700—750° С. По окончании подготовки к сварке зажигают термит и выливают металл и шлак через выпускное отверстие в форму. Сталь, вытекающая в первую очередь, расплавляет подошвы и шейку рельсов, сваривая их в единое целое. Заполняющий верхнюю часть формы шлак сильно разогревает головки рельсов, что дает возможность сварить их стягиванием между собой при помощи пресса. Количество термита рассчитывается таким образом, чтобы восстановленный металл заполнял по высоте $\frac{2}{3}$ формы рельса.

Необходимое количество термита для сварки некоторых типов рельсов различными способами приводится в табл. 4.

СВАРКА ЧУГУНА

Сварка чугуна термитом по технологии мало отличается от сварки стали. Во избежание отбела в околошовной зоне желателен более высокий, чем для стали, подогрев свариваемых деталей (500—700° С) и медленное охлаждение заваренного стыка. При термитной сварке получить в шве высокое содержание

4. Количество термита, необходимое для сварки некоторых типов рельсов

Тип рельсов	Вес термитных порций в кг при сварке		
	комбинированным способом	способом промежуточного литья с прессованием	способом промежуточного литья без прессования
Рельсы трамвайные Т-60	12	22,5	22,5
Рельсы железнодорожные Р-43	8	15	15
То же Р-38	6	12	12

углерода (выше 1,5—2,0%) затруднительно из-за бурного протекания реакции вследствие взаимодействия углерода с окислами железа.

Для сварки составляют термит, дающий металл с высоким содержанием кремния (2,5—3,5%), уменьшающего отбел сварного соединения.

Сварка чугуна может производиться с большим количеством металлических добавок, чем сварка стали (см. табл. 2), так как для расплавления чугуна тепла требуется меньше, чем для плавления стали.

Термитную сварку чугуна, так же как и сварку стали, целесообразно применять для соединения массивных деталей, свариваемое сечение которых имеет несложную конфигурацию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карасев М. А., Термит и термитная сварка рельсов, Гострансиздат, 1936.
2. Лапшин В. В. и Логин М. И., Термитная сварка рельсов в путях трамвая. Изд. Мин. Комм. Хоз. РСФСР, 1951.
3. Справочные материалы для сварщиков, Машгиз, 1951.
4. Тимофеев М. М., Исследование металлургии и технологии процесса термитной сварки стали 30Л, «Сварочное производство» № 1, 1955.
5. Тимофеев М. М., Термитная сварка стали 30Л больших сечений, АН СССР, ИТЭИН, Периодическая информация, N К—54—150, 1954.

ГЛАВА X

ДУГОВАЯ СВАРКА В СРЕДЕ ЗАЩИТНЫХ ГАЗОВ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В современной технике значительное место занимает дуговая сварка в среде защитных газов.

Разновидности процесса сварки в среде защитных газов можно классифицировать по составу защитного газа, по типу электрода и по степени механизации (фиг. 1).

Сварка в среде защитных газов применяется для соединения углеродистых, низколегированных конструкционных, высоколегированных нержавеющих и жаропрочных сталей и сплавов; алюминиевых, магниевых, никелевых и медных сплавов, активных и редких металлов (титан, цирконий, тантал, молибден).

Сварка выполняется неплавящимся или плавящимся электродом.

При сварке неплавящимся электродом источником тепла является дуга, возбуждаемая между вольфрамовым или угольным электродом и изделием. Конец электрода, дуга и ванна расплавленного металла защищены газом. Газ находится в камере, в которой осуществляется сварка, или подается в виде потока, концентрически направленного относительно электрода (фиг. 2).

Электрод укрепляется в зажимном устройстве специальной горелки, являющейся основным рабочим инструментом. Поток защитного газа формируется и направляется в сторону сварочной ванны соплом горелки.

В качестве защитной среды применяются как инертные газы (аргон и гелий), так и активные (CO_2 , N_2 , пары H_2O), а также смеси инертных газов с активными ($\text{Ar}-\text{O}_2$, $\text{Ar}-\text{N}_2$, $\text{Ar}-\text{H}_2$, $\text{Ar}-\text{CO}_2$). С целью экономии инертных газов, а также для получения оптимальных технологических и металлургических свойств защитной среды иногда применяются горелки, конструкция которых обеспечивает защиту двумя концентрическими потоками газов (фиг. 3). Внутренний поток образуется аргоном или гелием, а наружный — более дешевыми азотом или углекислым газом.

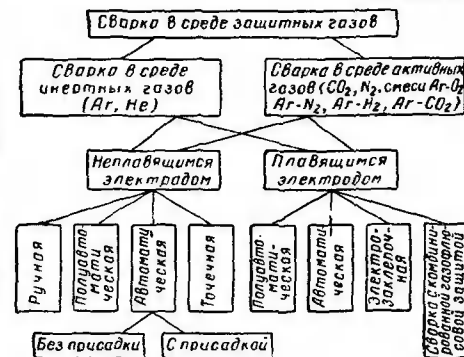
Сварка неплавящимся электродом выполняется без присадки, когда шов формируется за счет расплавления свариваемых кромок (фиг. 4), и с присадкой, когда в формировании шва участвует присадочный металл, подаваемый со стороны в зону дуги (см. фиг. 2). Присадочный металл может быть также заранее уложен по свариваемому стыку соединения (фиг. 5).

Дуга в среде инертных газов с неплавящимся электродом может быть использована для точечной сварки нахлесточных соединений (фиг. 6), а также для прихваток в виде точек. Точечная дуговая сварка в среде инертных газов применяется для соединения малоуглеродистых и хромоникелевых нержавеющих сталей.

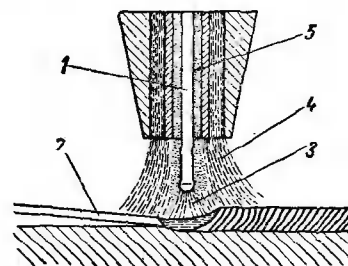
Когда не требуется концентрированный источник тепла, целесообразно осуществлять сварку в среде инертных газов независимой дугой, возбуждаемой между двумя вольфрамовыми электродами. Большие возможности для регулирования теплового потока, направляемого в сварочную ванну, имеет трехфазная дуга с неплавящимися электродами (фиг. 7).

Дуга в среде защитного газа с неплавящимся электродом используется для резки металлов.

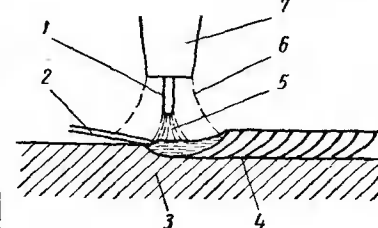
При сварке плавящимся электродом источником тепла является дуга, возбуждаемая между свариваемым изделием и электродной проволокой, непре-



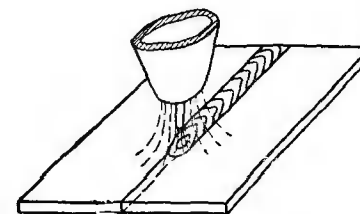
Фиг. 1. Классификация способов сварки в среде защитных газов.



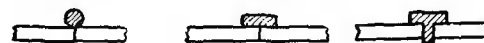
Фиг. 3. Схема дуговой сварки вольфрамовым электродом с комбинированной защитой: 1 — вольфрамовый электрод; 2 — присадочный металл; 3 — сварочная дуга; 4 — углекислый газ или азот; 5 — аргон.



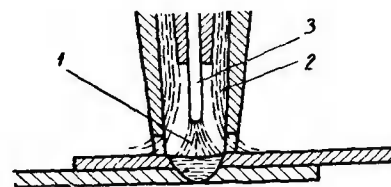
Фиг. 2. Схема дуговой сварки в среде инертных газов вольфрамовым электродом с присадочным металлом: 1 — вольфрамовый электрод; 2 — присадочная проволока; 3 — основной металл; 4 — наплавленный металл; 5 — сварочная дуга; 6 — защитный газ; 7 — горелка.



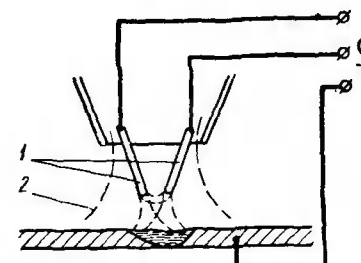
Фиг. 4. Схема дуговой сварки в среде инертных газов вольфрамовым электродом без присадочного металла.



Фиг. 5. Стыковые соединения для сварки в среде защитных газов с предварительно наложенной присадкой.



Фиг. 6. Схема дуговой точечной сварки вольфрамовым электродом в среде инертных газов: 1 — дуга; 2 — инертный газ; 3 — вольфрамовый электрод.

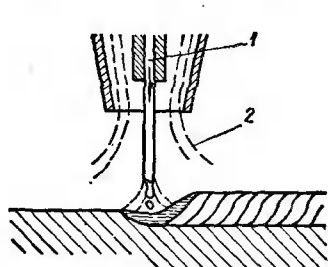


Фиг. 7. Схема сварки в среде инертных газов трехфазной дугой с неплавящимся электродом: 1 — вольфрамовые электроды; 2 — инертный газ.

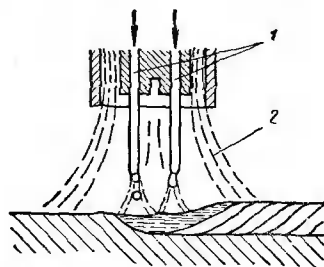
рывно подаваемой в зону дуги. Защитный газ может заполнять камеру, в которой осуществляется сварка, или подаваться в зону дуги в виде потока, как и при сварке неплавящимся электродом (фиг. 8)

Электродная проволока подается механизмом подачи с постоянной или переменной скоростью в зависимости от напряжения дуги. Для направления проволоки, токоподвода к ней и подачи в зону сварки защитного газа применяется горелка.

В некоторых случаях для рассредоточения теплового потока применяют многоэлектродную сварку (фиг. 9). Это позволяет уменьшить долю основного



Фиг. 8. Схема дуговой сварки в среде защитных газов плавящимся электродом; 1 — плавящийся электрод; 2 — защитный газ.

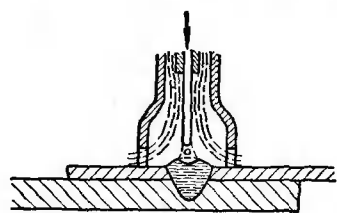


Фиг. 9. Схема многоэлектродной сварки в среде защитных газов; 1 — плавящийся электрод; 2 — защитный газ.

металла в шве и в ряде случаев уменьшить склонность к образованию пор и трещин.

Сварка сталей и некоторых других сплавов производится плавящимся электродом с комбинированной газо-флюсовой защитой.

Нахлесточные соединения можно сваривать плавящимся электродом в среде защитных газов электрозаклепками (фиг. 10).



Фиг. 10. Схема дуговой сварки плавящимся электродом в среде защитных газов электрозаклепками

Дуговую сварку в среде защитных газов неплавящимся электродом можно выполнять:

а) вручную, когда перемещение горелки и подача присадочной проволоки осуществляется сварщиком;

б) полуавтоматом, когда перемещение горелки вдоль шва осуществляется вручную, а подача присадочной проволоки — с помощью специального механизма;

в) автоматом, когда перемещение горелки и подача присадочной проволоки производится механически.

Дуговую сварку в среде защитных газов плавящимся электродом можно выполнять с помощью полуавтоматов и автоматов.

Сварка неплавящимся электродом применяется при соединении тонколистовых материалов толщиной меньше 3—5 мм. В отдельных случаях для получения сварных соединений высокого качества сварку неплавящимся вольфрамовым электродом применяют и на изделиях из материалов толщиной более 5 мм.

К основным преимуществам сварки в среде защитных газов относятся:

- 1) отсутствие необходимости применения флюсов или обмазок, а следовательно, и очистки швов от шлака и неиспользованных остатков флюса после сварки;

- 2) высокая производительность процесса;

- 3) высокая степень концентрации источника тепла, позволяющая значительно сократить зону структурных превращений и уменьшить коробление изделия в результате сварки;

- 4) низкая стоимость при использовании в качестве защитных газов CO_2 , N_2 , паров воды и др.;

- 5) минимальное взаимодействие металла шва с кислородом и азотом воздуха при использовании в качестве защитной среды инертных газов;

- 6) возможность сварки разнообразных металлов и сплавов толщиной от десятых долей миллиметра до десятков миллиметров;

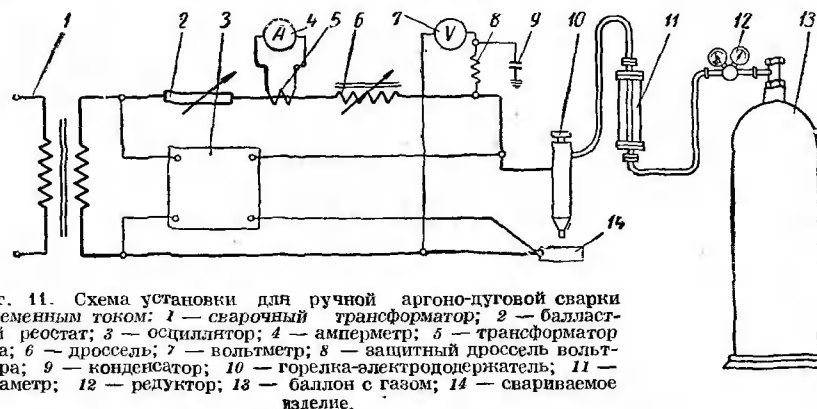
- 7) возможность наблюдения за открытой дугой, чем облегчается управление процессом сварки;

- 8) широкие возможности механизации и автоматизации.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ В СРЕДЕ ЗАЩИТНЫХ ГАЗОВ

Источники тока и схемы питания дуги при сварке неплавящимся электродом

Для сварки неплавящимся электродом переменным током на многих предприятиях применяются упрощенные схемы питания дуги на базе стандартных источников тока. Одна из таких схем представлена на фиг. 11.



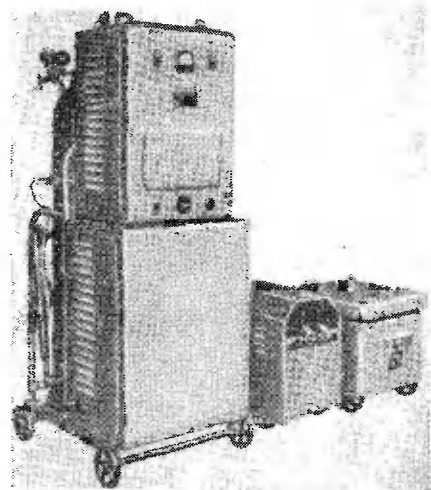
Фиг. 11. Схема установки для ручной аргоно-дуговой сварки переменным током: 1 — сварочный трансформатор; 2 — балластный реостат; 3 — осциллятор; 4 — амперметр; 5 — трансформатор тока; 6 — дроссель; 7 — вольтметр; 8 — защитный дроссель вольтметра; 9 — конденсатор; 10 — горелка-электрододержатель; 11 — ротаметр; 12 — редуктор; 13 — баллон с газом; 14 — свариваемое изделие.

Питание дуги производится от стандартного трансформатора (типов СТЭ, СТПК, ТСД) с дросселем. Для облегчения возбуждения дуги и поддержания относительно устойчивого ее восстановления в полупериоды обратной полярности в сварочную цепь включают постоянно действующий осциллятор. Балластные реостаты РБ-200 или РБ-300 служат для частичной компенсации постоянной составляющей сварочного тока и для ступенчатого регулирования тока. Подача защитного газа к горелке осуществляется от баллона через кислородный редуктор. Расход газа контролируется с помощью ротаметра (обычно РС-3).

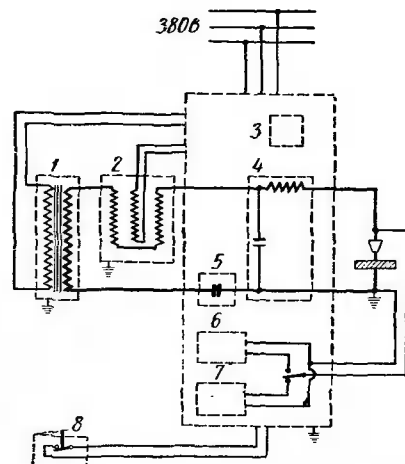
С 1958 г. промышленностью выпускаются специальные аппараты УДАР-300 для ручной сварки неплавящимся электродом (фиг. 12—14).

Установка УДАР-300 предназначена для сварки алюминиевых сплавов. Пределы регулирования тока от 50 до 300 а. Питание дуги осуществляется от сварочного трансформатора СТЭ-34. Дроссель насыщения ДН-300 служит для регулирования тока и обеспечивает получение кривой изменения тока в сварочной цепи с ускоренным переходом через нулевое значение при малых токах (50—70 а). Дроссель имеет две ступени регулирования тока, получаемые за счет переключения числа витков рабочих обмоток. Регулирование тока в пределах каждой ступени — плавное и осуществляется с помощью реостата, включенного в цепь обмотки подмагничивания.

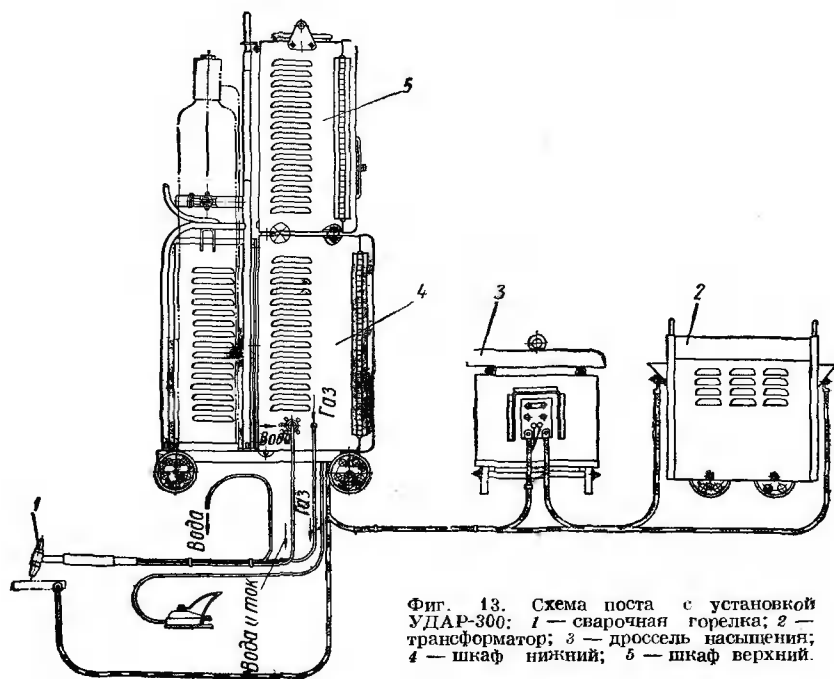
Для подавления составляющей постоянного тока в сварочную цепь последовательно с источником питания включена батарея из 100 электролитических неполярных конденсаторов ЭС общей емкостью 100 000 мкф.



Фиг. 12. Установка УДАР-300 для ручной аргоно-дуговой сварки.



Фиг. 14. Схема внешних соединений установки УДАР-300: 1 — сварочный трансформатор; 2 — дроссель насыщения; 3 — газовый клапан; 4 — защитный фильтр; 5 — конденсаторная батарея; 6 — осциллятор; 7 — стабилизатор; 8 — кнопка «Стоп».



Фиг. 13. Схема поста с установкой УДАР-300: 1 — сварочная горелка; 2 — трансформатор; 3 — дроссель насыщения; 4 — шкаф нижний; 5 — шкаф верхний.

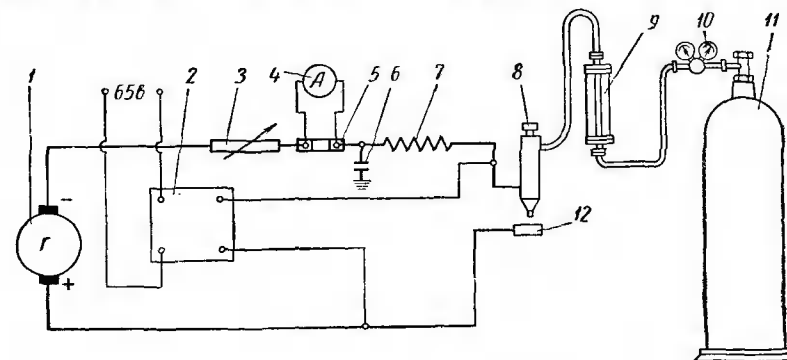
Возбуждение дуги производится с помощью осциллятора. После установления дугового разряда питание осциллятора автоматически выключается и включается импульсный стабилизатор, подающий на дуговой промежуток импульсы напряжения около 300 в синхронно с изменением полярности на обратную. Действием стабилизатора обеспечивается надежное восстановление дуги в полупериоды обратной полярности при низком напряжении холостого хода сварочного трансформатора (60—65 в).

Для работы на малых токах в схеме установки предусмотрена система «горячего пуска», обеспечивающая надежное возбуждение дуги. Действие системы заключается в том, что возбуждение дуги производится при токе около 100 а с последующим автоматическим переключением на необходимое значение тока меньше 100 а. Переключение осуществляется в цепи подмагничивающей обмотки сварочного реактора.

В комплект установки входят горелки — малая и большая (см. стр. 389).

С 1960 г. завод «Электрик» выпускает аппараты УДАР-300-1 на токи от 50 до 300 а и УДАР-500 на токи от 60 до 500 а. От УДАР-300 они отличаются более совершенной схемой импульсного стабилизатора и использованием осциллятора, последовательно включаемого в сварочную цепь; в них упрощена связь между сварочной цепью, осциллятором и импульсным стабилизатором.

Схема поста для ручной и механизированной сварки неплавящимся электродом постоянным током представлена на фиг. 15.



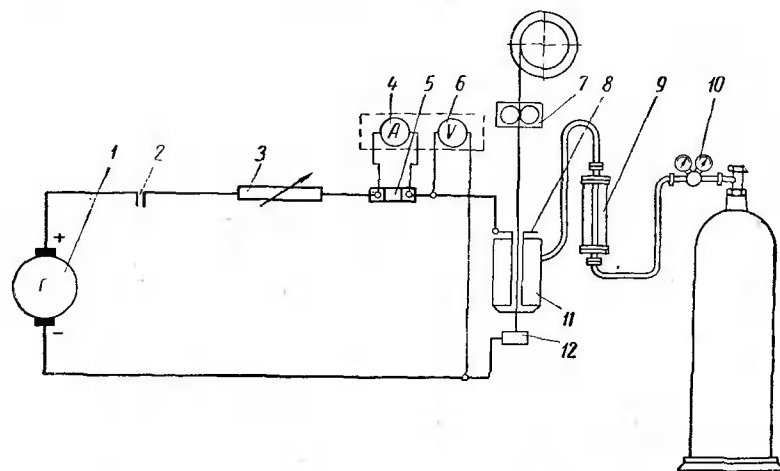
Фиг. 15. Схема установки для ручной и механизированной сварки вольфрамовым электродом постоянным током: 1 — сварочный генератор; 2 — осциллятор; 3 — балластный реостат; 4 — амперметр; 5 — шунт; 6 — конденсатор; 7 — защитный дроссель; 8 — сварочная горелка; 9 — ротаметр; 10 — редуктор; 11 — баллон с газом; 12 — свариваемое изделие.

Источниками питания служат стандартные сварочные мотор-генераторы (СУГ-2), преобразователи (ПСО-30, ПС-500 и др.), а также сварочные выпрямители ВСС-120, ВСС-300, ИПП-120, ИПП-300 и др. Для возбуждения дуги без короткого замыкания с изделием служит осциллятор, питание которого после возбуждения дуги может выключаться автоматическим или ручным выключателем. Дроссель и конденсатор образуют защитный фильтр. По окончании сварки выключение тока производится с помощью контактора или специального устройства для плавного гашения дуги.

Источники тока и схема питания дуги при сварке плавящимся электродом

Схема поста полуавтоматической или автоматической сварки плавящимся электродом на постоянном токе представлена на фиг. 16.

В качестве источников питания для сварки плавящимся электродом используются специальные преобразователи ПСГ-350 и ПСГ-500 с жесткой и возрастающей внешней характеристикой, специальные сварочные выпрямители ВС-200



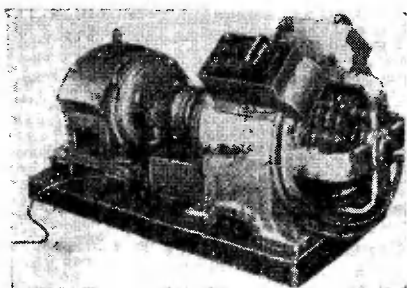
Фиг. 16. Схема установки для полуавтоматической и автоматической сварки в среде защитных газов плавящимся электродом: 1 — сварочный генератор; 2 — контактор; 3 — балластный реостат; 4 — амперметр; 5 — шунт; 6 — вольтметр; 7 — механизм подачи электродной проволоки; 8 — токоведущая втулка; 9 — ротаметр; 10 — редуктор; 11 — сварочная горелка; 12 — свариваемое изделие.

ИПП-120, ИПП-300 и ИПП-500 с жесткой внешней характеристикой, а также модернизированные зарядные агрегаты АЗД-7,5/30 (ЗДМ), ЗСП-1 и ГСР-150.

Модернизированный зарядный агрегат АЗД-7,5/30 (ЗДМ) представлен на фиг. 17.

Основные технические данные зарядного агрегата АЗД-7,5/30

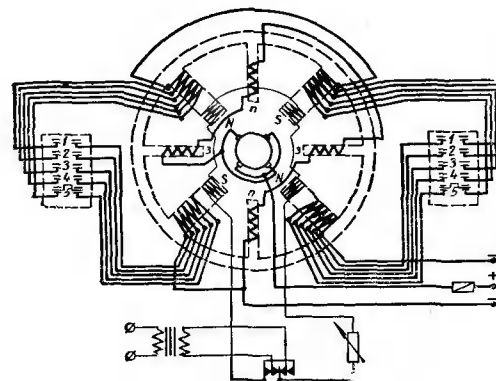
Номинальная мощность в кет	7,5
Напряжение холостого хода в в	24—36
Номинальный ток в а при среднем напряжении	250
Скорость вращения в об/мин	1450
Тип электродвигателя	МКМ6-15/4
К. п. д. агрегата	0,65
Cos φ агрегата	0,57
Вес агрегата в кг	570



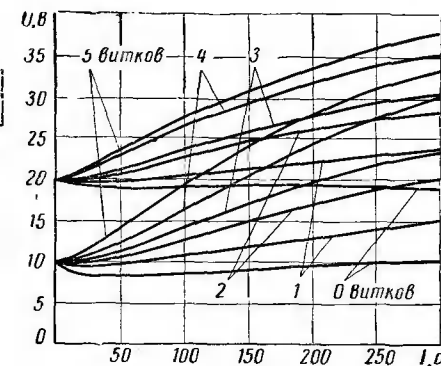
Фиг. 17. Модернизированный зарядный агрегат АЗД-7,5/30 (ЗДМ).

Модернизация агрегата состоит в подключении дополнительной секционированной серийной обмотки (по пять витков на каждый магнитный полюс) согласно с независимой обмоткой генератора, питаемой от селенового выпрямителя (фиг. 18). На фиг. 19 показаны внешние вольтамперные характеристики генератора. Угол подъема внешней характеристики обуславливается количеством включенных серийных витков. Напряжение холостого хода регулируется изменением тока в обмотке независимого возбуждения.

При питании дуги от генератора с возрастающей характеристикой

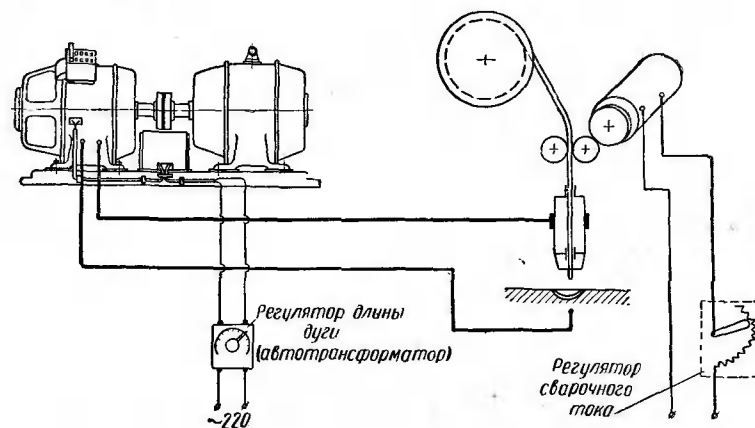


Фиг. 18. Электрическая схема генератора ЗДМ.



Фиг. 19. Внешние характеристики генератора ЗДМ.

регулятор тока в цепи возбуждения является регулятором длины дуги, а регулятор скорости подачи проволоки выполняет функции регулятора сварочного тока (фиг. 20).

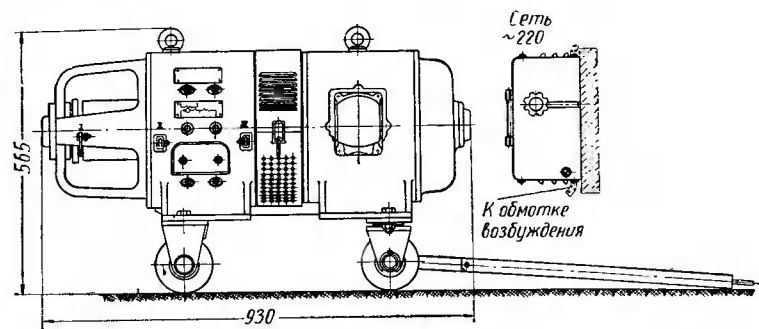


Фиг. 20. Схема питания дуги от агрегата ЗДМ при сварке плавящимся электродом.

Модернизированный зарядный преобразователь ЗП-7,5/30 (ЗПС-1) представлен на фиг. 21, по электрическим характеристикам имеет сходство с агрегатом АЗД-7,5/30 и отличается от него однокорпусным исполнением.

Техническая характеристика модернизированного преобразователя ЗП-7,5/30

Номинальная мощность в кет	7,5
Напряжение холостого хода в в	24—36
К. п. д. агрегата	0,7
cos φ агрегата	0,89
Число оборотов двигателя в минуту	2890
Вес агрегата в кг	250

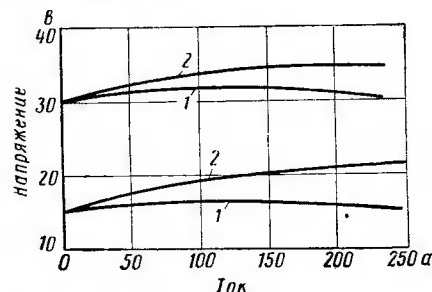


Фиг. 21. Модернизированный преобразователь ЗП-7,5/30 (ЗСП).

Модернизация преобразователя состоит в добавлении серийной обмотки по одному витку на каждый магнитный полюс. Модернизированный преобразователь имеет независимое возбуждение, которое осуществляется от специальной приставки, состоящей из трансформатора и селенового выпрямителя. Напряжение холостого хода регулируется в пределах 14—30 в.

Внешние характеристики преобразователя ЗП-7,5/30 представлены на фиг. 22.

Для дуговой сварки в среде защитных газов плавящимся электродом может быть использован сварочный агрегат ГСР-150, состоящий из генератора ГСР-9000 и приводного двигателя (фиг. 23).



Фиг. 22. Внешние характеристики преобразователя ЗСП.



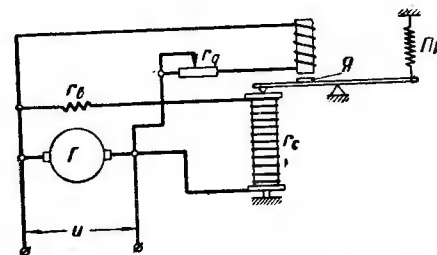
Фиг. 23. Сварочный агрегат ГСР-150.

Техническая характеристика агрегата ГСР-150

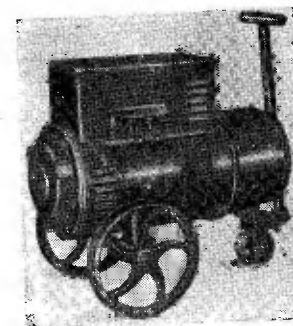
Максимальный сварочный ток в а	150
Напряжение холостого хода в в	14—30
Число оборотов генератора в минуту	5150
Возбуждение	Шунтовое
Охлаждение	Воздушное
Тип электродвигателя	А-42-2
Мощность электродвигателя в кет	4,5
Число оборотов двигателя в минуту	2870
Общий вес источника питания в кг	162

Генератор ГСР-9000 имеет шесть основных и три дополнительных полюса. Внешняя характеристика генератора жесткая. Для поддержания постоянства напряжения применяется угольный регулятор напряжения типа Р-25М [1]. Схема включения регулятора приведена на фиг. 24. Угольный регулятор напряжения состоит из трех основных частей: угольного столба, собранного из отдельных шайб, электромагнита и противодействующего устройства.

При увеличении напряжения на зажимах якоря генератора под влиянием силы притяжения электромагнита, направленной против усилия пружины, угольный столб разжимается. Это приводит к увеличению сопротивления столба и уменьшению тока возбуждения и, следовательно, к ограничению напряжения на зажимах генератора. При уменьшении напряжения на зажимах генератора угольный столб сжимается, что приводит к увеличению напряжения генератора. В установившемся режиме якорь электромагнита находится в равновесии под



Фиг. 24. Электрическая схема включения угольного регулятора напряжения.



Фиг. 25. Сварочный преобразователь ПСГ-350.

действием трех сил: силы электромагнита $F_{ам}$, силы пружины F_n и силы реакции угольного столба F_{p-c} . В установившемся режиме имеет место равенство:

$$F_{ам} - F_n + F_{p-c} = 0.$$

Сварочный преобразователь ПСГ-350 (завод «Электрик»), представленный на фиг. 25, изготавливается в однокорпусном исполнении и имеет следующую техническую характеристику:

Генератор типа ПСГ-350	
Номинальный ток в а при ПВ-65%	350
Номинальное напряжение в в	30
Пределы регулирования тока в а	50—350
Пределы регулирования напряжения в в	15—35

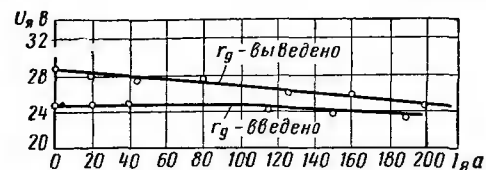
Электродвигатель типа АВ-61-2

Мощность в кет	14
Напряжение в в	220/380
Число оборотов в минуту	2900
К. п. д. преобразователя	0,63

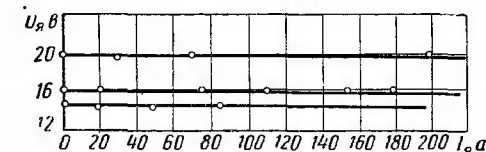
Габаритные размеры преобразователя в мм:

длина	1085
ширина	555
высота	980
Вес преобразователя в кг	400

Генератор имеет четыре главных и четыре дополнительных полюса. На главных полюсах расположены две обмотки: обмотка независимого возбуждения и серийная, подмагничивающая, секционированная на две ступени.



Фиг. 26. Внешние характеристики преобразователя ПСГ-350 при двух витках последовательной обмотки.

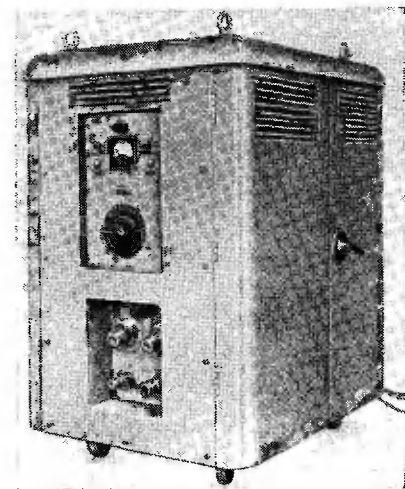


Фиг. 27. Внешняя характеристика преобразователя ПСГ-350 при одном последовательном витке.

ния, выпрямительный блок, пакетный выключатель двигателя и доски зажимов генератора и двигателя расположены в кожухе, помещенном сверху агрегата.

С 1960 г. промышленностью выпускается преобразователь ПСГ-500 с жесткой и возрастающей внешней характеристикой.

Полупроводниковые выпрямители ИПП-120, ИПП-300, ИПП-500, ИПП-1000 (НИАТ) (фиг. 28) имеют жесткую внешнюю характеристику. Они состоят из



Фиг. 28. Полупроводниковый источник питания ИПП-300, ИПП-500.

главного (ТП1) и вольтодобавочного (ВДТ) трансформаторов, автотрансформатора (РН) с плавным регулированием напряжения от 0 до 380 в, выпрямительного блока (ВС1), стабилизирующего дросселя (Др) и пускорегулирующей аппаратуры (фиг. 29 и 30).

Выпрямители ИПП-120 и ИПП-300 имеют две ступени, а ИПП-500 — четыре ступени регулирования сварочного напряжения; регулирование в пределах каждой ступени плавное.

Управление источником питания осуществляется с пульта управления или дистанционно. Для дистанционного регулирования напряжения предназначен выносной тумблер с фиксированным средним положением. Включение источника питания в схему сварочного автомата или полуавтомата производится с помощью штепсельного разъема. Напряжение на дуговом промежутке можно регулировать как при холостом ходе, так и под нагрузкой. В источниках питания ИПП-120, ИПП-300 и ИПП-500 применяется метод безвзвального регулирования напря-

Наклон внешней характеристики изменяется переключением ступеней серийной обмотки возбуждения. Внешние характеристики генератора показаны на фиг. 26 и 27.

Питание обмотки независимого возбуждения генератора осуществляется от сети переменного тока через стабилизатор напряжения и селеновый выпрямитель.

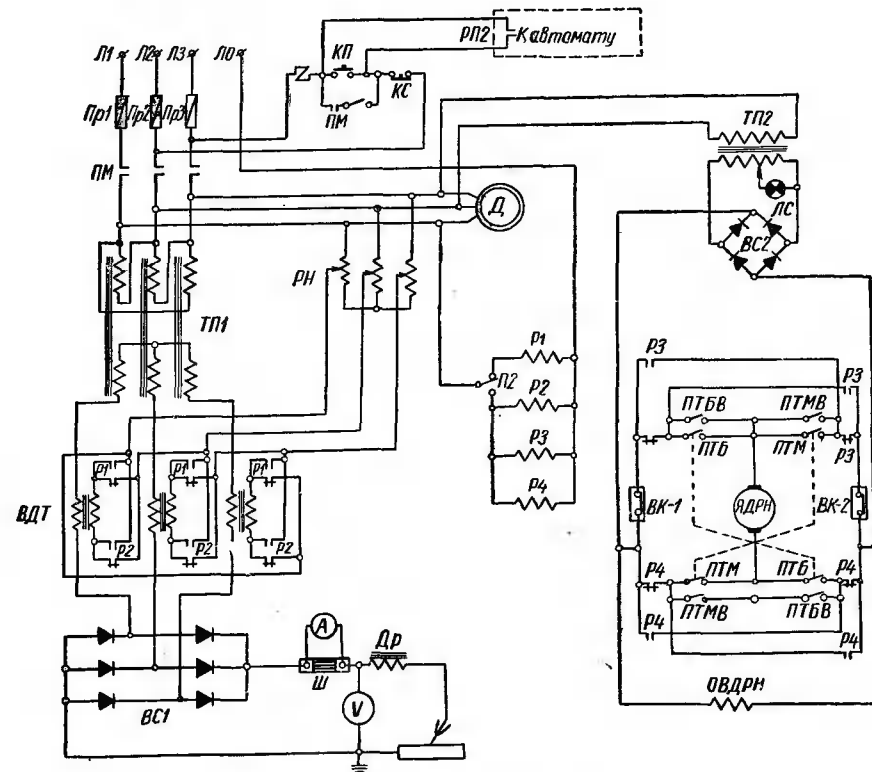
Для улучшения условий возбуждения дуги сварочный генератор выполнен с малой индуктивностью цепи якоря.

Напряжение генератора регулируется при помощи реостата r_g током в обмотке независимого возбуждения.

Регулирующий реостат генератора, стабилизатор напряжения, выключатель двигателя и

вычитаются. Так как вольтодобавочный трансформатор питается от автотрансформатора с плавным регулированием напряжения, то и регулирование выходного напряжения плавное.

Конструкция выпрямительного блока с встроенным вентилятором обеспечивает интенсивное охлаждение воздухом селеновых элементов. Для уменьше-

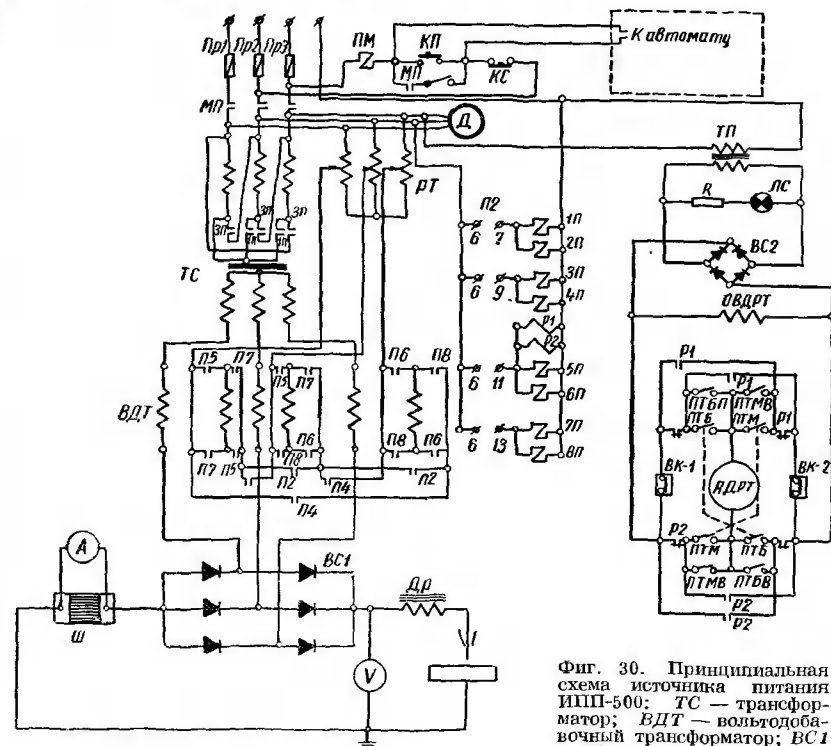


Фиг. 29. Принципиальная схема источников питания ИПП-120 и ИПП-300: ТП1 и ТП2 — трансформаторы понижающие; ВДТ — вольтодобавочный трансформатор; ВС1 и ВС2 — выпрямители селеновые; РН — регулятор напряжения; ОВДРН — обмотка возбуждения двигателя регулятора напряжения; ЯДРН — якорь двигателя регулятора напряжения; ПТМ — переключатель «ток меньше»; ПТМВ — переключатель «ток меньше выносной»; ПТБ — переключатель «ток больше»; ПТБВ — переключатель «ток больше выносной»; ВК1 и ВК2 — выключатели конечные.

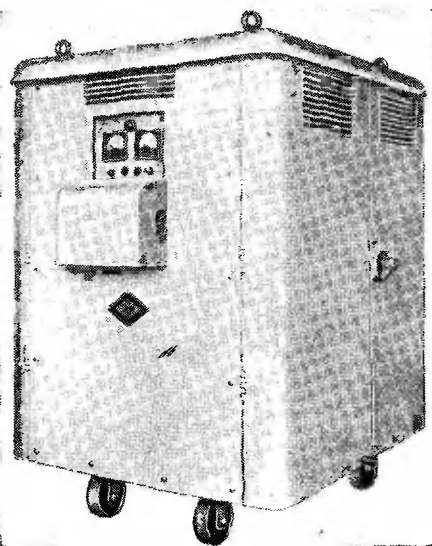
ния разбрызгивания металла в процессе сварки в сварочную цепь включен стабилизирующий дроссель.

Выпрямитель ИПП-1000 (фиг. 31 и 32) состоит из трехфазного автотрансформатора (РН) с плавным регулированием напряжения от 0 до 380 в, силового трансформатора (ТС), выпрямительного блока (ВС) и пускорегулирующей аппаратуры. Управление источником питания можно производить как со щитка управления, так и дистанционно.

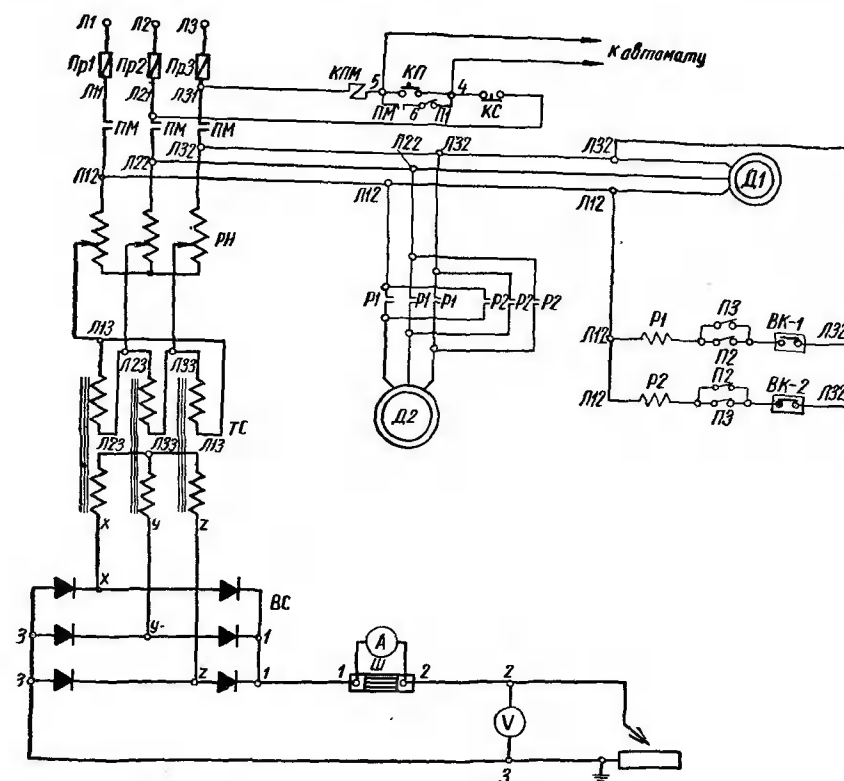
Технические характеристики полупроводниковых выпрямителей типа ИПП приведены в табл. 1.



Фиг. 30. Принципиальная схема источника питания ИПП-500: ТС — трансформатор; ВДТ — вольтодобавочный трансформатор; ВС1 и ВС2 — выпрямители селеновые; РТ — регулятор тока; ТП — трансформатор понижающий; ОБДРТ — обмотка возбуждения двигателя регулятора тока; ЯДРТ — якоря двигателя регулятора тока; ПТМ — переключатель «ток меньше»; ПТМВ — переключатель «ток меньше» выносной; ПТВ — переключатель «ток больше»; ПТВВ — переключатель «ток больше» выносной; ВК1 и ВК2 — выключатели конечные; Др — дроссель.



Фиг. 31. Полупроводниковый выпрямитель ИПП-1000.



Фиг. 32. Принципиальная схема выпрямителя ИПП-1000: РН — регулятор напряжения; ТС — трансформатор сварочный; ВС — выпрямитель селеновый; Д1 — двигатель вентилятора; Д2 — двигатель регулятора напряжения; ВК1 и ВК2 — выключатели конечные.

Горелки для ручной сварки неплавящимся электродом

Горелки предназначены для закрепления в них вольфрамового электрода, подведения к нему тока и для формирования и направления струи защитного газа. Горелки подразделяются на малые, средние и тяжелые с воздушным и водяным охлаждением в зависимости от величины сварочного тока, на который они рассчитаны.

Технические характеристики горелок для ручной аргоно-дуговой сварки приведены в табл. 2.

Горелка АР-3 (НИАТ) предназначена для сварки током до 180 а. Конструктивная схема горелки показана на фиг. 33. Короткий вольфрамовый электрод закреплен в канале с помощью наконечника, навёртываемого на корпус горелки. Корпус горелки изолирован асбестовым шнуром, пропитанным бакелитовым лаком. Рукоятка закреплена на корпусе горелки. Ток и защитный газ подводятся по кабелю, закреплённому в корпусе горелки и рукоятке. Охлаждение воздушное.

Горелка АР-7Б (НИАТ) предназначена для сварки током до 400 а. Конструктивная схема горелки показана на фиг. 34. Вольфрамовый электрод закрепляется в канале с помощью гайки. Ток подводится к электроду по гибкому кабелю. Газ поступает по трубке к регулировочному вентилю, а затем по внутрен-

1. Технические характеристики сварочных выпрямителей типа ИПП

Характеристика	Тип выпрямителя			
	ИПП-120	ИПП-300	ИПП-500	ИПП-1000
Напряжение питающей сети в в	380	380	380	380
Номинальный сварочный ток в а при ПВ-65%	120	300	500	1000
Максимальное напряжение холостого хода в в	25	40	50	66
Пределы регулирования напряжения в в:				
I ступень	14—20	15—28	17—23	0—66
II ступень	20—25	28—40	23—29	
III ступень			29—40	
IV ступень			40—50	
Регулирование сварочного тока	Плавное в пределах каждой ступени			
Минимальный ток устойчивого горения дуги в а	40	40	50	40
к. п. д.	0,73	0,75	0,78	0,80
.	0,94	0,90	0,91	0,92
Максимальная потребляемая мощность в кет	3	11	27	60
Потери холостого хода в кет	0,5	0,7	1,0	2,0
Габаритные размеры в мм:				
длина	800	956	956	925
ширина	640	700	700	925
высота	915	1045	1045	1300
Вес в кг	175	280	440	780

ней трубке к каналу головки. Сопло изолировано от головки и корпуса горелки асбоцементной втулкой. Охлаждение горелки водяное.

Горелка АР-9 (фиг. 35), рассчитанная на токи до 350—400 а, представляет собой модернизированную горелку АР-7Б. В отличие от последней в горелке АР-9 регулировочный вентиль для газа заменен клапаном; кроме того, для предохранения выступающего верхнего конца вольфрамового электрода от замыкания с изделием горелка снабжена колпачком, изготовленным из неэлектропроводного материала.

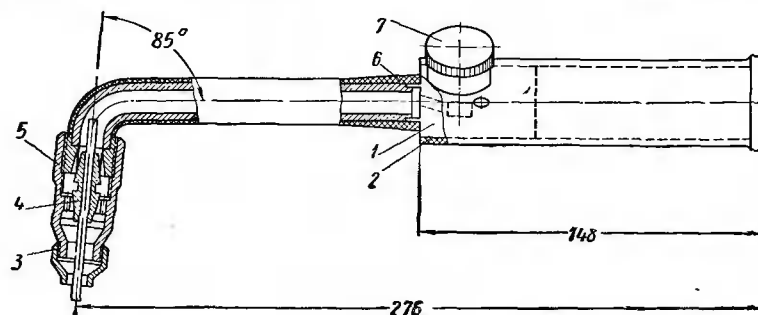
Горелки АР-10 (НИАТ) показаны на фиг. 36.

Комплект состоит из трех горелок: малой, средней и большой.

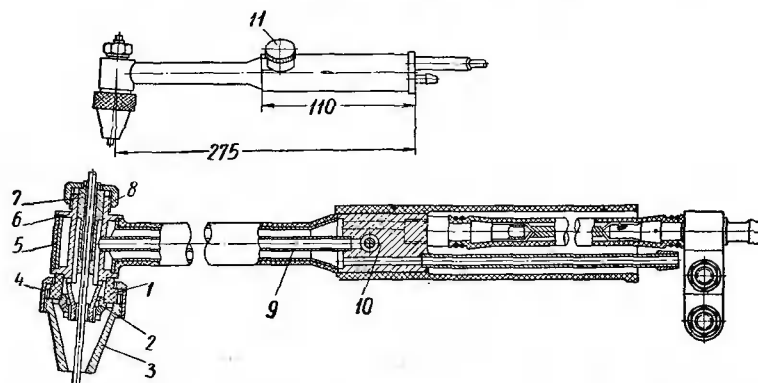
Малая горелка № 1 (фиг. 37) предназначена для сварки током до 120 а и не имеет водяного охлаждения. Горелка снабжена керамическими соплами.

Средняя горелка № 2 и большая № 3 (фиг. 38) предназначены соответственно для сварки током до 200 и 400 а. Обе горелки имеют водяное охлаждение.

Горелка состоит из корпуса, сопла, наконечника, сменных цанг и кабеля для подвода тока, газа и воды. Для сварки током до 160 а горелки снабжены



Фиг. 33. Конструктивная схема горелки АР-3: 1 — корпус; 2 — рукоятка; 3 — сопло; 4 — цанга; 5 — наконечник; 6 — асбестовый шнур; 7 — вентиль для регулирования расхода газа.



Фиг. 34. Конструктивная схема горелки АР-7Б: 1 — асбоцементная втулка; 2 — гайка; 3 — сопло; 4 — гайка; 5 — асбестовый шнур; 6 — корпус головки; 7 — цанга; 8 — накидная гайка; 9 — внутренняя трубка для подачи газа; 10 — корпус; 11 — регулировочный вентиль.

2. Технические характеристики горелок для ручной аргоно-дуговой сварки

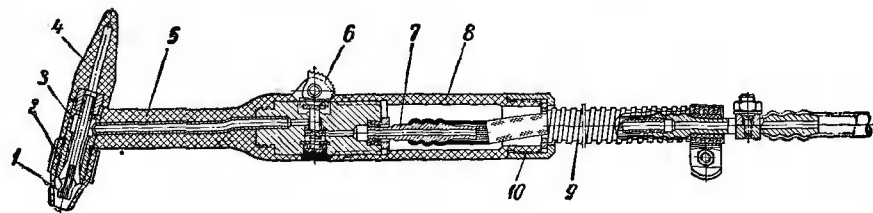
Тип горелки	Допускаемый ток в а	Диаметр электрода в мм	Вес в кг
АР-3	180	1,5—3	0,50
АР-7Б	400	1,5—6	0,45
АР-9	400	1—6	0,45
Комплект АР-10 № 1	120	1—3	0,35
№ 2	200	2—4	0,40
№ 3	400	3—8	0,50
ЭЗР-1-54	200	1,5—2,5	0,635
ЭЗР-2-54	300	5,5—8,5	0,840
ЭЗР-1-56	200	2—4	0,700
ЭЗР-1-56 с уменьшенной головкой	200	2—4	0,650
ЭЗР-1-56 с укороченной головкой	150	2—4	0,560
ГРАД-200	250	2—4	0,20
ГРАД-400	400	3—7	0,40



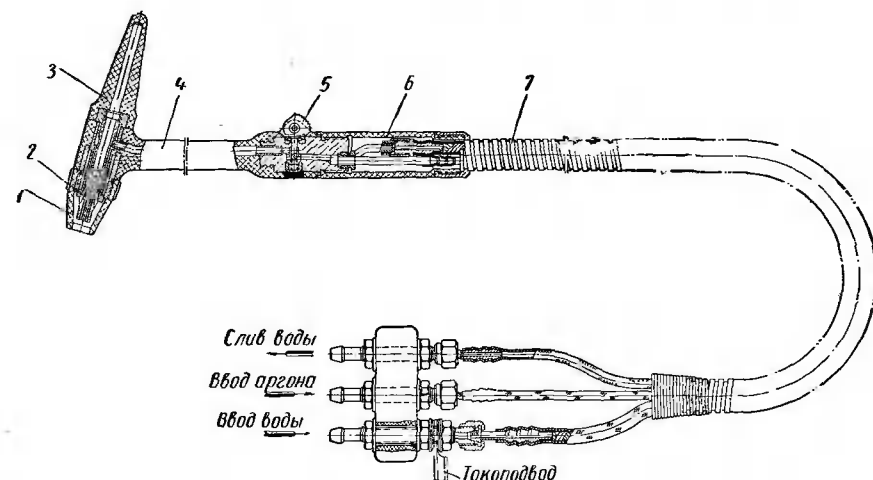
Фиг. 35. Горелка AP-9.



Фиг. 36. Горелка AP-10.



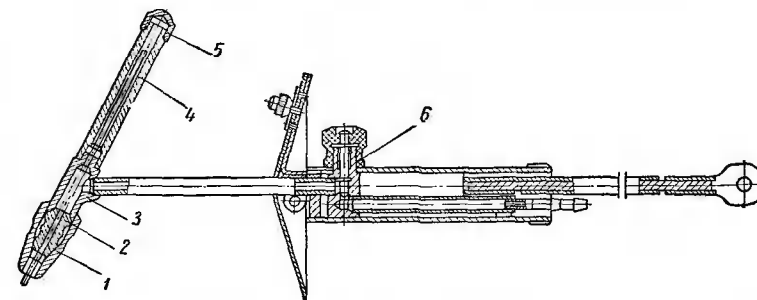
Фиг. 37. Конструктивная схема малой горелки № 1 AP-10: 1 — цанга; 2 — керамическое сопло; 3 — головка; 4 — колпачок; 5 — пластмассовый корпус; 6 — газовый клапан; 7 — ниппель; 8 — рукоятка; 9 — кабель для подвода тока и газа; 10 — гайка.



Фиг. 38. Конструктивная схема горелки № 3 AP-10: 1 — керамическое сопло; 2 — цанга; 3 — колпачок; 4 — пластмассовый корпус; 5 — газовый клапан; 6 — рукоятка; 7 — кабель.

керамическими соплами, свыше 160 а — изолированными металлическими соплами. В корпусе горелки смонтирован газовый клапан. Ток подводится к электроду через ниппель по проводу, проложенному внутри шланга.

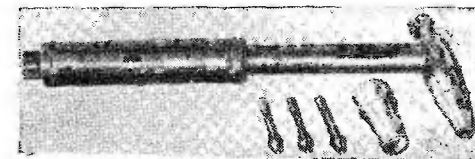
Горелки ЭЗР-1-54 и ЭЗР-2-54 (ВНИИАвтоген) (фиг. 39) отличаются друг от друга размерами; имеют сменные цанги и сопла. Сопла могут быть металлическими или керамическими (кристаллокорунд). Для предохранения руки сварщика от ожога излучением дуги служит съемный щиток. Горелки имеют вентиль для регулирования расхода газа при давлении на выходе редуктора 0,1; 0,2 и 0,3 атм. Отсчет расхода производится с помощью стрелки-указателя на махо-



Фиг. 39. Конструктивная схема горелки (электрододержателя) ЭЗР-1-54: 1 — сопло; 2 — цанга; 3 — корпус; 4 — трубка; 5 — колпачок; 6 — регулировочный вентиль.

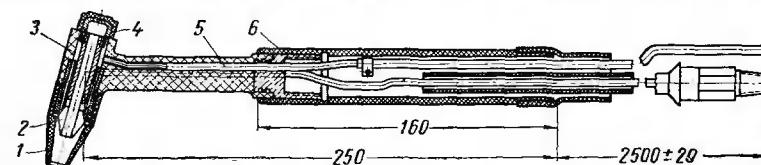
вичке и делений на муфте электрододержателя. Горелка ЭЗР-1-56 дополнительно оснащается сменными головками (уменьшенной и укороченной) для сварки в труднодоступных местах. Охлаждение горелок воздушное.

Горелки ГРАД-200 и ГРАД-400. Общий вид горелки ГРАД-200 показан на фиг. 40. Особенностью конструкции горелок является паяный корпус из алюминиевого сплава АВ, за счет чего достигается их малый вес. Сопла керамические из кристаллокорунда тех же размеров, что и в горелках для аппарата УДАР-300. Охлаждение горелок водяное. Корпус изолирован асбестовым шнуром, пропитанным бакелитовым лаком (при штучном изготовлении горелок) или диэлектрической массой путем опрессовки (при промышленном изготовлении).



Фиг. 40. Общий вид горелки ГРАД-200 с комплектом сопел и цанг.

Горелки для аппарата УДАР-300. Малая горелка (фиг. 41) предназначена для сварки током до 200 а электродами диаметром от 2 до 4 мм. Вес горелки без проводов 0,42 кг. Электрод закрепляется в соответствующей его диаметру цанге. Ток подводится к электроду через ниппель по проводу, проложенному внутри шланга с охлаждающей водой, и по латунной трубке, служащей одно-



Фиг. 41. Конструктивная схема малой горелки для установки УДАР-300: 1 — сопло; 2 — цанга; 3 — головка; 4 — колпачок; 5 — пластмассовый корпус; 6 — рукоятка.

временно входом воды для охлаждения головки горелки. Защитный газ подается по резиновой трубке и через прорези цанги в сопло.

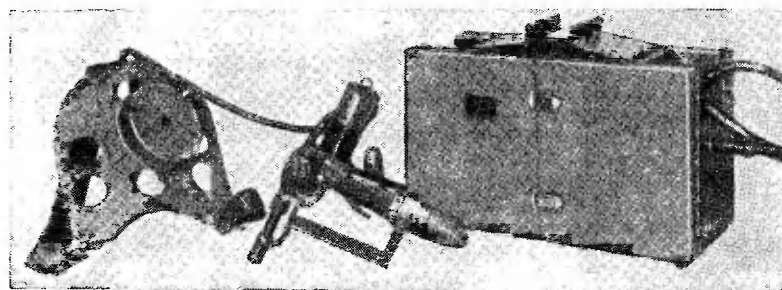
Большая горелка предназначена для сварки током до 400 а электродами диаметром от 3 до 6 мм. Конструктивное исполнение большой горелки и подключение к электрической и газовой сети аналогичны малой горелке. Вес большой горелки без проводов 0,87 кг.

Большая и малая горелки снабжены комплектом керамических сопел.

Полуавтоматы для сварки плавящимся электродом

Полуавтомат ПШПА-6 (НИАТ) является первой промышленной моделью и, как показывает опыт эксплуатации, обеспечивает стабильный процесс сварки мягкими ненагартованными проволоками. Полуавтомат предназначен для сварки плавящимся электродом углеродистых, нержавеющей и жаропрочных сталей и алюминиевых сплавов.

Сварка осуществляется с помощью горелки-пистолета. Механизм подачи электродной проволоки, состоящий из червячной пары, приводного и прижимного роликов, смонтирован в корпусе горелки. Червячная пара связана с электродводителем, расположенным в шкафу электроаппаратуры, посредством гибкого валика. В рукоятке горелки смонтирована кнопка для включения подачи аргона, замыкания линейного контактора сварочной цепи и пуска механизма подачи электродной проволоки. Горелка снабжена комплектом сменных



Фиг. 42. Полуавтомат ПШП-9.

контактных наконечников для сварки проволокой диаметром от 0,8 до 2,0 мм. Охлаждение горелки водяное.

Шкаф электроаппаратуры полуавтомата переносный, в виде чемодана, внутри которого смонтирована электроаппаратура для управления циклом сварки, а также газовый клапан, редуктор с электродвигателем постоянного тока привода гибкого валика и катушка с электродной проволокой.

Скорость подачи электродной проволоки независима от напряжения дуги. Изменение скорости подачи электродной проволоки ступенчатое (16 ступеней регулирования).

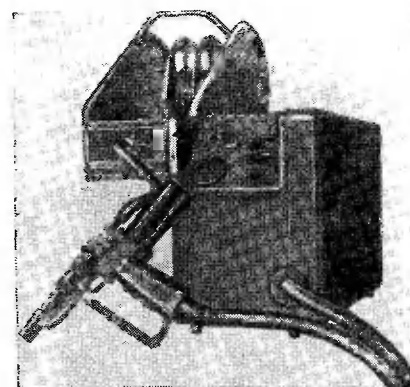
Техническая характеристика полуавтомата ПШПА-6:

Максимальный сварочный ток в а	300
Скорость подачи электродной проволоки в м/час	120—870
Диаметр электродной проволоки в мм	0,8—2
Вес горелки-пистолета в кг	0,9
Вес полуавтомата в кг	30

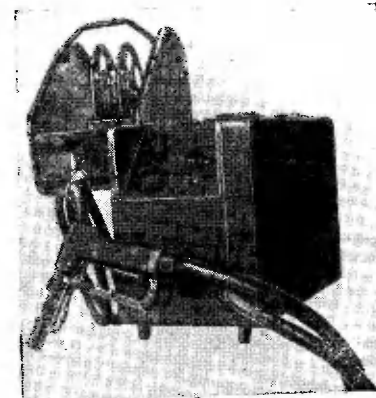
Полуавтомат применяется в основном для сварки алюминиевых сплавов. При сварке током до 250 а в качестве источников питания рекомендуется применять преобразователи постоянного тока либо выпрямители с жесткой или возрастающей внешней характеристикой.

Полуавтомат ПШП-9 (НИАТ) предназначен для сварки плавящимся электродом сталей и алюминиевых сплавов.

Полуавтомат (фиг. 42) состоит из горелки-пистолета, раппа с катушкой для электродной проволоки и шкафа электроаппаратуры. Подача электродной проволоки осуществляется от электродвигателя, установленного на корпусе сварочного пистолета. От катушки к пистолету проволока поступает по гибкому шлангу. Пистолет снабжен комплектом сопел и сменных наконечников для



Фиг. 43. Полуавтомат ПШП-10



Фиг. 44. Полуавтомат ПШП-11.

сварки проволокой диаметром от 1 до 2,5 мм. Регулирование скорости подачи проволоки плавное. Охлаждение пистолета водяное.

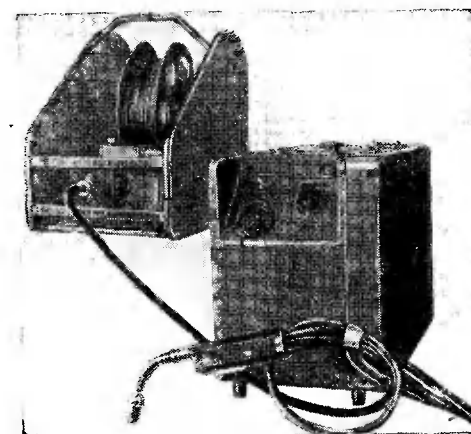
Контрольные приборы и электроаппаратура полуавтомата размещены в переносном шкафу. Со шкафом и источником тока полуавтомат соединен гибкими кабелями. В качестве источников тока рекомендуется применять преобразователи постоянного тока или выпрямители с жесткой и возрастающей внешней характеристикой.

Технические данные полуавтомата ПШП-9:

Максимальный сварочный ток в а	300
Скорость подачи электродной проволоки в м/час	100—500
Диаметр электродной проволоки в мм	1,0—2,5
Вес полуавтомата в кг	26
Вес шкафа электроаппаратуры в кг	24,5

Полуавтоматы ПШП-10, ПШП-11 и ПШП-13 (НИАТ)

представляют собой конструктивное развитие аппаратов ПШПА-6 и ПШП-9. У полуавтомата ПШП-10 (фиг. 43) катушка с проволокой смонтирована не в раппе, а на кронштейне; увеличены нижний и верхний пределы скорости подачи электродной проволоки. У полуавтоматов ПШП-11 и ПШП-13 (фиг. 44 и 45) электродвигатель и редуктор механизма подачи проволоки вынесены на кронштейн с катушкой. ПШП-11 отличается тем, что не имеет приводного ролика в корпусе горелки. Подача проволоки осуществляется роликами, установленными на кронштейне в начале гибкого шланга. Расширен диапазон скоростей подачи проволоки.



Фиг. 45. Полуавтомат ПШП-13.

Полуавтомат ПШП-13 в основном предназначен для сварки сталей. В нем изменена конструкция горелки. Механизм подачи проволоки — толкающий; размещен на кронштейне с катушкой для электродной проволоки. Технические характеристики полуавтоматов приведены в табл. 3.

3. Технические характеристики полуавтоматов типа ПШП

Характеристика	Тип полуавтомата		
	ПШП-10	ПШП-11	ПШП-13
Максимальный сварочный ток в а	300	300	120
Диаметр электродной проволоки в мм	1—2,5	1,6—2,5	0,8—1,2
Скорость подачи электродной проволоки в м/час	150—650	100—700	100—700
Вес горелки в кг	1,7	0,7	0,4
Вес катушки с кронштейном в кг	19	—	—
Вес подающего механизма в кг . .	—	23	23
Вес шкафа электроаппаратуры в кг	23,6	23,6	23,6
Общий вес полуавтомата в кг . . .	44,3	47,3	47

Полуавтоматы А-547 и А-607 (ИЭС им. Е. О. Патона) предназначены для дуговой сварки сталей плавящимся электродом в среде углекислого газа. Сварка производится постоянным током до 200 а. Диаметр электродной проволоки от 0,8 до 1,2 мм. Скорость подачи электродной проволоки 100—250 м/час. Полуавтомат применяется для сварки материалов толщиной до 3 мм. В качестве источников питания сварочной дуги рекомендуется применять преобразователи и выпрямители с жесткой или возрастающей внешней характеристикой. Подача электродной проволоки осуществляется по гибкому шлангу способом толкания.

Полуавтомат А-537 (ИЭС им. Е. О. Патона) предназначен для дуговой сварки сталей плавящимся электродом в среде углекислого газа. Сварка производится постоянным током. Диаметр электродной проволоки от 1,6 до 2,0 мм. Скорость подачи электродной проволоки 80—600 м/час. Сварочный ток до 600 а. Полуавтомат применяется для сварки сталей толщиной свыше 3 мм. Питание сварочной дуги производится от источника постоянного тока с возрастающей или жесткой внешней характеристикой.

Полуавтомат А-609 (ИЭС им. Е. О. Патона) предназначен для аргоно-дуговой сварки алюминиевых сплавов плавящимся электродом током до 500 а. Подача электродной проволоки осуществляется от электропривода, встроенного в рукоятку сварочной горелки.

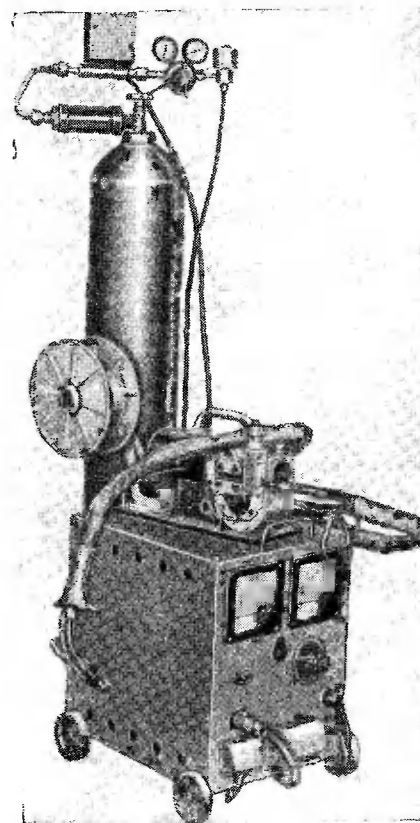
Полуавтомат типа ПГШ-3 (ЦНИИТМАШ) предназначен для сварки в среде углекислого газа (постоянным током) плавящимся электродом конструкций из малоуглеродистых и легированных сталей, а также для заварки дефектов в стальных отливках.

Полуавтомат (фиг. 46) состоит из механизма подачи электродной проволоки, аппаратного шкафа, сварочной горелки с гибкими шлангами; аппаратуры для осушки, подогрева, редуцирования и дистанционного включения подачи углекислого газа; кассет двух размеров для катушек электродной проволоки по ГОСТу 2246-60. Подача проволоки возможна также с бухты большого размера. Полуавтомат ПГШ-3 рассчитан на работу со сварочным преобразователем ПС-500.

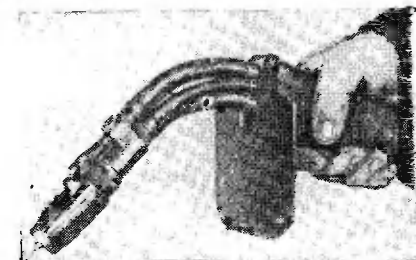
Подача электродной проволоки осуществляется двумя парами приводных роликов без насечки. Вращение роликов механизма подачи производится при помощи электродвигателя постоянного тока, который питается от германиевых выпрямителей, подключенных к регулируемому автотрансформатору.

В аппаратном шкафу полуавтомата размещены контактор для подключения сварочного напряжения к горелке, реле тока, промежуточное реле, понижающий трансформатор напряжения, автотрансформатор регулирования скорости подачи проволоки, панель с германиевыми выпрямителями, амперметр, вольтметр, шунт, предохранители и другие приборы электрической схемы полуавтомата.

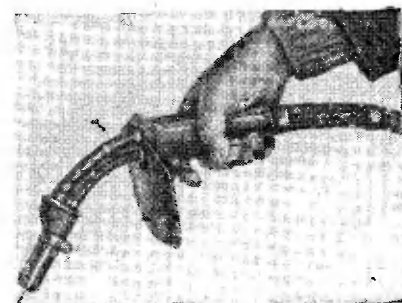
Сварочная горелка (фиг. 47) с водяным охлаждением токоподводящего кабеля и сопла предназначается для сварки на токах до 500 а, а горелка с газо-



Фиг. 46. Полуавтомат ПГШ-3.



Фиг. 47. Сварочная горелка с водяным охлаждением.



Фиг. 48. Сварочная горелка с газовым охлаждением.

вым охлаждением (фиг. 48) — для сварки на токах до 350 а. Длина гибкого шланга 3—3,5 м.

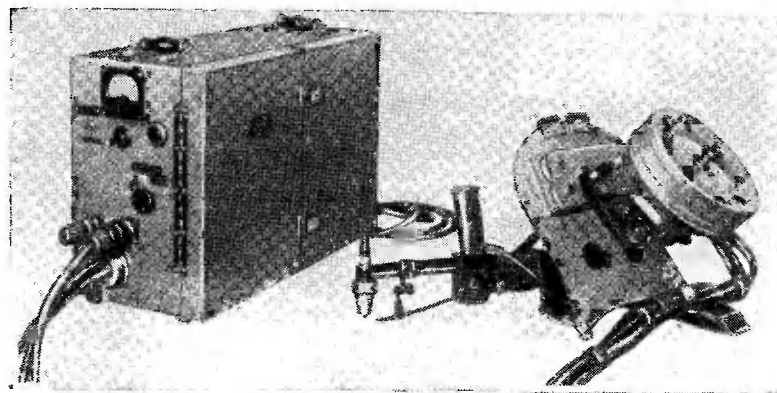
Электрическая схема полуавтомата ПГШ-3 обеспечивает подачу проволоки вхолостую на заправочной скорости, включение сварочного напряжения и предварительную подачу углекислого газа для продувки магистрали, автоматическую подачу проволоки с рабочей скоростью одновременно с возбуждением сварочной дуги и остановку механизма подачи с торможением двигателя при прекращении сварки, обдув углекислым газом конечного участка шва и выключение сварочного напряжения и подачи газа.

Технические данные полуавтомата ППШ-3:

Диаметр электродной проволоки в мм	1,6—2,0
Скорость подачи электродной проволоки в м/мин	3—8
Сварочный ток в а	250—500
Напряжение питающей сети в в	220 или 380
Расход газа в л/час	30—60
Вес электродной проволоки в катушках в кг	12 и 20
Коэффициент использования установки	0,65—0,75
Вес горелки с водяным охлаждением в кг	0,55
Вес горелки с газовым охлаждением в кг	0,44
Вес механизма подачи в кг	19
Габаритные размеры аппаратного шкафа в мм:	
длина	490
ширина	380
высота	490
Вес аппаратного шкафа в кг	56

Полуавтоматы для сварки неплавящимся (вольфрамовым) электродом

Полуавтомат ПШВ-1 (НИАТ) предназначен для сварки вольфрамовым электродом нержавеющей и жаропрочных сталей, титана, алюминиевых сплавов и других металлов постоянным и переменным током. Полуавтомат имеет два исполнения: для сварки постоянным током — ПШВ-1, для сварки переменным током — ПШВ-1М.



Фиг. 49. Полуавтомат ПШВ-1.

Полуавтомат (фиг. 49) состоит из горелки, ранца и переносного шкафа. На ранце установлены катушка для присадочной проволоки и электродвигатель с редуктором; в шкафу размещены контрольные приборы и электроаппаратура. Привод подающих роликов осуществляется с помощью гибкого вала. От катушки к горелке проволока поступает по гибкому шлангу.

Электрическая схема полуавтомата обеспечивает плавное регулирование скорости подачи присадочной проволоки. Со шкафом электроаппаратуры и источником тока полуавтомат соединен гибкими кабелями. В процессе сварки горелка опирается на присадочную проволоку, чем обеспечивается равномерная скорость сварки. Горелка полуавтомата снабжена комплектом сопел и сменных цанг. Охлаждение горелки водяное.

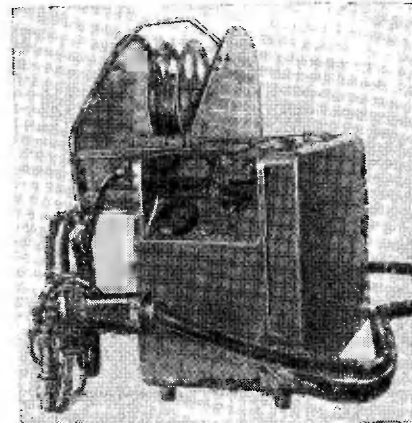
Техническая характеристика полуавтомата ПШВ-1:

Максимальный сварочный ток в а	400
Скорость подачи присадочной проволоки в м/час	5—50
Диаметр присадочной проволоки в мм	1,0—2,0
Диаметр вольфрамового электрода в мм	2—6
Вес горелки в кг	0,8
Вес ранца в кг	3
Вес полуавтомата в комплекте в кг	25

Полуавтомат ПШВ-3 (НИАТ) предназначен для сварки вольфрамовым электродом нержавеющей и жаропрочных сталей, алюминиевых сплавов и других металлов.

Полуавтомат позволяет выполнять сварку постоянным и переменным током.

Полуавтомат (фиг. 50) состоит из горелки-пистолета, подающего механизма с катушкой для присадочной проволоки и шкафа электроаппаратуры. Подача присадочной проволоки осуществляется способом толкания по гибкому шлангу. Катушка для присадочной проволоки установлена в подающем механизме. Электрическая схема полуавтомата обеспечивает плавное регулирование скорости подачи присадочной проволоки. Контрольные приборы и электроаппаратура полуавтомата размещены в переносном шкафу. Со шкафом электроаппаратуры и источником тока полуавтомат соединен гибкими кабелями. В процессе сварки горелка-пистолет опирается на механически подаваемую присадочную проволоку, чем обеспечивается равномерная скорость сварки. Сварочный пистолет полуавтомата снабжен комплектом сопел и сменных цанг для сварки вольфрамовым электродом диаметром 2; 3; 4; 5 и 6 мм. Охлаждение горелки-пистолета водяное.



Фиг. 50. Полуавтомат ПШВ-3.

Технические данные полуавтомата ПШВ-3

Максимальный сварочный ток в а	300
Скорость подачи присадочной проволоки в м/час	10—80
Диаметр присадочной проволоки в мм	1,0—2,5
Диаметр вольфрамового электрода в мм	2—6
Вес сварочного пистолета в кг	1,13
Вес подающего механизма в кг	23
Вес полуавтомата в кг	48,6

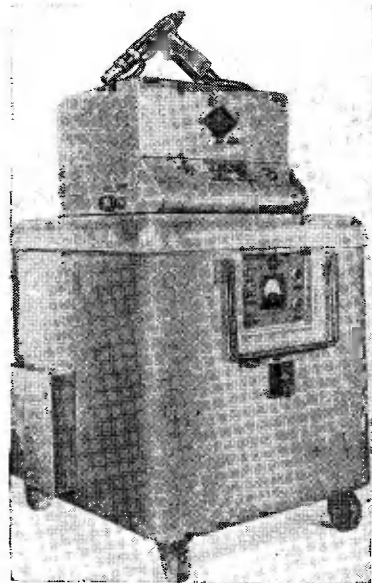
Полуавтомат А-533 (ИЭС им. Е. О. Патона) предназначен для сварки сталей вольфрамовым электродом. Сварка производится с двойной газовой защитой: вольфрамовый электрод омывается струей аргона, а наружная часть струи образуется из углекислого газа. Сварочный ток до 150 а. Диаметр присадочной проволоки от 1,2 до 1,6 мм. Скорость подачи присадочной проволоки 13—40 м/час.

Установка АДТС-5 (НИАТ) предназначена для точечной аргоно-дуговой сварки сталей, сплавов титана и других металлов. Алюминий и магний этим способом не свариваются. Установка АДТС-5 (фиг. 51) состоит из горелки-пистолета, пульта управления, источника сварочного тока и газового баллона

с редуктором. Электрическая схема установки предусматривает автоматический процесс сварки. Дуга возбуждается с помощью осциллятора. Во избежание образования трещин в сварной точке гашение дуги производится путем уменьшения величины сварочного тока до минимального значения.

Пистолет перемещается вдоль шва вручную. Сварку можно выполнять во всех пространственных положениях.

Большим преимуществом данного способа является отсутствие необходимости доступа к обратной стороне сварочного соединения.



Фиг. 51. Установка АДТС-5 для точечной аргоно-дуговой сварки

Техническая характеристика установки АДТС-5:

Толщина свариваемого материала в мм:	
верхнего листа	2,5—3 (не более)
нижнего листа	Любая
Сварочный ток в а	До 300
Диаметр вольфрамового электрода в мм	2—5
Габаритные размеры сварочного пистолета в мм	165×40×235
Вес пистолета в кг	0,85

Автоматы для дуговой сварки в среде защитных газов

Автомат АРК-1 (НИАТ) радиально-консольного типа предназначен для автоматической дуговой сварки углеродистых, нержавеющей и жаропрочных сталей, титана, алюминиевых и магниевых сплавов плавящимся и вольфрамовым электродом. Автомат позволяет выполнять сварку продольных и кольцевых швов постоянным и переменным током.

При сварке плавящимся электродом электродная проволока подается с постоянной скоростью, не зависящей от напряжения дуги.

Автомат (фиг. 52) состоит из самоходной сварочной головки, консоли, колонны, основания с фундаментной плитой и шкафа электроаппаратуры. Каретка головки перемещается на консоли по зубчатой рейке и с помощью редуктора обеспечивает заданную скорость сварки. На каретке смонтирован пульт управления автоматом. Консоль автомата вместе с головкой, кроме вертикального перемещения, может поворачиваться вокруг оси колонны на 360°, что позволяет обслуживать несколько рабочих мест, расположенных вокруг колонны автомата.

Привод каретки сварочной головки и подачи проволоки — от электродвигателей постоянного тока. Электрической схемой автомата обеспечивается плавное регулирование скорости перемещения сварочной головки (скорости сварки) и подачи проволоки. Со шкафом электроаппаратуры и источниками тока автомат соединен гибкими кабелями. Автомат имеет сменные горелки для сварки вольфрамовым и плавящимся электродом.

Сварочные горелки автомата снабжены комплектом сменных цанг, контактных наконечников и сопел. Охлаждение горелок водяное.

Техническая характеристика автомата АРК-1:

Толщина свариваемого материала в мм	0,8 и более
Скорость сварки в м/час	10—400
Род тока	Переменный и постоянный

Максимальный сварочный ток в а:

переменный	400
постоянный	500
Скорость подачи электродной (присадочной) проволоки в м/час	10—560
Диаметр электродной (присадочной) проволоки в мм	1—2,5
Диаметр вольфрамового электрода в мм	1—6
Максимальные габариты свариваемых изделий в мм:	
по диаметру	До 1500
по длине	До 1800
Длина рабочего хода каретки в мм	1800
Вылет консоли от центра колонны в мм	3000
Поворот консоли вокруг оси	360°
Расстояние от основания автомата до горелки в мм	500—1500
Номинальное напряжение питающей сети в в	220 и 380 с нулем
Расход охлаждающей воды в л/мин	До 8
Установочные перемещения сварочной головки в мм:	
поперек шва	±30
по вертикали	±25
угол наклона сварочной головки относительно ее оси по направлению шва в град.	±10
поперечный угол наклона горелки в град.	20
Габаритные размеры автомата в мм:	
длина	3800
ширина	1400
высота	3100
Вес в кг	2620
Габаритные размеры шкафа электроаппаратуры в мм:	
длина	620
ширина	570
высота	1500
Вес шкафа в кг	217

Автомат АДСП-1 (НИАТ) тракторного типа предназначен для автоматической сварки плавящимся электродом углеродистых, нержавеющей и жаропрочных сталей, алюминиевых сплавов и других материалов. Автомат позволяет выполнять сварку продольных и кольцевых швов постоянным током.

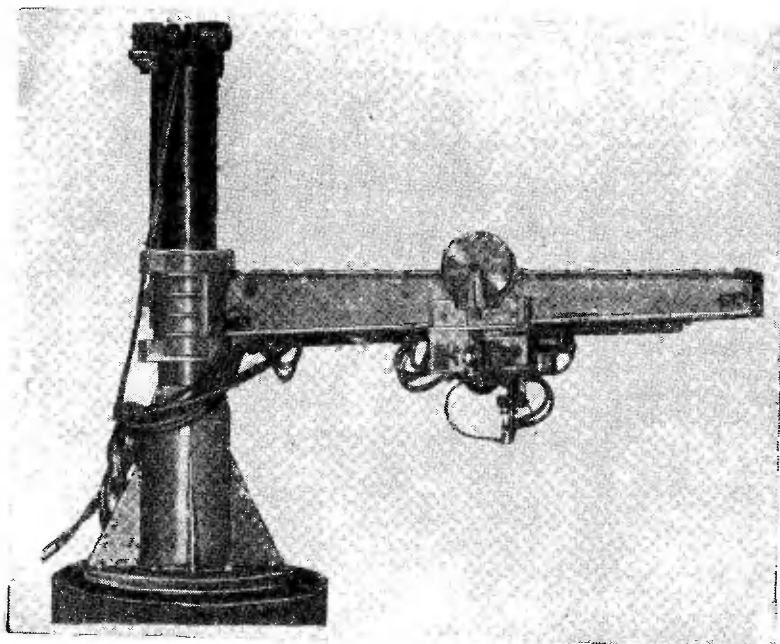
Автомат (фиг. 53) состоит из самоходной тележки, на которой установлены головка и пульт управления, и шкафа электроаппаратуры. Скорость подачи электродной проволоки независима от напряжения дуги. Привод тележки и редуктора подачи электродной проволоки от двигателей постоянного тока. Электрической схемой автомата обеспечивается плавное регулирование скорости подачи электродной проволоки и скорости перемещения автомата (скорости сварки). Со шкафом электроаппаратуры и источником тока автомат соединен гибкими кабелями.

Горелка автомата снабжена комплектом сменных сопел и наконечников для сварки проволокой диаметром 1,0; 1,2; 1,6; 2,0; 2,5 и 3,0 мм. Охлаждение горелки водяное.

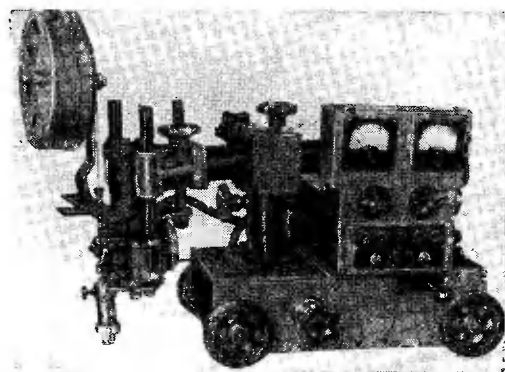
Автомат перемещается по направляющим установленным на сварочном стенде.

Автомат АДСП-2 (фиг. 54) представляет собой модернизированный АДСП-1 и предназначен для тех же целей. Технические характеристики автоматов приведены в табл. 4.

Установка УДПГ-300 (ВНИИЭСО) предназначена для сварки сталей плавящимся электродом. В установку (фиг. 55) входят сварочный трактор, шкаф электроаппаратуры и источник тока. Трактор состоит из каретки (тележки), головки и механизма подачи электродной проволоки; перемещается на четырех обрешеченных колесах по направляющим. Оба ходовых вала тележки являются



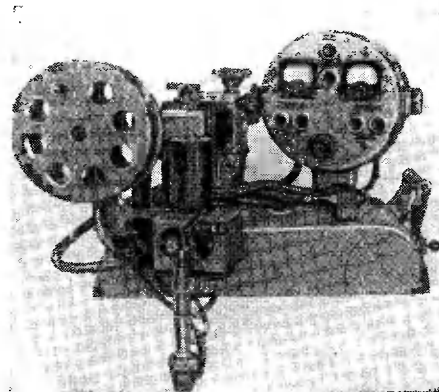
Фиг. 52. Автомат АРК-1.



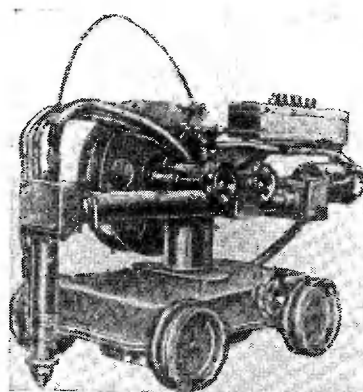
Фиг. 53. Автомат АДСП-1

4. Технические характеристики АДСП-1 и АДСП-2

Характеристика	Тип автомата	
	АДСП-1	АДСП-2
Толщина свариваемого материала в мм: сталей алюминиевых сплавов	От 0,8 и более От 1,5 и более	
Скорость сварки в м/час	12—100	10—80
Род тока	Постоянный Обратной полярности	
Максимальный сварочный ток в а	400	
Диаметр электродной проволоки в мм	1—3	
Скорость подачи электродной проволоки в м/час	100—1000	100—800
Номинальное напряжение питающей сети в в	220 и 380 с нулем	
Расход охлаждающей воды в л/мин	До 6	
Установочные перемещения головки в мм: поперек шва по вертикали поворот вокруг вертикальной оси в град. поворот вокруг горизонтальной оси в град.	160 100 90 360	
Габаритные размеры трактора в мм: длина ширина высота Вес в кг	740 560 600 38,5	560 600 480 63
Габаритные размеры шкафа электроаппаратуры в мм: длина ширина высота Вес шкафа в кг Вес проводов в кг	600 220 400 25,2 15,6	730 515 1050 52 16



Фиг. 54. Автомат АДСП-2.



Фиг. 55. Установка УДПГ-300.

ведущими и связаны между собой цепью. Механизм подачи электродной проволоки состоит из электродвигателя постоянного тока и редуктора, имеющего две ступени регулирования. Скорость подачи электродной проволоки независима от напряжения дуги. В качестве источника тока используется преобразователь с жесткой или возрастающей вольтамперной характеристикой.

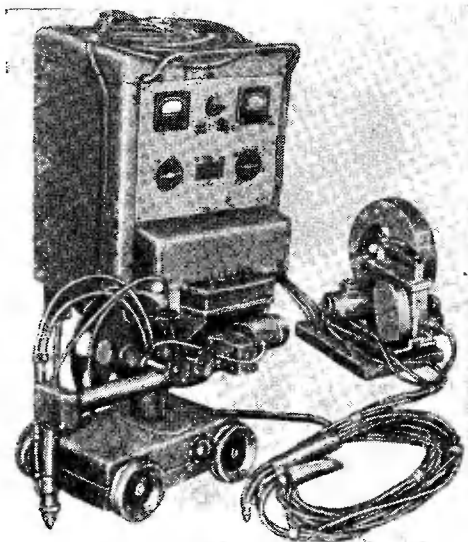
Техническая характеристика установки УДПГ-300:

Скорость сварки в м/час	15—80
Максимальный сварочный ток в а	340
Скорость подачи электродной проволоки в м/час	90—960
Диаметр электродной проволоки в мм	0,8—2,0
Вес трактора с проводами и шлангами в кг	26

Автомат АДПГ-500 и полуавтомат ПДПГ-500 (ВНИИЭСО), представленные на фиг. 56, предназначены для дуговой сварки сталей плавящимся электродом. Диаметр электродной проволоки 0,8—2,5 мм, скорость подачи электродной проволоки 90—960 м/час. В комплект автомата входят сварочный трактор, шкаф управления и источник тока. В комплект полуавтомата входят подающий механизм, шкаф управления, горелки и источник тока.

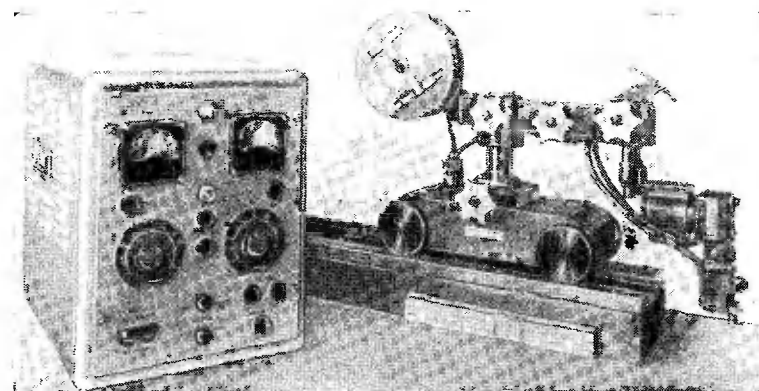
Автомат АДМТ-300 (фиг. 57) предназначен для сварки тонколистовых материалов как в среде защитных газов так и под флюсом, для чего головка снабжена сменной частью. Автомат допускает также сварку нахлесточных соединений из материалов разной толщины, например, 1 + 40 мм.

Особенностью автомата является применение электродной проволоки весьма малого диаметра — от 0,2 до 1,2 мм.



Фиг. 56. Автомат АДПГ-500 и полуавтомат ПДПГ-500.

Электрическая часть автомата, смонтированная в пульте управления, обеспечивает возможность сварки плавящимся электродом постоянным и переменным током. Подача электродной проволоки независима от напряжения дуги.



Фиг. 57. Автомат АДМТ-300.

Скорости движения каретки автомата и подачи электродной проволоки имеют два диапазона регулирования с плавным изменением в пределах каждой ступени.

Техническая характеристика АДМТ-300

Толщина свариваемого материала в мм	0,5—3,0
Диаметр электродной проволоки в мм	0,2—1,2
Предельные значения сварочного тока в а	8—350
Скорость подачи электродной проволоки в м/мин	1,0—36
Скорость сварки в м/час	4—120

Габаритные размеры трактора в мм:

длина	500
ширина	170
высота	400
Вес трактора в кг	25

Габаритные размеры пульта управления в мм:

длина	430
ширина	280
высота	360
Вес пульта управления в кг	20

Автомат АМС-1 (НИАТ) предназначен для сварки плавящимся электродом сталей и алюминиевых сплавов. Автомат позволяет производить сварку стыковых, нахлесточных и угловых соединений в нижнем и вертикальном положениях в зависимости от положения направляющей. Автомат применяется для сварки в монтажных условиях.

В комплект автомата (фиг. 58) входят сварочная головка, направляющая, шкаф электроаппаратуры и пульт управления.

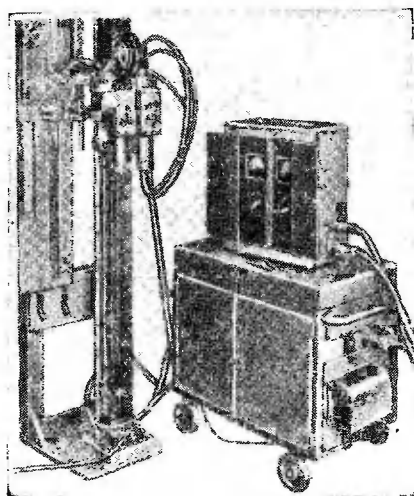
Каретка сварочной головки перемещается на направляющей по зубчатой рейке. На каретке смонтирован привод, состоящий из электродвигателя постоянного тока и редуктора, и механизм подачи электродной проволоки. Каретка движется по направляющей на четырех роликах. Электрической схемой автомата обеспечивается плавное регулирование скорости подачи электродной проволоки и скорости сварки. Скорость подачи проволоки не зависящая от напряжения дуги.

Техническая характеристика автомата типа АМС-1

Толщина свариваемого материала в мм	От 0,8 и более
Скорость сварки в м/час	10—100
Максимальный сварочный ток в а	300
Скорость подачи электродной проволоки в м/час	150—1500
Диаметр электродной проволоки в мм	1—2

Установочные перемещения сварочной головки в мм:

поперечное перемещение	15
перемещение вдоль оси горелки	20
поворот вокруг оси (в направлении движения сварочной головки) в градусах	90
Вес сварочной головки без проводов и направляющей в кг	7



Фиг. 58. Автомат АМС-1.

в конце шва. Возбуждение дуги осуществляется с помощью осциллятора.

Горелка автомата снабжена комплектом сменных сопел и палит для сварки вольфрамовым электродом диаметром 2; 3; 4; 5 и 6 мм. Охлаждение водяное.

Автомат перемещается по направляющим, установленным на сварочном стенде.

Автомат АДСВ-2 (фиг. 60) предназначен для тех же целей, что и автомат АДСВ-1, но допускает применение как переменного, так и постоянного тока.

Автомат АДСВ-1 (НИАТ) тракторного типа предназначен для сварки вольфрамовым электродом переменным током нержавеющей и жаропрочных сталей, титана, алюминиевых, магниевых сплавов и других материалов.

Автомат (фиг. 59) состоит из самоходной тележки, шкафа электроаппаратуры и устройства для плавного гашения дуги. На тележке установлены сварочная головка и пульт управления. Привод тележки и редуктора подачи электродной проволоки — от двигателей постоянного тока. Электрической схемой автомата обеспечивается плавное регулирование скорости подачи присадочной проволоки и скорости перемещения автомата (скорость сварки). Внешние соединения автомата осуществляются гибкими кабелями. С помощью устройства для плавного гашения дуги производится уменьшение сварочного тока до величины, при которой происходит естественный обрыв дуги без образования кратера и трещин.

Технические характеристики автоматов приведены в табл. 5.

Головка АГП-2 (НИАТ), представленная на фиг. 61, предназначена для автоматической сварки кольцевых швов на изделиях из стали различных марок, алюминиевых сплавов, титана и других материалов.

Конструктивно она представляет собой головку автомата АДСП-2 с пультом управления и шкафом электроаппаратуры.

Сварка производится постоянным током обратной полярности.

Вес головки со шкафом электроаппаратуры составляет 76 кг, вес шкафа 52 кг.

Головка АГВ-2 (НИАТ) (фиг. 62) представляет собой автономный аппарат, состоящий из собственно головки автомата АДСВ-2 с пультом управления и шкафа электроаппаратуры. Головка предназначена для сварки неплавящимся электродом кольцевых швов на изделиях из стали различных марок, алюминиевых сплавов, титана и других материалов.

Вес комплекта составляет 80 кг, в том числе вес головки с пультом управления — 28 кг.

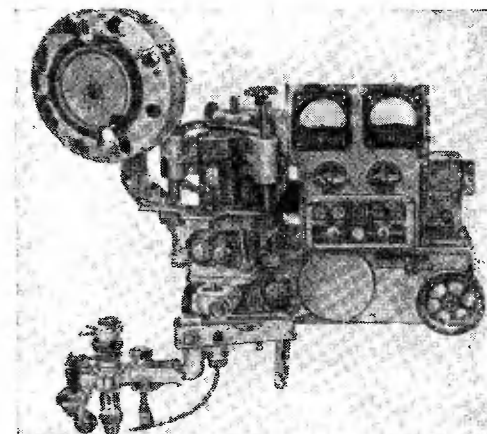
В зависимости от условий работы головки АГП-2 и АГВ-2 могут устанавливаться на консолях или кронштейнах. Пульт управления может быть снят и установлен отдельно с учетом удобства работы. Вращение изделий при сварке осуществляется манипуляторами.

Трубопаярочный автомат АТВ (НИАТ) предназначен для сварки вольфрамовым электродом неповоротных стыков труб из нержавеющей сталей и других материалов в монтажных условиях. Сварка может производиться с присадкой или без присадки в любом пространственном положении. Автомат позволяет выполнять сварку постоянным током.

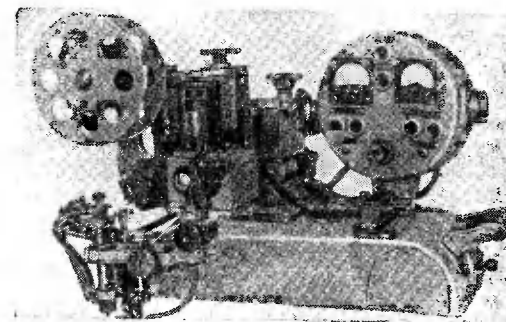
Комплект трубопаярочных автоматов состоит из семи типоразмеров, соответствующих размерам свариваемых труб.

Автомат (фиг. 63) представляет собой головку переносного типа.

При сварке труба остается неподвижной, а головка автомата, вращаясь вокруг трубы, производит сварку. Корпус автомата и подвижная шестерня, на которой установлена головка, имеют вырез, позволяющий устанавливать автомат не с торца, а с боковой стороны трубы. Этим достигается возможность сваривать трубы любой длины; необходимо только на одной стороне от стыка иметь прямолинейный участок длиной не менее 160 мм. В вырезе корпуса закреплены центрирующая призма и откидной зажим, которые



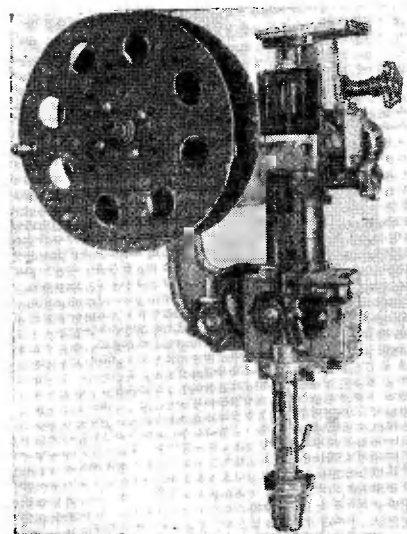
Фиг. 59. Автомат АДСВ-1.



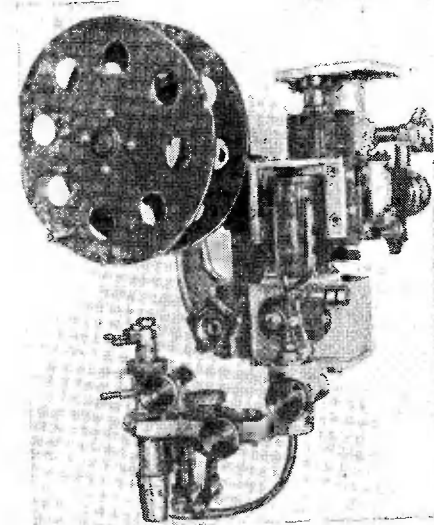
Фиг. 60. Автомат АДСВ-2.

5. Технические характеристики автоматов АДСВ-1 и АДСВ-2

Характеристика	Тип автомата	
	АДСВ-1	АДСВ-2
Толщина свариваемого материала в мм	0,8 и более	
Скорость сварки в м/час	12—100	10—80
Род тока	Переменный	Постоянный прямой полярности и переменный
Максимальный сварочный ток в а	400	
Скорость подачи присадочной проволоки в м/час	10—100	10—80
Диаметр присадочной проволоки в мм	1; 1,2; 1,6, 2 и 2,5	
Диаметр вольфрамового электрода в мм	2; 3; 4; 5 и 6	
Номинальное напряжение питающей сети в в	220 и 380 с нулем	
Расход охлаждающей воды в л/мин	До 6	
Установочные перемещения сварочной головки в мм: поперек шва по вертикали поворот вокруг вертикальной оси в град. поворот вокруг горизонтальной оси в град.	160 100 90 360	
Габаритные размеры трактора в мм: длина ширина высота Вес в кг	850 560 600 38,6	560 600 480 70
Габаритные размеры шкафа электроаппаратуры в мм: длина ширина высота Вес в кг	600 220 400 25,6	730 515 1050 52
Габаритные размеры устройства для заварки кратера в мм: длина ширина высота Вес в кг	300 320 440 15,8	Устройство для заварки кратера смонтировано в шкафу электроаппаратуры



Фиг. 61. Головка АГП-2 для автоматической сварки.



Фиг. 62. Головка АГВ-2 для автоматической сварки.

обеспечивают достаточно точное и надежное закрепление автомата на трубе.

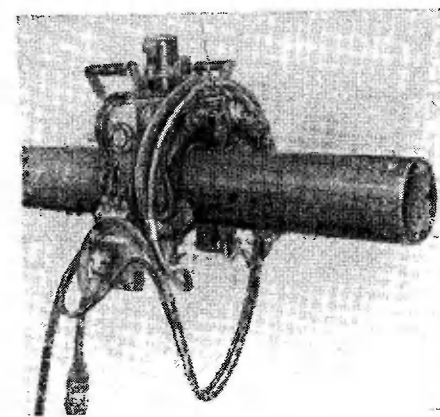
Привод головки и редуктора подачи электродной проволоки — от двигателя постоянного тока. Электрической схемой автомата обеспечивается плавное регулирование скорости подачи присадочной проволоки и скорости вращения головки автомата (скорости сварки). Со шкафом электроаппаратуры и источником тока автомат соединен гибкими кабелями. В электрической схеме предусмотрено плавное гашение дуги путем выключения источника тока. Возбуждение дуги осуществляется с помощью осциллятора.

Горелка автомата снабжена комплектом сменных сопел и цанг для сварки вольфрамовым электродом диаметром 2; 3; 4 и 5 мм.

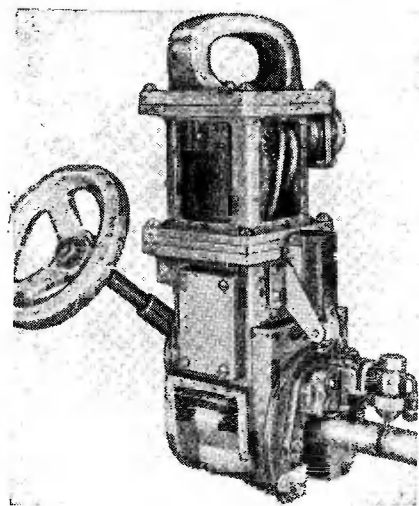
Технические характеристики автоматов типа АТВ приведены в табл. 6.

Трубопаяльный автомат МС-19 (НИАТ) (фиг. 64) предназначен для сварки вольфрамовым электродом неповоротных стыков труб диаметром от 8 до 26 мм. Сварка производится без присадочной проволоки, постоянным током.

Трубопаяльный автомат АГН-8-26М (ИИХИММАШ) предназначен для сварки вольфрамовым электродом без присадочной проволоки неповоротных стыков труб диаметром 8—26 мм из нержавеющей сталей.



Фиг. 63. Трубопаяльный автомат АТВ.



Фиг. 64. Трубопаярный автомат МС-19.

6. Технические характеристики автоматов типа АТВ

Тип автомата	Диаметр свариваемых труб в мм	Радиус вращения подвижной части автомата в мм	Вес автомата в кг
АТВ-15-40	15—40	165	12,5
АТВ-40-60	40—60	165	12,5
АТВ-60-83	60—83	175	14,0
АТВ-83-108	83—108	195	16,8
АТВ-108-133	108—133	205	20,0
АТВ-133-159	133—159	225	23,0
АТВ-180-219	180—219	260	26

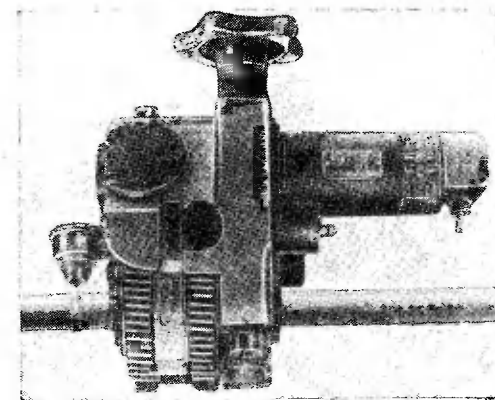
Общие технические данные автоматов типа АТВ

Скорость сварки в м/час	10—40
Максимальный сварочный ток в а	250
Скорость подачи присадочной проволоки в м/час	15—90
Диаметр присадочной проволоки в мм	1, 1,2, 1,6 и 2
Диаметр вольфрамового электрода в мм	2, 3 и 4
Номинальное напряжение питающей сети в в	220 и 380 с нулем
Длина кабелей в м	25
Габаритные размеры шкафа электроаппаратуры в мм:	
длина	750
ширина	400
высота	600
Вес в кг	40

Техническая характеристика автомата МС-19

Диаметр свариваемых труб в мм	8—26
Скорость сварки в м/час	4—60
Род тока	Постоянный обратный полярности
Максимальный сварочный ток в а	150
Диаметр вольфрамового электрода в мм	1, 1,5, 2 и 3
Радиус вращающихся частей в мм	50
Номинальное напряжение питающей сети в в	220 и 380 с нулем
Габаритные размеры головки в мм:	
длина	100
ширина	80
высота	275
Вес в кг	4,5
Габаритные размеры шкафа электроаппаратуры в мм:	
длина	340
ширина	180
высота	390
Вес в кг	15

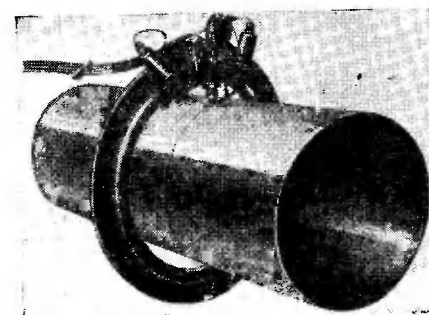
Автомат (фиг. 65) состоит из сварочной головки и шкафа электроаппаратуры. Вырез в корпусе головки позволяет устанавливать ее с боковой стороны трубы. Головка закрепляется на трубе быстродействующими зажимами. Свободные стыки трубок должны предварительно центрироваться между собой специальной струбиной. Переход с одного диаметра свариваемых труб на другой осуществляется путем замены комплекта сменных вкладышей, устанавливаемых в корпусе головки. Сварочная горелка автомата укреплена на торце шестерни корпуса. Горелка комплектуется сменными соплами и цангами. В конструкции автомата отсутствует устройство, копирующее наружную поверхность трубы, поэтому расстояние от конца электрода до изделия (длина дуги) во время сварки зависит в основном от точности изготовления вкладышей и отклонений диаметров труб. Для установки автомата концы труб должны иметь прямолинейные участки длиной 80—100 мм. Расстояние стенок свариваемых труб до других труб или каких-либо других деталей должно быть не менее 52 мм. Управление головкой осуществляется с переносного пульта. Аргон подается в горелку беспланетным способом при помощи специального механизма с подвижным и неподвижными каналами и клапанами.



Фиг. 65. Трубопаярный автомат АГН-8-26М.

Техническая характеристика автомата типа АГН-8-26М

Диаметр свариваемых труб в мм	8—26
Толщина стенки труб в мм	0,5—2,0
Диаметр вольфрамового электрода в мм	1,5—2,0
Максимальный сварочный ток в а	100
Число оборотов горелки в минуту	2—7
Вес головки в кг	5,5



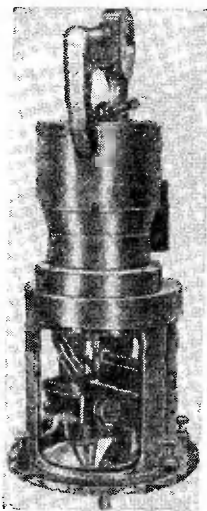
Фиг. 66. Самоходная головка для сварки неповоротных обечай.

Самоходная головка (НИАТ), показанная на фиг. 66, предназначена для автоматической сварки вольфрамовым электродом тонколистовых изделий из алюминиевых сплавов и нержавеющей сталей. С помощью головки можно производить сварку стыковых швов неповоротных цилиндрических обечай. В процессе сварки головка перемещается по направляющему кольцу. Головка может быть также использована для сварки прямолинейных швов.

Сварочная головка АГТР-1 (НИИХИММАШ) предназначена для приварки вольфрамовым электродом

Техническая характеристика самоходной головки:

Сварочный ток в а	До 300
Скорость сварки в м/час	10—60
Скорость подачи присадочной проволоки в м/час	10—100
Диаметр присадочной проволоки в мм	1—2,5
Толщина свариваемых материалов в мм	1—5



Фиг. 67. Головка АГТР-1 для сварки труб и трубным решеткам.

трубок к трубным решеткам теплообменников из нержавеющей сталей. Головка центрируется по трубке решетки и производит сварку путем оплавления кромок, без присадки.

Головка (фиг. 67) представляет собой полый корпус, внутри которого вращается горелка. Горелка может перемещаться в радиальном направлении для изменения радиуса вращения.

Техническая характеристика головки АГТР-1:

Диаметр свариваемых труб в мм	18—40
Толщина стенки труб в мм	0,2—1,5
Диаметр вольфрамового электрода в мм	1,5—3
Максимальный сварочный ток в а	90
Скорость вращения сварочной головки в об/мин	5—9
Вес головки в кг	6,5

Специализированные установки для автоматической сварки

Установка для сварки листов длиной до 4500 мм (фиг. 68). Толщина свариваемого материала от 2 до 10 мм. Сварка производится вольфрамовым или плавящимся электродом, переменным или постоянным током. Автомат каретного типа, осуществляющий сварку, перемещается по направляющей. Перед сваркой листы укладываются на рольганг, свариваемые кромки зажимаются между нижней и верхней балками, имеющими пневмоцилиндровые прижимы.

Установка для сварки продольных швов цилиндрических и конических обечаек (фиг. 69) позволяет сваривать изделия длиной до 2200 мм и диаметром от 900 до 3000 мм из сталей и алюминиевых сплавов.

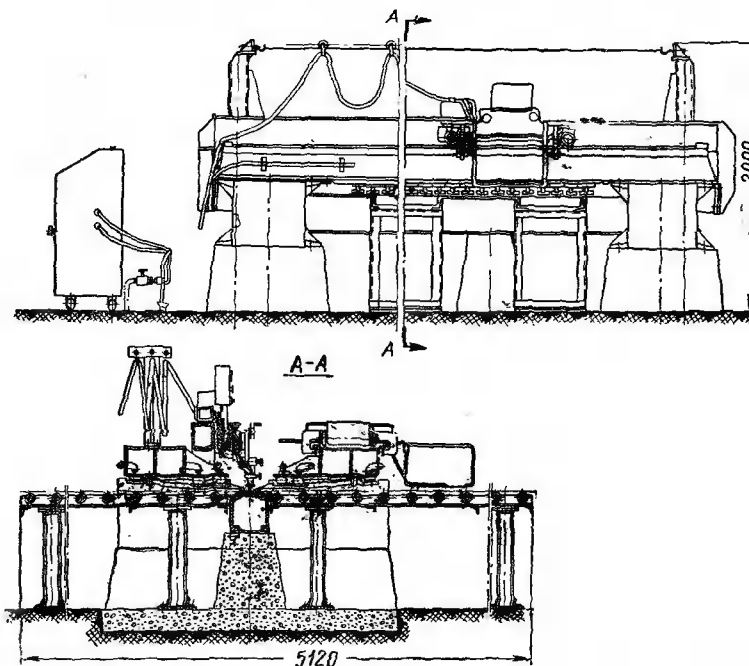
Толщина свариваемого материала от 2 до 10 мм. Нижняя прижимная балка консольного типа смонтирована на специальном портале, высота которого выбирается в зависимости от диаметра обечайки. Верхние балки имеют пневмоцилиндровые прижимы. На установке можно производить сварку плавящимся и вольфрамовым электродом. На фиг. 70 показан стел для сварки продольных швов листов и обечаек длиной до 1000 мм. Толщина материала от 1,5 до 6 мм.

Стел, показанный на фиг. 71, предназначен для сварки продольных швов труб и обечаек диаметром от 250 до 500 мм и длиной до 1000 мм. Толщина свариваемого материала от 2 до 10 мм. Для сварки на указанных стелах используются автоматы типа АДСП или АДСВ.

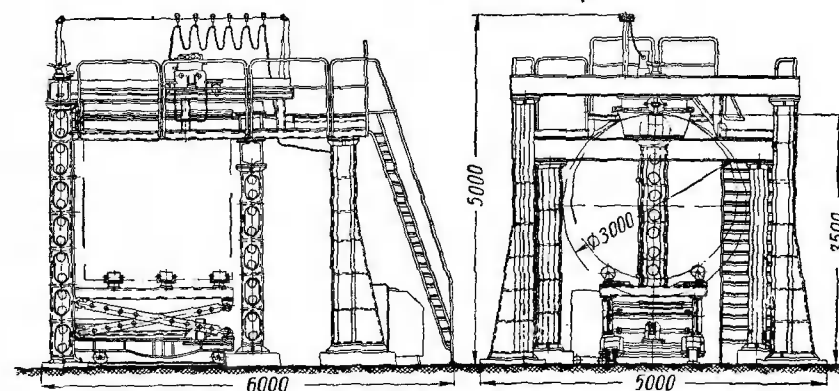
Установка УСМТ-1 (фиг. 72) предназначена для автоматической сварки продольных швов тонкостенных обечаек и листов длиной до 2000 мм из алюминиевых сплавов, жаропрочных и нержавеющей сталей.

Сварка производится вольфрамовым электродом постоянным или переменным током. Установка состоит из стел для закрепления свариваемого изделия, сварочного автомата и шкафа с электроаппаратурой.

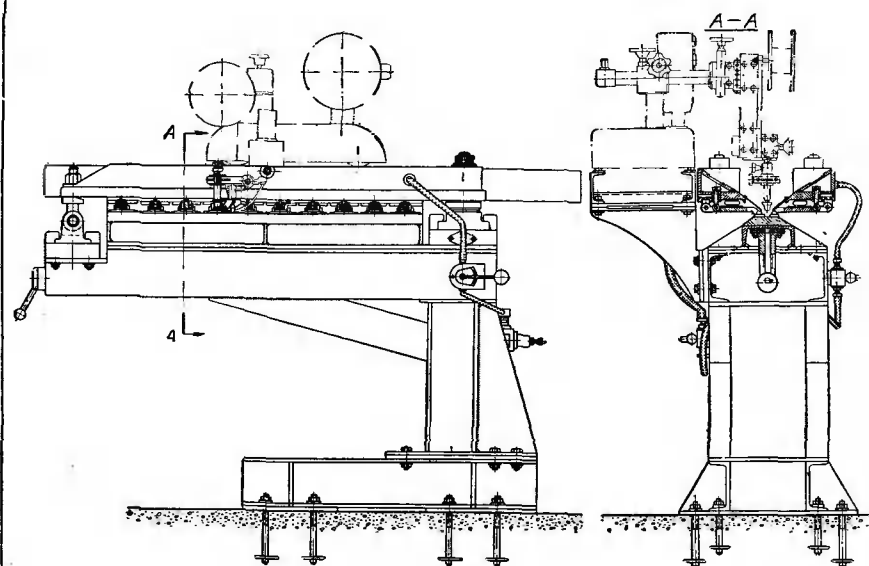
Автомат перемещается по направляющей балке, закрепленной на станине стел.



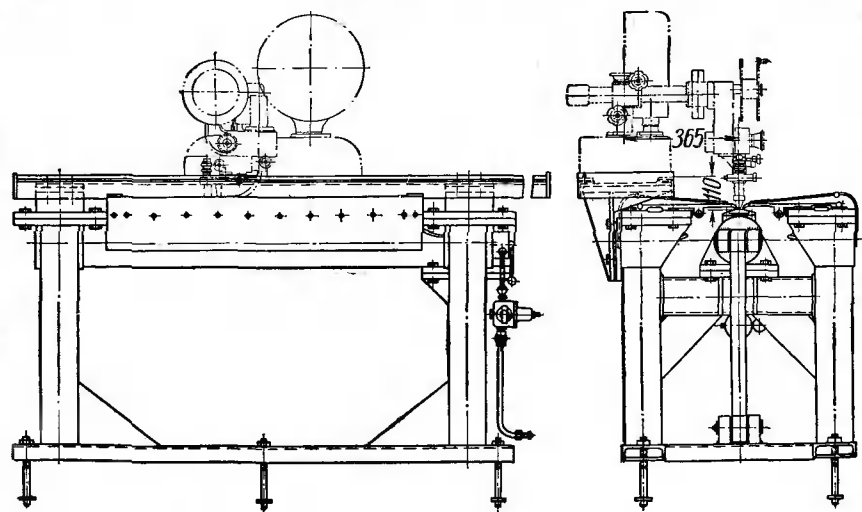
Фиг. 68. Установка для автоматической сварки листов длиной 4500 мм.



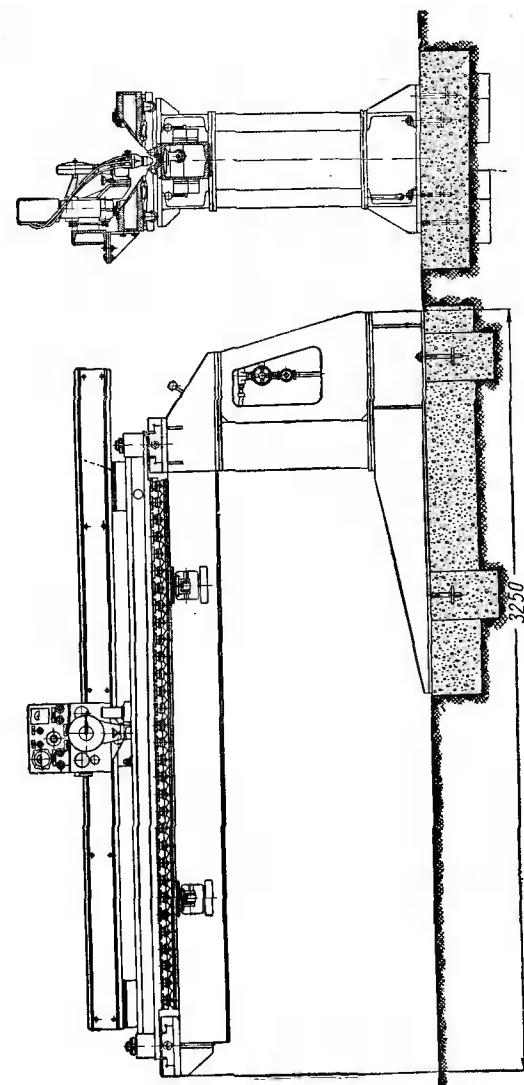
Фиг. 69. Установка для автоматической сварки продольных швов цилиндрических и конических обечаек длиной до 2200 мм и диаметром от 900 до 3000 мм.



Фиг. 70. Стенд для сварки продольных швов листов и обечаек длиной до 1000 мм.



Фиг. 71. Стенд для сварки продольных швов труб и обечаек диаметром от 250 до 500 мм и длиной до 1000 мм.



Фиг. 72. Установка типа УСМГ-1 для автоматической сварки продольных швов листов и обечаек.

Закрепление изделия осуществляется прижимами клавишного типа с пневматическим приводом.

Техническая характеристика установки УСМТ-1

Толщина свариваемого материала в мм	0,5—1
Длина шва в мм	До 2000
Диаметр свариваемых обечаек в мм	350—900
Расстояние между прижимами в мм	8—20
Максимальное усилие прижима в кг/см	15
Напряжение питающей сети в в	220/380
Скорость сварки в м/час	10—80
Максимальный сварочный ток в а	150
Диаметр вольфрамового электрода в мм	0,8—3
Диаметр присадочной проволоки в мм	0,8—1,2

Установка УСК-2 предназначена для автоматической сварки кольцевых швов цилиндрических и конических обечаек в среде защитных газов. Сварка может производиться плавящимся или вольфрамовым электродом. Установка (фиг. 73) состоит из передвижного автомата консольного типа, манипулятора, задней поддерживающей бабки, стремянки и электрической части с источниками питания. Автомат консольного типа установлен на самоходной тележке, а сверху поддерживается монорельсом. Подъем и опускание консоли осуществляются от электродвигателя с редуктором, установленного в верхней части колонны. Сварочная головка используется от автомата АРК-2. Задняя поддерживающая бабка установлена на колонне с кареткой, которая может перемещаться по направляющим станины. Бабка может перемещаться вверх и вниз, а также наклоняться. Стремянка служит рабочим местом для сварщика и может перемещаться по рельсовым путям. Рабочая площадка сварщика может перемещаться вертикально на роликах. Для вращения изделия применяется манипулятор типа МАС-2. Управление при работе на установке производится с двух пультов. Основной пульт управления находится на каретке сварочной головки, второй — переносной, с его помощью производятся все вспомогательные перемещения. При сварке тяжелых, а также длинных изделий применяются поддерживающие люнеты.

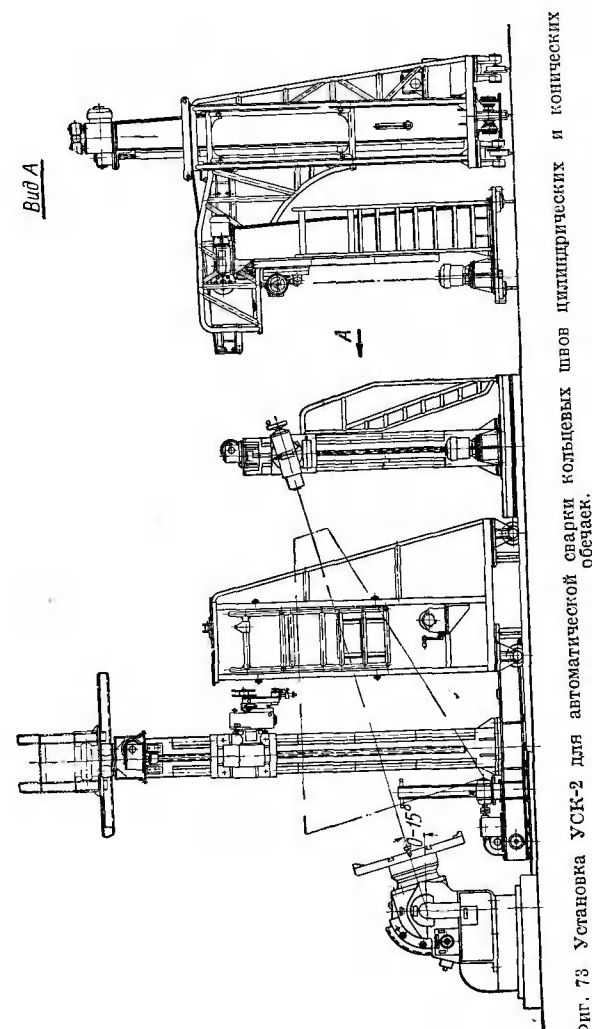
Техническая характеристика установки УСК-2

Диаметр свариваемого изделия в мм	До 2000
Диаметр шва в мм	500—2000
Длина изделия в мм	До 3000
Скорость сварки в м/час	10—40
Число оборотов шпинделя манипулятора в минуту	0,46—0,62
Скорость подачи проволоки в м/час	10—800
Диаметр проволоки в мм	1—2,5
Диаметр вольфрамового электрода в мм	1—6
Сварочный ток в а:	
постоянный	До 500
переменный	До 350
Высота центров от пола в мм	1200
Расстояние между шпинделями и задней бабкой манипулятора в мм	1250—3750
Угол наклона шпинделя задней бабки в град.	15
Высота шпинделя задней бабки в мм	1200—2550

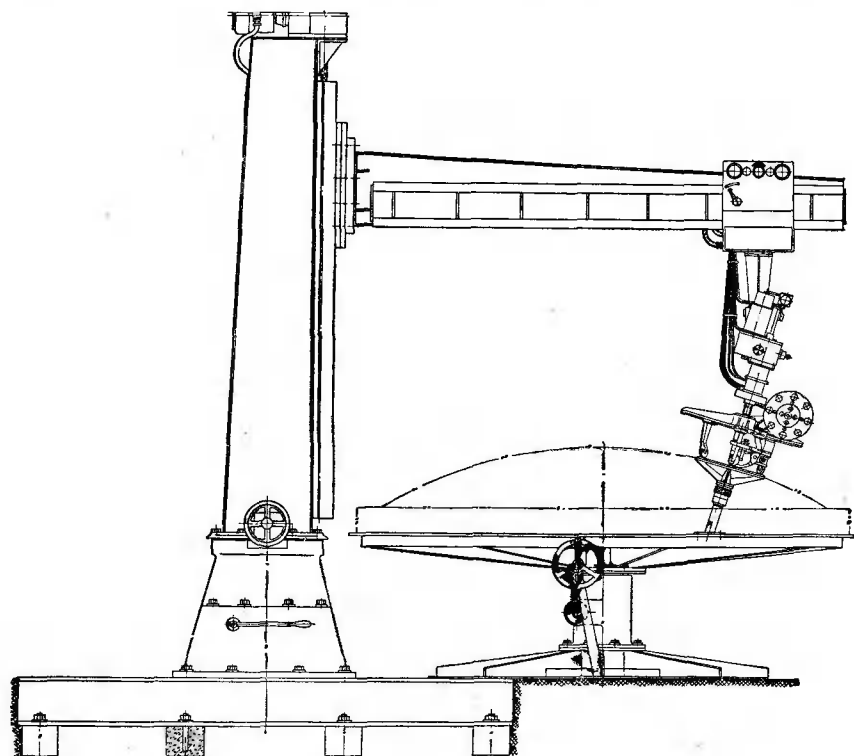
Установка УСФ-1 (фиг. 74) предназначена для автоматической сварки кольцевых швов на горизонтальной плоскости и сферических поверхностях.

Установка может применяться для приварки фланцев, патрубков, штуцеров, заглушек и т. п. к плоским и сферическим поверхностям крупногабаритных изделий.

На установке можно сваривать стыковые и тавровые швы. Сварочная головка крепится на консоли автомата АРК-2. В процессе сварки головка вращается вокруг оси кольцевого шва, а изделие остается неподвижным.



Фиг. 73 Установка УСК-2 для автоматической сварки кольцевых швов цилиндрических и конических обечаек.



Фиг. 74. Установка УСФ-1 для автоматической сварки кольцевых швов на горизонтальной плоскости и сферических поверхностях.

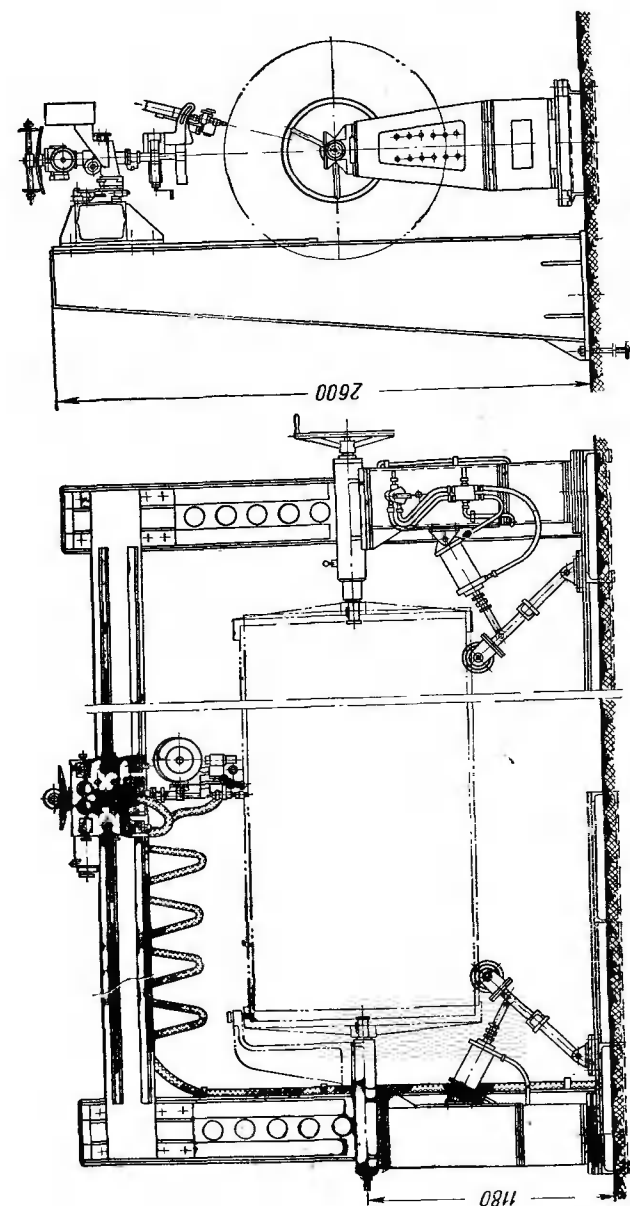
Свариваемое изделие устанавливается на поворотном столе, на который в случае необходимости устанавливаются приспособления с формирующими накладками. Сварочная головка имеет устройства для прижатия свариваемых кромок. Сварка может производиться как плавящимся, так и вольфрамовым электродом.

Техническая характеристика устройства УСФ-1

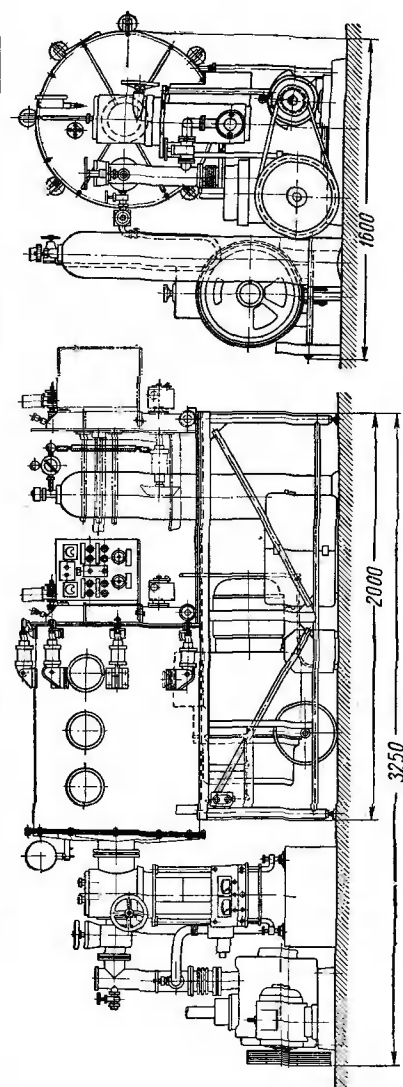
Диаметр свариваемых фланцев в мм	80—600
Скорость сварки в м/час	40—40
Скорость подачи электродной проволоки в м/час	90—1200
Скорость подачи присадочной проволоки в м/час	10—140
Диаметр проволоки в мм	0,8—2,5
Диаметр вольфрамового электрода в мм	2—6
Сварочный ток в а:	
постоянный	До 500
переменный	До 350
Наклон сварочной головки в град.	±25

Установка УСФ-2 предназначена для аргоно-дуговой приварки круглых фланцев, патрубков и заглушек к цилиндрическим обечайкам (по кривой пересечения двух цилиндров с перпендикулярными осями).

Установка (фиг. 75) состоит из сварочной головки с суппортом, коширного устройства, каретки, стэнда с бабками и подъемным устройством и электрической части.



Фиг. 75. Установка УСФ-2 для аргоно-дуговой приварки круглых фланцев, патрубков и заглушек к цилиндрическим обечайкам.



Фиг. 76. Установка ВУАС-1 для сварки в контролируемой атмосфере.

При сварке головка, кроме вращательного движения, должна совершать перемещения по вертикали и сохранять заданный угол наклона относительно нормали к линии шва в данной точке. Для этих целей в конструкции сварочной головки имеются соответствующие копирные устройства. Сварка производится плавящимся или вольфрамовым электродом. Установка может быть использована для сварки кольцевых швов. В этом случае одна из бабкок должна иметь привод. При изменении размеров обечайки производится переналадка установки. Левая и правая бабки могут переставляться вдоль станины с шагом 150 мм.

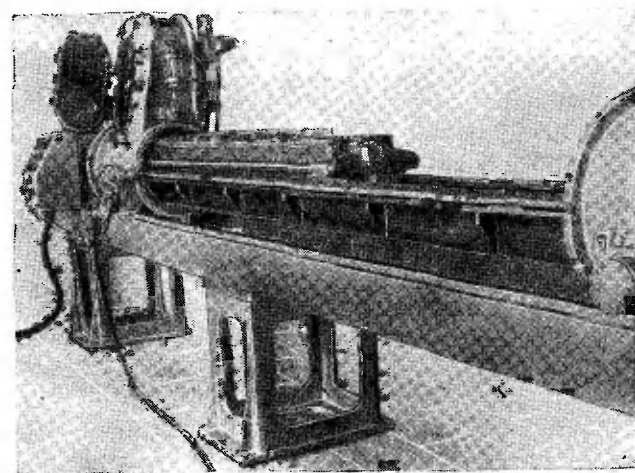
Техническая характеристика установки УСФ-2

Диаметр обечайки в мм	500—1100
Длина обечайки в мм	1000—4000
Диаметр свариваемого фланца в мм	80—300
Скорость сварки в м/час	10—40
Скорость подачи электродной проволоки в м/час	90—1200
Скорость подачи присадочной проволоки в м/час	10—140
Диаметр проволоки в мм	0,8—2,5
Диаметр вольфрамового электрода в мм	2,6
Сварочный ток в а:	
постоянный	До 500
переменный	До 350
Высота центров от пола в мм	1180

Установка ВУАС-1 (фиг. 76) предназначена для автоматической сварки в камере с контролируемой атмосферой изделий из активных металлов плавящимся или вольфрамовым электродом. Установка позволяет сваривать прямодлинейные и кольцевые швы. Сварка производится сварочной головкой, находящейся внутри камеры. Установка состоит из герметической камеры, вакуумной системы и электрической части. В комплект установки входят головки для сварки вольфрамовым и плавящимся электродом.

Техническая характеристика установки ВУАС-1

Диаметр камеры в мм	700
Длина камеры в мм	1090
Объем в м³	0,38
Предельный вакуум в камере при откачке в мм рт. ст.	10 ⁻⁴
Длина свариваемых изделий в мм	600
Диаметр свариваемых изделий в мм	200
Скорость сварки в м/час	5—50
Скорость подачи присадочной проволоки (при сварке вольфрамовым электродом) в м/час	10—100
Скорость подачи электродной проволоки (при сварке плавящимся электродом) в м/час	100—800
Род тока	Постоянный и переменный
Максимальный сварочный ток в а	300
Тип форвакуумного насоса	ВН-1
Тип вакуумного агрегата	ВА-05-1



Фиг. 77. Установка УСШТ-1 для сварки в контролируемой атмосфере продольных швов труб

Установка УСШТ-1 предназначена для автоматической сварки в контролируемой атмосфере продольных швов труб и других деталей. Сварка может осуществляться постоянным током, вольфрамовым электродом с присадкой или без присадки.

В комплект установки (фиг. 77) входят герметическая вакуумная камера со сварочной головкой, приспособления для сборки и сварки, вакуумная система и электрическая часть с источником тока.

Герметическая камера состоит из двух неподвижных камер (камеры прихода и сварочной камеры), укрепленных на станине, и одной подвижной камеры, которая перемещается по направляющим станины при установке под сварку и при снятии готового изделия. На передней стенке сварочной камеры находятся люк для наладки сварочной головки и смотровое окно для наблюдения за процессом сварки, а также рукоятки управления перемещениями сварочной головки. Подвижная часть герметической камеры соединяется с неподвижной частью с помощью пневмопримов. Уплотнение обеспечивается кольцами из

вакуумной резины. На неподвижной части камеры имеется механизм для поворота свариваемого изделия. Внутри камеры смонтирована каретка, перемещающаяся по направляющим посредством ходового винта.

На каретку устанавливается сборочно-сварочное приспособление, конструкция которого зависит от свариваемого изделия. Вакуумная система установки состоит из двух форвакуумных насосов, вакуумного агрегата и вентилей.

Вакуумная система обеспечивает разрежение внутри камеры до 10^{-4} мм рт. ст. По достижении необходимого вакуума камера заполняется газом (чаще всего аргоном). Глубина разрежения измеряется вакуумметром, а давление защитного газа мановакуумметром. Защитный газ подается из баллона через редуктор. В камере может быть достигнуто избыточное давление 0,2 атм. Для предупреждения повышения избыточного давления предусмотрен предохранительный клапан. На установке можно производить сварку изделий длиной до 3000 мм и диаметром до 150 мм. Сварочная головка имеет регулировку по высоте на 100 мм и по горизонтали перпендикулярно оси изделия на ± 50 мм.

ТЕХНОЛОГИЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ В СРЕДЕ ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ

Материалы для сварки в среде инертных газов

Газы

В качестве защитных газов применяются чистые аргон и гелий, а также их смеси между собой или с некоторыми активными газами (углекислым газом, кислородом, азотом и водородом).

Разнообразие требований к чистоте и составу защитных газов обуславливается чувствительностью свариваемых металлов и сплавов к примесям в чистых инертных газах. С другой стороны, иногда является целесообразным употребление газовых смесей. В этих случаях за счет добавок активных газов к инертным удается повысить устойчивость дуги, улучшить формирование шва, увеличить глубину проплавления, уменьшить разбрызгивание, воздействовать на характер переноса металла в дуге, повысить плотность металла шва, а также увеличить производительность сварки.

Некоторые физические свойства аргона и гелия представлены в табл. 7.

7. Физические свойства аргона и гелия

Элемент	Атомный вес	Вес 1 л в Г	Температура кипения в °С	Теплопроводность в кал/см·сек·°С
Аргон	39,944	1,7833	-185,5	$0,378 \cdot 10^{-4}$
Гелий	4,003	0,17847	-268,9	$3,32 \cdot 10^{-4}$

Аргон и гелий не образуют с другими элементами химических соединений, за исключением некоторых гидридов, устойчивых только в узких пределах температуры и давления. В большинстве металлов эти газы практически нерастворимы.

Содержание аргона и гелия в воздухе и в земной коре составляет в %

	Аргон	Гелий
В земной коре	$3,5 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-7}$
В воздухе:		
по объему	0,9325	0,00046
по весу	1,2862	0,00007

Промышленное получение гелия основано на извлечении его из природных газов путем их сжижения. Природный газ предварительно очищается от окиси и двуокиси углерода, подвергается осушке, а затем сжижается. Метан и другие углеводороды отделяются в абсорберах с активированным углем. Очистка от азота производится путем глубокого охлаждения в теплообменнике. В чистом гелии, применяемом для сварки, в качестве примесей остается небольшое количество азота, водорода, кислорода и влаги.

Аргон получают из воздуха. Температура кипения аргона (-186°) несколько ниже, чем кислорода (-183°), и выше, чем азота (-196° С). Поэтому в разделительных колоннах происходит избирательное испарение отдельных газов. Дальнейшим глубоким охлаждением и фракционной перегонкой этой смеси повышают концентрацию аргона до требуемой величины.

Очистка аргона от остатков кислорода производится путем беспламенного сжигания водорода в «сыром» аргоне в присутствии катализатора. Применяется также способ очистки от кислорода в реакторах, заряжаемых гранулами активной окиси меди.

В чистом аргоне в качестве примесей остаются небольшие количества кислорода, азота и влаги.

Как в гелии, так и в аргоне присутствие влаги зависит, в основном, от подготовки металлических баллонов к заполнению и практически может быть доведено до содержания, соответствующего точке росы около -50° С, что приемлемо для целей сварки.

Примеси азота при сварке некоторых металлов образуют нитриды, засоряющие сварочную ванну. В некоторых случаях азотизация металла приводит к уменьшению концентрации активных легирующих элементов в наплавленном металле.

Примеси кислорода вызывают окисление металла, обеднение его легирующими элементами, засорение сварочной ванны окислами.

Примеси влаги вызывают окисление и разбрызгивание металла; могут вызывать образование пор в шве.

В табл. 8 представлены составы нескольких марок аргона, предназначенных для сварки различных материалов.

8. Химический состав аргона*

Содержание в объемных %	Марка					
	А	Б	В	Г	Д	Е
Аргон	99,98 **	99,95 **	99,90 **	95—97	50—90	35—40
Азот	0,01 ***	0,04 ***	0,080 ***	—	—	—
Кислород	$\leq 0,005$ ***	$\leq 0,005$ ***	$\leq 0,015$ ***	3—5	—	—
Водород	—	—	—	—	10—50	—
Влага аргона (для нежесткого) в Г/м ³ , не более	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
Гелий	—	—	—	—	—	60—65

* Составы аргона даны в соответствии с проектом ГОСТа на аргон для сварки.
 ** Не менее.
 *** Не более.

Аргон марки А высшей чистоты предназначен для сварки активных и редких металлов (Ti, Zr, Nb и др.) и сплавов на их основе, а также для особо ответственных изделий из других материалов на заключительных этапах изготовления.

Аргон марки Б предназначен для сварки плавящимся и вольфрамовым электродом сплавов на основе алюминия и магния, а также других сплавов, чувствительных к примесям растворимых в них газов.

Аргон марки В предназначен для сварки нержавеющей сталей различных классов и марок, для сварки изделий из чистого алюминия, а также для сварки малоответственных конструкций, в отношении которых нежелательно применение других способов сварки.

Рекомендации по выбору состава защитных газов для сварки разных материалов приведены в табл. 9.

9. Выбор состава защитных газов для сварки различных материалов

Свариваемый материал	Толщина в мм	Защитный газ	
		Вольфрамовый электрод	Плавящийся электрод
Малоуглеродистая сталь	≤ 2	Комбинированная защита Ag + CO ₂	1. CO ₂ 2. 90% Ag + 10% CO ₂ 3. Ag марки Г
	> 2	—	CO ₂
Низко- и средне-легированные стали	≤ 3	1. Комбинированная защита Ag + CO ₂ 2. Ag марки В	1. CO ₂ 2. 90% Ag + 10% CO ₂ 3. Ag марки Г
	> 3	—	1. CO ₂ 2. Ag марки Г
Нержавеющие хромоникелевые высоколегированные стали	≤ 3	1. Ag марки В 2. He 3. Комбинированная защита Ag + CO ₂	1. Ag марки В 2. He 3. Ag марки Г 4. CO ₂ 5. 90% Ag + 10% CO ₂
	> 3	—	1. Ag марки В 2. He 3. Ag марки Г 4. CO ₂
Жаропрочные хромоникелевые сплавы	Любая	1. Ag марки Б 2. He	1. Ag марки Б 2. He
Алюминий и алюминиевые сплавы	≤ 10	Ag марки Б	Ag марки Б
	> 10	—	1. Ag марки Б и В 2. 35% Ag + 65% He

Продолжение табл. 9

Свариваемый материал	Толщина в мм	Защитный газ	
		Вольфрамовый электрод	Плавящийся электрод
Магниевого сплавы	Любая	1. Аг марки Б 2. Не	Аг марки Б
Медь и медные сплавы		1. Аг марки В 2. Не 3. Комбинированная защита Аг + N ₂	1. Аг марки В 2. Не 3. N ₂ 4. 70—80% Аг + 20—30% N ₂
Титан и его сплавы		Аг марки А	Аг марки А
Цирконий, молибден, тантал и другие активные металлы		Аг марки А	Аг марки А
Примечание. Марки Аг — по табл. 8.			

Аргон несколько тяжелее воздуха, струя его хорошо защищает дугу и зону сварки. Дуга в аргоне отличается высокой стабильностью. При сварке алюминиевых сплавов на переменном токе или на постоянном токе обратной полярности наблюдается разрушение окисной пленки на поверхности сварочной ванны. При сварке сталей плавящимся электродом на постоянном токе обратной полярности при токе больше критического происходит струйный перенос металла¹.

Гелий в 10 раз легче аргона. Расход его при сварке должен быть на 30—40% больше расхода аргона. Напряжение дуги в гелии в 1,5—2,0 раза выше, чем в аргоне. При одном и том же токе при сварке в среде гелия выделяется больше тепла, чем в среде аргона. Дуга в гелии обладает большей проплавляющей способностью. Благодаря более высокому градиенту напряжения в положительном столбе дуги в среде гелия изменение длины дугового промежутка оказывает большее влияние на глубину проплавления, чем при сварке в среде аргона. Аргон-гелиевая смесь обеспечивает сочетание высокой стабильности дуги с высокой тепловой мощностью. При сварке алюминия в среде смеси 40% Ag + 60% He швы получаются значительно плотнее, чем в аргоне.

Аргон-кислородная смесь (95—97)% Ag + (5—3)% O₂. Примесь кислорода к аргону понижает критический ток, при котором капельный перенос металла в дуге переходит в струйный при сварке малоуглеродистых и низколегированных сталей плавящимся электродом; способствует получению более плотного наплавленного металла; улучшает сплавление; уменьшает подрезы и увеличивает производительность сварки.

Смесь аргона с водородом (85% Ag + 15% H₂). Примесь водорода увеличивает напряжение дуги, повышает ее тепловую мощность, способствует получению чистого наплавленного металла. При сварке нержавеющей сталей пла-

¹ См. стр. 438.

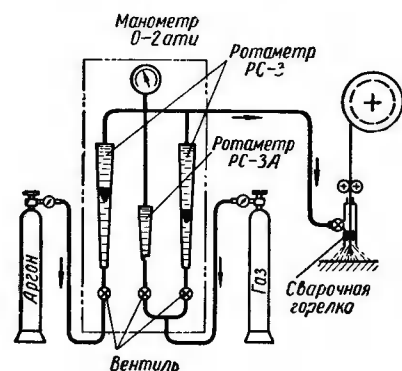
вращающимся электродом водород способствует крупнокапельному переносу металла, несколько уменьшает стабильность дуги.

Смесь аргона с углекислым газом (90% Ar + 10% CO₂). Углекислый газ при сварке малоуглеродистых и низколегированных сталей способствует устранению пористости в сварных швах; добавка CO₂ к аргону повышает стабильность дуги и улучшает формирование шва при сварке тонколистовых сталей.

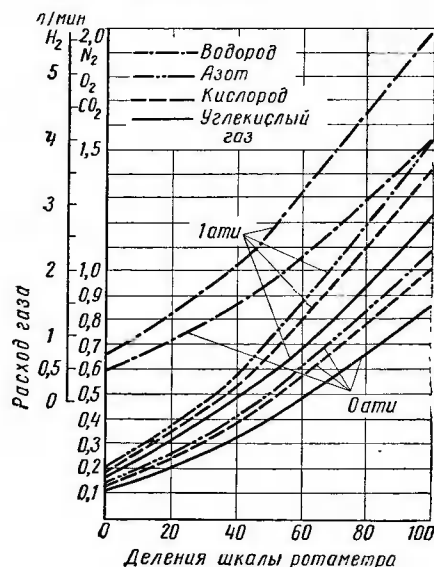
Смесь аргона с 20—30% азота находит применение при сварке плавящимся электродом меди и некоторых медных сплавов

При отсутствии готовых газовых смесей смешение газов можно осуществлять на сварочном посту по схеме, показанной на фиг. 78.

Состав смеси, подаваемой в горелку, регулируется изменением расхода газов, входящих в смесь. Расход каждого газа регулируется



Фиг. 78. Схема питания горелки газовой смесью



Фиг. 79. График расхода газа по показаниям ротаметра РС-3.

отдельным редуктором и измеряется ротаметром типа РС-3. При концентрации примешиваемого газа не выше 10% расход его следует измерять ротаметром РС-3А с эбонитовым поплавком.

Каждый ротаметр снабжен графиком, по оси абсцисс которого отложены деления шкалы ротаметра, а по оси ординат — соответствующий расход газа при заданном давлении (фиг. 79).

Графики строятся для каждого ротаметра путем пересчета характеристики ротаметра, определяемой заводом-изготовителем применительно к воздуху при 0 ати.

Пересчет производится по формуле

$$Q_1 = Q_0 \sqrt{\frac{P_1}{P}} \sqrt{\frac{\gamma}{\gamma_1}},$$

где Q_1 — расход используемого газа в л/мин;

Q_0 — расход воздуха в л/мин при 0 ати для данного ротаметра (берется по паспорту для каждого деления используемого ротаметра);

P_1 — рабочее давление (заданное) в ати;

P — давление воздуха, равное 1 ати (давление при тарировании ротаметра);

γ — удельный вес воздуха при 20° С в кг/м³;

γ_1 — удельный вес используемого газа в кг/м³.

Необходимый расход защитного газа устанавливается в зависимости от условий и режима сварки. Ориентировочные данные по выбору расхода газа при сварке разных металлов представлены в табл. 10 и 11.

10. Расход аргона в л на 1 пог. м шва для соединений в стык и внахлестку при сварке вольфрамовым электродом

10. Расход аргона в аргонно-флюсовой среде при сварке вольфрамовым электродом											
Свариваемый материал	Толщина в мм	Расход аргона в л/мин (только на сварку)	Расход в л на 1 пог. м шва при скорости сварки в м/час								
			Сварка								
			ручная				механизированная				
			4	6	10	15	10	15	20	25	30
Алюминиевые сплавы	1	6	—	—	36	24	—	—	—	15	12
	1,5—3	7	—	70	42	28	—	—	21	17	14
	5 и выше	15	—	150	90	—	—	60	45	36	30
Магнелиевые сплавы	1	7	—	—	42	28	—	—	—	17	14
	3	10	—	100	60	40	—	—	30	24	20
	5 и выше	18	—	180	108	—	—	72	54	42	36
Низко- и средне-легированные стали	1	5	—	—	30	20	—	20	15	—	—
	3	8	—	80	48	—	48	32	24	—	—
Нержавеющие стали	0,5	3	—	—	18	12	—	—	—	—	6
	0,8—1,0	4	—	—	24	16	—	—	—	10	8
	1,2—1,5	6	—	—	36	24	—	—	18	15	12
	2,0—3,0	8	—	80	48	—	—	32	24	19	16
Титановые сплавы	1,5	5	—	—	30	20	—	20	15	12	10
	1,0	6	—	60	36	24	—	24	18	15	12
	1,5—3,0	7	105	70	42	—	—	28	21	17	—

При нормировании расхода газа следует учитывать расход в количестве 15% на продувку газопровода перед началом работы, на неиспользуемый остаток в баллоне (3—4 ати), на сварку контрольных образцов и на подварку дефектов сварных швов.

При выполнении коротких швов (менее 50 мм) и при сварке мелкой арматуры диаметром менее 20 мм данные табл. 10 и 11 необходимо умножать на коэффициент $K = 1,2$.

Расход газа на прихватку составляет примерно 0,2 от общего расхода газа на сварку.

При сварке с применением газовой защиты обратной стороны шва дополнительный расход газа должен составлять 30—50% от расхода на сварку.

Расход гелия рекомендуется определять по нормативам на расход аргона, вводя поправочный коэффициент 1,3.

При ориентировочном подсчете расхода газа V одним постом за рабочую смену можно пользоваться следующей формулой:

$$V = K \eta t q,$$

где q — часовой расход газа;

t — продолжительность рабочей смены;

II. Расход аргона в л на 1 пог. м шва для соединений в стык и внахлестку при сварке плавящимся электродом

Свариваемый материал	Толщина в мм	Расход аргона в л/мин (только на сварку)	Расход в л на 1 пог. м шва при скорости сварки в м/час								
			15	20	25	30	40	50	60	75	90
Алюминиевые сплавы	2—5	8	—	—	19	16	13	12	10	10	10
	6—8	10	—	30	24	20	16	14	13	12	11
	10	13	52	39	31	26	22	19	17	14	14
	12	15	60	45	36	30	25	22	19	17	16
	и выше										
Магниевого сплавы	2—5	8	—	—	19	16	13	12	10	10	10
	6—8	10	—	30	24	20	16	14	13	12	11
	10	13	52	39	31	26	22	19	17	14	14
	12	15	60	45	36	30	25	22	19	17	16
	и выше										
Нержавеющие стали	2—3	6	—	—	—	—	10	8	8	7	6
	4—5	8	—	—	—	—	13	12	10	10	10
	6—8	10	—	—	—	—	16	14	13	12	11
	10	12	—	—	—	24	20	17	15	14	13

$\eta_{\text{п}}$ — коэффициент использования поста (при ручной сварке $\eta_{\text{п}} = 0,5 \div 0,6$);
 K — коэффициент, учитывающий дополнительный расход газа на продувку шлангов и горелки до и после сварки; обычно принимается равным 1,15.

Защитные свойства струи инертного газа зависят не только от чистоты газа, но и от параметров струи, а также от режима сварки.

Одним из наиболее наглядных способов оценки защитных свойств является определение диаметра зоны катодного распыления при возбуждении дуги переменного тока между вольфрамовым электродом и свариваемым металлом. В период, когда катодом является свариваемый металл, происходит вырывание частиц металла с поверхности сварочной ванны и соседних зон относительно холодного металла. Степень катодного распыления зависит от массы положительных ионов, которые при сварке бомбардируют катод. Так, в среде аргона наблюдается более интенсивное катодное распыление, чем в среде гелия. По убывающей склонности к катодному распылению металлы можно расположить в следующем порядке: Mg, Al, Si, Zn, W, Fe, Ni, Pt, Cu, Bi, Sn, Sb, Pb, Ag, Cd [2].

Для большинства случаев сварки с применением защитных сопел диаметром до 20—25 мм величина неокисленной зоны катодного распыления может служить количественной характеристикой защитных свойств струи аргона.

На фиг. 80 представлены неокисленные зоны катодного распыления, полученные при возбуждении дуги переменного тока на поверхности нержавеющей стали, алюминия и титана.

На фиг. 81 и 82 представлена зависимость величины зоны катодного распыления от расхода аргона при разных сварочных токах, диаметрах сопел и расстояниях сопел от поверхности свариваемого изделия.

На фиг. 83 показаны разные формы сопел и соответствующие им величины зон катодного распыления при разных расходах аргона.

Горелки для дуговой сварки в среде защитных газов должны обеспечивать защиту электрода и сварочной ванны. Поток защитного газа должен направ-

вляться концентрически относительно электрода. Форма и размеры выходного сопла, а также скорость истечения газа выбираются такими, при которых в наибольшей степени обеспечивается ламинарный характер потока газа с наименьшим перемешиванием защитного газа с воздухом.

При проектировании горелок необходимо иметь в виду следующее.

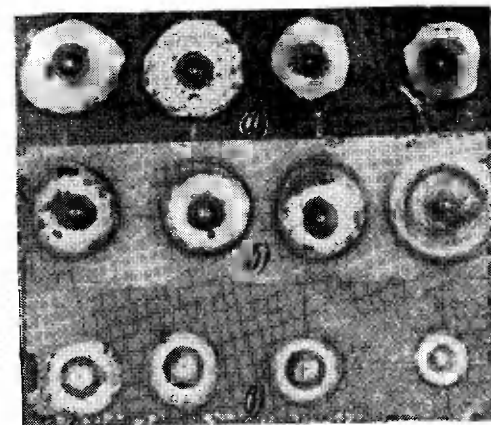
1. Сопло горелки должно заканчиваться цилиндрической частью на длине, равной диаметру выходного отверстия (не менее).

2. Для широко применяемых режимов сварки диаметр выходного отверстия сопла при сварке вольфрамовым электродом должен быть равен 12—18 мм. При сварке плавящимся электродом вследствие большего возмущения потока дугой следует применять сопла большего диаметра (14—20 мм и более). Распирение защитной зоны за счет увеличения диаметра сопла связано с увеличением расхода защитного газа. При ручной аргоно-дуговой сварке тонколистовых материалов для удобства сварки следует снабжать горелки соплами диаметром не менее 7 мм.

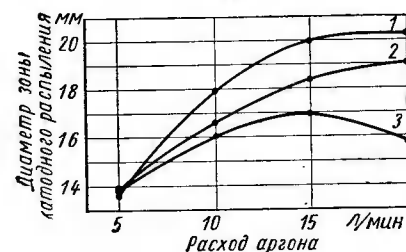
3. Внутри сопла, вблизи от выхода, необходимо избежать образования отдельных струй с высокой скоростью истечения. Для этой цели на их пути следует устанавливать отражатели или располагать выходные каналы перпендикулярно стенке сопла.

4. Внутренние кромки сопла следует выполнять без закруглений. Кромки всегда должны быть чистыми, без брызг металла и т. п.

5. Оптимальная защита сварочной ванны достигается при расстоянии не более 10 мм; максимальное расстояние не должно превышать 15—18 мм, так как при дальнейшем увеличении расстояния защита свариваемого металла значительно ухудшается.



Фиг. 80. Неокисленные зоны катодного распыления: а — нержавеющая сталь; б — алюминий; в — титан.



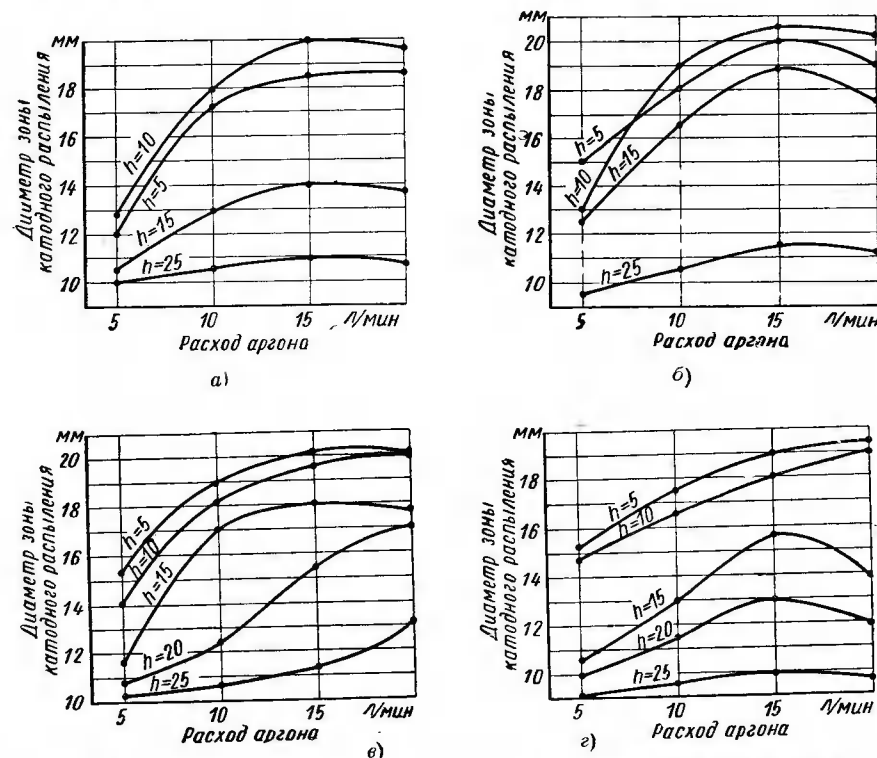
Фиг. 81. Зависимость диаметра неокисленной зоны катодного распыления от расхода аргона при разных сварочных токах: 1 — $I = 75$ А; $t = 3,8$ сек.; 2 — $I = 100$ А; $t = 2,6$ сек.; 3 — $I = 130$ А; $t = 2,1$ сек. Диаметр сопла 16 мм; расстояние от сопла до свариваемого изделия 10 мм.

Вольфрам

Вольфрам применяется при дуговой сварке в среде инертных газов в качестве материала для неплавящихся электродов. Основные физические свойства вольфрама [1]:

Плотность при 20° С	19,35 Г/см ³
Коэффициент линейного расширения при 0—100°	$4,4 \cdot 10^{-6}$
Температура плавления	3377° С
Температура кипения	~ 5000° К

Удельная теплоемкость при 20°	0,0323 кал/г·°С
Удельная теплопроводность при 20°	0,4 кал/см·сек·°С
Удельное электросопротивление при 0° С	$5,035 \cdot 10^{-6}$ ом·см
Температурный коэффициент электросопротивления в интервале 20—100° С	$4,82 \cdot 10^{-3}$
Твердость НВ	350 кг/мм ²



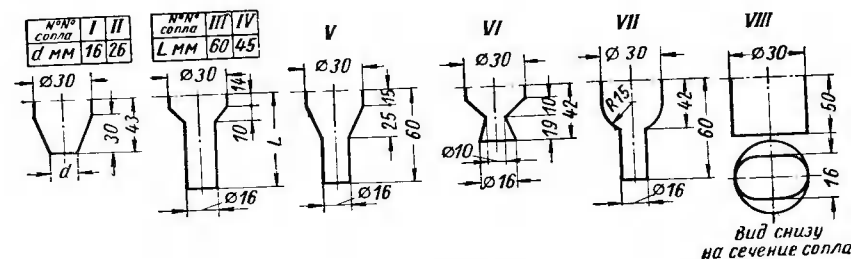
Фиг. 82. Зависимость диаметра зоны катодного расплавления от расхода аргона при разных расстояниях (h) от сопла до свариваемого изделия. Диаметры сопла в мм: а — 8; б — 12; в — 16; г — 20.

Теплофизические свойства вольфрама в зависимости от температуры представлены на фиг. 84.

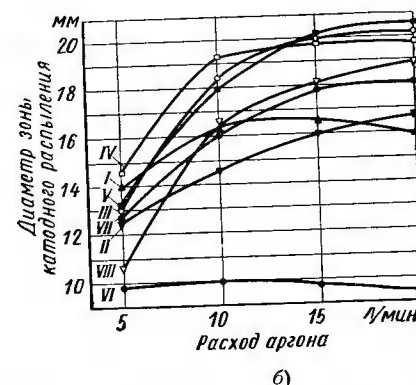
Вольфрам содержится в земной коре в количестве $7 \cdot 10^{-3}$ %, главным образом в виде минералов шеелита ($\text{CaO} \cdot \text{WO}_3$) и вольфрамитов ($(\text{FeO}, \text{MnO}) \text{WO}_3$). Химической обработкой этих минералов получают трехокись вольфрама WO_3 , которую затем восстанавливают водородом при температуре 500—850° до получения порошкообразного вольфрама.

Металлический вольфрам высокой чистоты (99,7%) можно получать также электролизом расплава вольфрамитов или шеелита с бурой при температуре 1050—1300° С. Порошковый вольфрам подвергается прессованию, спеканию и свариванию. Дальнейшей прокаткой и волочением получают тонкие прутки и проволоку диаметром до 0,01 мм.

При сварке переменным током применяют прутки из чистого вольфрама: тянутые диаметром от 0,5 до 3,0 мм или кованные диаметром до 7—8 мм (ТУ ВМ2—529-57).



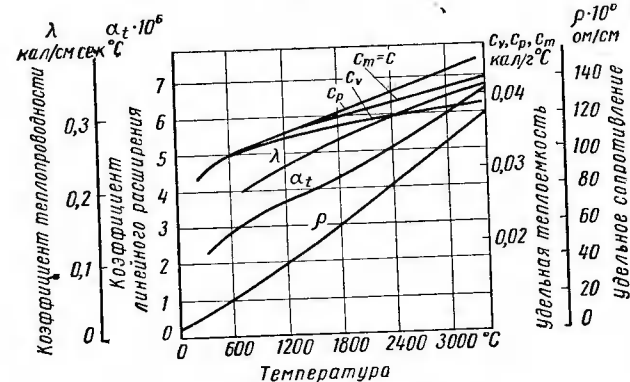
а)



б)

Фиг. 83. Формы сопла (а) и соответствующие им зоны катодного расплавления при разных расходах аргона (б).

Для сварки постоянным током прямой полярности применяется вольфрам марки ВТ-15 по ведомственной нормали НИО.021.612. Вольфрам марки ВТ-15 содержит 1,5—2,0% окиси тория и других примесей не более 0,09%. Прутки из торированного вольфрама выпускаются диаметром от 1 до 7,5 мм.

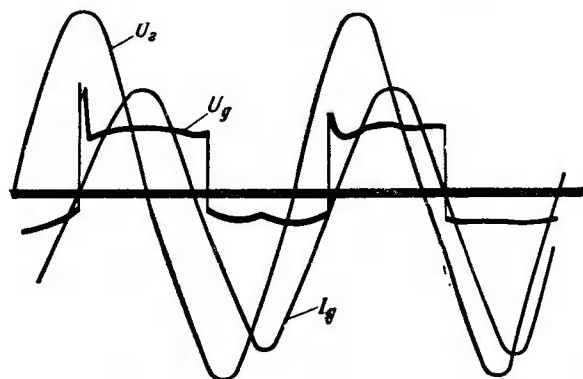


Фиг. 84. Зависимость теплофизических коэффициентов вольфрама от температуры.

За счет присадки окиси тория значительно повышается эмиссионная способность электрода, снижается катодное падение напряжения, уменьшается температура конца электрода. При сварке торированным электродом отсутствует

требуется источник питания напряжением холостого хода не менее 200 в, а при сварке меди — не менее 300 в.

На практике применение трансформаторов с таким высоким напряжением холостого хода экономически нецелесообразно и требует специальных мер по



Фиг. 86. Параметры дуги переменного тока при сварке вольфрамовым электродом в среде аргона.

обеспечению безопасности работы сварщика. Поэтому пользуются трансформаторами стандартного напряжения, а для возбуждения дуги применяют генераторы импульсов высокого напряжения (стабилизаторы).

Вследствие значительной разницы в свойствах вольфрамового электрода и свариваемого металла кривая напряжения дуги имеет несимметричную форму; в ней имеется постоянная составляющая, которая, в свою очередь, вызывает появление в сварочной цепи постоянной составляющей тока i_{2n} . Величина последней обуславливается суммарным омическим сопротивлением сварочной цепи [3].

Кривая сварочного тока выражается формулой

$$i_2 = -\frac{U_0}{r_2} + \sum_{k=1}^{\infty} B_k \sin(k\omega t + \beta_k),$$

где U_0 — постоянная составляющая напряжения дуги;
 r_2 — омическое сопротивление сварочной цепи;
 B_k и β_k — амплитудные значения тока и фазы k -й гармоники;
 ω — угловая частота;
 t — время.

Постоянная составляющая сварочного тока создает постоянное магнитное поле в сердечнике трансформатора и дросселя. Это приводит к искажению формы кривой тока и уменьшению коэффициента мощности дуги и понижению устойчивости ее горения. При этом увеличивается ток холостого хода трансформатора, что приводит к неполному использованию его мощности.

Постоянная составляющая тока в сварочной цепи влияет на качество аргоно-дуговой сварки алюминиевых сплавов. При сварке этих сплавов сварочная ванна даже при небольшом содержании O_2 и N_2 в аргоне оказывается покрытой тугоплавкой пленкой оксидов и нитридов, препятствующих сплавлению кромок и формированию шва.

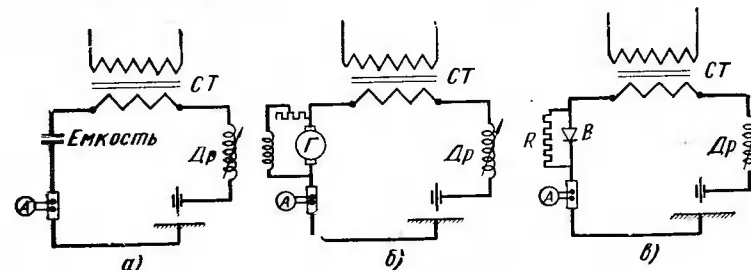
При дуговой сварке в среде инертных газов, когда катодом является изделие, благодаря катодному распылению происходит разрушение окисной и нитридной пленки и, таким образом, улучшается сплавление кромок и формирование шва.

При сварке переменным током очищающее действие дуги проявляется в те полупериоды, когда катодом является изделие. Поэтому уменьшение тока в указанные полупериоды, т. е. возникновение в цепи постоянной составляющей тока приводит к загрязнению поверхности сварочной ванны, затруднению сплавления свариваемых кромок и ухудшению формирования шва.

При сварке возможно полное выпрямление сварочного тока, когда из-за недостаточного напряжения источника питания дуга не возбуждается в полупериоды обратной полярности, и частичное, — когда ток в полупериоды обратной полярности меньше, чем в полупериоды прямой полярности.

Полное выпрямление устраняется одним из следующих способов:

- 1) питанием дуги от трансформатора с повышенным напряжением холостого хода (аппараты УРСА-350 и УРСА-600 завода «Электрик» $U_{х-х} = 200$ в);
- 2) питанием дуги от стандартного сварочного трансформатора с $U_{х-х} = 65$ в с наложением высокочастотного разряда от осциллятора;



Фиг. 87. Схемы питания дуги переменного тока при сварке вольфрамовым электродом.

- 3) питанием дуги от стандартного сварочного трансформатора с параллельным подключением генератора импульсов высокого напряжения 250—300 в [4—6]. Импульсы подаются на дугу синхронно со сменой полярности на обратную (источники питания УДАР-300, УДАР-300-1, УДАР-500, ИПК-350 и др.). Частичное выпрямление уменьшается или полностью устраняется одним из следующих способов.

1. Включением в сварочную цепь батарей неполярных конденсаторов (фиг. 87, а). При этом емкость подбирается по максимальному току из расчета 300 мкф на 1 а. Достоинством этого способа является отсутствие активных потерь, увеличение $\cos \phi$ и улучшение условий эксплуатации трансформатора.

2. Включением в сварочную цепь батарей аккумуляторов или генератора постоянного тока (фиг. 87, б) с э. д. с., направленной встречно постоянной составляющей напряжения дуги. Указанный способ применяется реже, так как дополнительные источники постоянного тока усложняют условия эксплуатации сварочного поста.

3. Включением в сварочную цепь однополупериодного выпрямителя, зашунтированного сопротивлением (фиг. 87, в). Полупроводниковые выпрямительные шайбы включаются таким образом, чтобы они пропускали ток в полупериоды, когда катодом является изделие. В другие полупериоды выпрямитель заперт, и величина тока в сварочной цепи ограничивается сопротивлением, шунтирующим выпрямитель.

Этот способ подавления постоянной составляющей связан с потерями энергии на активное сопротивление, шунтирующее выпрямитель.

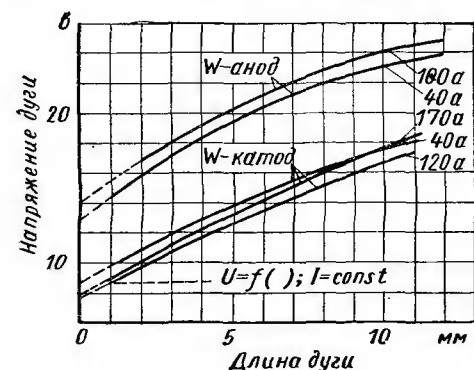
4. Уменьшения постоянной составляющей можно достигнуть путем включения в сварочную цепь активного и индуктивного сопротивления. Этот способ требует повышенного напряжения холостого хода и связан со значительными потерями энергии.

Современные источники переменного тока состоят из сварочного трансформатора, дросселя насыщения, осциллятора для первоначального возбуждения

дуги, генератора импульсов высокого напряжения (стабилизатора) для повторного возбуждения дуги и батареи конденсаторов для подавления постоянной составляющей тока (см. фиг. 14 на стр. 376).

Особенности дуги постоянного тока

Дуга постоянного тока с вольфрамовым электродом в среде инертных газов благодаря отсутствию смены полярности отличается высокой устойчивостью разряда. В зависимости от направления тока дуга имеет различные свойства. При обратной полярности (катод на изделии) напряжение дуги выше, чем при прямой полярности (фиг. 88). Градиент напряжения дуги равен около 0,9 в/мм. На аноде — вольфраме выделяется большое количество энергии, что приводит к значительному разогреву и оплавлению конца электрода. Это вынуждает применять при обратной полярности очень низкие плотности тока на электроде. Практически дуга обратной полярности с вольфрамовым электродом для целей сварки почти не применяется.



Фиг. 88. Напряжение дуги: W — нержавеющая сталь [7].

катодного пятна по поверхности конца электрода, а также взаимодействие с окружающим магнитным полем.

Для повышения устойчивости дуги и уменьшения блуждания применяют вольфрамовые электроды с эмиссионными активизаторами (окислами тория, циркония и др.), которые значительно снижают температуру катодного пятна и уменьшают оплавление конца электрода. В этом случае конец электрода можно затачивать на конус, благодаря чему ограничивается блуждание катодного пятна.

Выбор рода тока

При сварке алюминиевых и магниевых сплавов окисные пленки на поверхности металла препятствуют сплавлению кромок соединения. Поэтому для аргоно-дуговой сварки указанных металлов рекомендуется применять переменный ток, при котором в полупериоды обратной полярности происходит очищение сварочной ванны за счет катодного распыления.

Сварку других металлов и сплавов можно выполнять постоянным и переменным током. Оценка свариваемости металла при разных родах тока дана в табл. 14.

Технология сварки

Дуговую сварку в среде инертных газов неплавящимся электродом можно выполнять как с присадкой, так и без присадки. При сварке без присадки шов образуется за счет расплавления кромок свариваемого металла.

Основные типы сварных соединений, выполняемых дуговой сваркой вольфрамовым электродом в среде инертных газов, показаны в табл. 15.

Сварку можно выполнять вручную, а также с помощью автоматов и полуавтоматов.

14. Выбор рода тока для дуговой сварки вольфрамовым электродом

Материал	Переменный	Постоянный ток	
		Прямой полярности	Обратной полярности
Малоуглеродистая сталь Низко- и среднелегированная сталь Нержавеющие хромоникелевые высоколегированные стали Жаропрочные хромоникелевые сплавы	у	х	н. р.
Алюминий и его сплавы Магниевые сплавы	х	н. р.	у
Медь и медные сплавы	н. р.	х	н. р.
Титан и его сплавы Цирконий, молибден, тантал и другие активные металлы Серебро	у	х	н. р.
Примечание. х — хорошая свариваемость, у — удовлетворительная, н. р. — не рекомендуется.			

15. Основные типы соединений и подготовка кромок при автоматической аргоно-дуговой сварке вольфрамовым электродом

Вид соединения	Форма разделки кромок под сварку	Толщина материала в мм	Величина зазора в мм при сварке		h в мм	r в мм
			без присадки	с присадкой		
В стык		0,4—0,6 0,6—0,8 1,0—2,0 2,0—3,0 3,0—4,0	0—0,10 0—0,15 0—0,25 0—0,30 —	0—0,15 0—0,20 0—0,30 0—0,40 0—0,50	— — — — —	— — — — —
		0,8—2,0	0—0,3	0—0,4	—	—
		0,6—1,0 1,0—2,0 2,0—3,0 3,0—4,0 3,0—4,0	0—0,2 0—0,3 0—0,3 — —	0—0,20 0—0,30 0—0,40 0—0,50 —	— — — — —	— — — — —

Вид соединения	Форма разделки кромок под сварку	Толщина материала в мм	Величина зазора в мм при сварке		h в мм	r в мм
			без присадки	с присадкой		
В стык с отбортовкой		0,5—1,0 1,0—2,0 2,0—2,5	0—0,5 0—0,8 0—1,0	0—0,5 0—0,8 0—1,0	2 3 4	1 1,5 2,5
		0,5—1,0 1,0—2,0 2,0—2,5	— 0—0,5 —	0—0,2 0—0,5 —	2 3 4	1 1,5 2,5
Т-образное		0,8—1,0 1,0—2,0	0—0,2 0—0,3	0—0,2 0—0,3	2 3	— —
		0,8—1,0 1,0—1,5	— 0—0,5	— 0—0,5	2 3	1 1,5
В стык		3—12	—	0,5—1,0	1,5—2	—
Внахлестку		0,8—2,0 2,0—10,0	0—0,5 —	— 0—0,8	2 (δ+δ₁)	— —
Угловые		0,8—1,5 1,5—3,0	— —	0—0,5 0—0,8	— —	— —
		3—12	—	0—0,8	—	—

Для качественной автоматической и полуавтоматической сварки металлов, особенно тонколистовых, необходимо обеспечить точную сборку и подгонку свариваемых кромок. Допускаемые зазоры при автоматической сварке приведены в табл. 15. При сборке и сварке следует избегать смещения свариваемых кромок друг относительно друга. Для этого сварку необходимо производить в приспособлениях, обеспечивающих прижим свариваемых кромок к подкладке, как можно ближе к стыку (табл. 16).

Для материалов толщиной от 1 до 6 мм усилие прижима должно составлять от 20 до 30 кГ на 1 пог. см. В случае невозможности осуществления прижима вблизи от свариваемых кромок применяют сварочные головки с прижимным роликом или ползуном, перемещающимся вместе с горелкой по свариваемому стыку. При сварке кольцевых швов применяются разжимные кольца или наружные стяжные хомуты.

При сварке активных металлов (титана, циркония, некоторых высоколегированных сталей и сплавов и других материалов) часто бывает необходимо защищать от взаимодействия с воздухом обратную сторону шва. Для этого применяют подкладки, ограничивающие под швом циркуляцию воздуха, или поддув инертного газа.

Подкладки для защиты обратной стороны имеют продольные канавки вдоль свариваемого стыка глубиной 0,3—2,0 мм и шириной, равной 5—10-кратной толщине свариваемого металла. Для сварки сталей и жаропрочных сплавов подкладки изготавливаются из меди, для сварки титана и легких сплавов — из нержавеющей стали.

В тех случаях, когда применение подкладок или поддува аргона невозможно, защиту обратной стороны осуществляют с помощью флюса, наносимого тонким слоем на свариваемые кромки заготовок.

Дуговая точечная сварка вольфрамовым электродом в среде инертных газов. При дуговой точечной сварке в среде инертных газов (см. фиг. 6) соединение получается за счет сквозного проплавления верхнего листа и сплавления его с нижней деталью.

Дуговая точечная сварка в среде инертных газов применяется при изготовлении листовых конструкций с односторонним подходом к местам сварки и для прихватки при сборке. Этот способ сварки может быть успешно применен на малоуглеродистых и нержавеющей сталях, а также на титановых сплавах. На алюминиевых сплавах из-за наличия на поверхности тугоплавких окислов пленок не удается получить соединения стабильного качества.

Дуговая точечная сварка в среде инертных газов имеет следующие преимущества:

- 1) позволяет осуществлять сварку при одностороннем подходе;
- 2) не требует дорогого оборудования, как это имеет место при контактной сварке;
- 3) портативность оборудования позволяет осуществлять сварку в монтажных условиях;
- 4) процесс — полуавтоматический и не требует высокой квалификации сварщика;
- 5) сварка может производиться в любых пространственных положениях;
- 6) позволяет получать точечные соединения, по прочности близкие к соединениям, выполненным контактной сваркой.

Для точечной дуговой сварки в среде инертных газов применяются стандартные источники постоянного тока, преобразователи или выпрямители.

Сварка производится постоянным током прямой полярности.

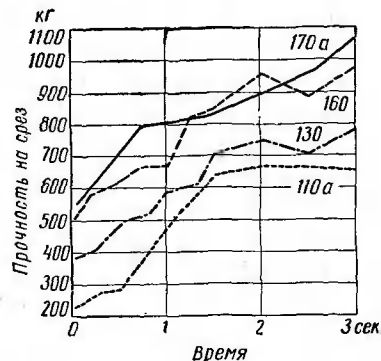
16. Подготовка свариваемого стыка для дуговой сварки вольфрамовым электродом

Толщина свариваемого материала в мм	Допускаемое смещение кромок в мм	Расстояние прижима от стыка в мм (не более)
0,4—0,5	0,15	3
1,8—1,0	0,15	4
1,2—1,5	0,30	5—6
1,5—2,0	0,35	6—8
2,0—3,0	0,40	8—10

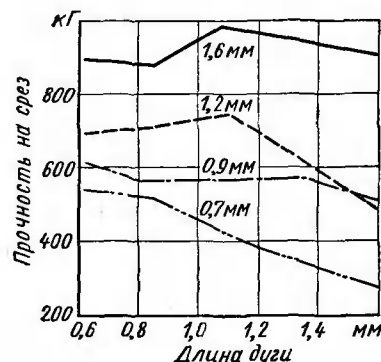
При указанном способе сварки применяются головки или горелки — пистолеты, назначением которых является закрепление электрода, подача защитного газа в зону дуги, возбуждение и поддержание дуги в течение заданного времени.

Во избежание загрязнения сварочной ванны и быстрого расходования вольфрамового электрода дуга возбуждается без соприкосновения электрода с изделием с помощью осциллятора. После возбуждения дуги осциллятор автоматически отключается.

Качество точечных соединений и постоянство их механических свойств зависит главным образом от тока, времени горения и длины дуги (фиг. 89 и 90). Постоянство времени горения дуги обеспечивается применением электронного реле времени.



Фиг. 89. Зависимость прочности точки на срез от времени горения дуги [9].



Фиг. 90. Зависимость прочности точки на срез от длины дуги при разных толщинах материала [9].

Для получения точек без подрезов, трещин и пор необходимо обеспечить замедленную кристаллизацию сварочной ванны. Это достигается двумя путями: повторным кратковременным возбуждением дуги [8] и плавным уменьшением сварочного тока [9].

В качестве электродов применяются торированные вольфрамовые прутки, заточенные на конце под углом 40—60°. Оптимальной защитной средой, обеспечивающей стабильное возбуждение дуги при хорошей проплавляющей способности, является смесь 40% Ag + 60% He.

Оrientировочные режимы сварки для некоторых сочетаний свариваемых материалов приведены в табл. 17.

Сварка плавящимся электродом

При дуговой сварке плавящимся электродом в среде защитных газов шов образуется за счет проплавления основного металла и расплавления электродной проволоки. Размеры и форма шва зависят при этом не только от мощности дуги, но также и от процесса плавления проволоки, от переноса металла через дуговой промежуток и от взаимодействия газового потока и частиц металла, пересекающих дуговой промежуток, с ванной расплавленного металла.

Поток газов, паров и капель металла в столбе дуги оказывает давление на поверхность сварочной ванны, в результате чего столб дуги погружается в основной металл, увеличивая глубину проплавления.

Поток газов и металла, направляемый от электрода в сторону сварочной ванны, создается благодаря сжимающему действию электромагнитных сил.

17. Режимы аргоно-дуговой точечной сварки малоуглеродистых и нержавеющей сталей (без подкладки)

Толщина свариваемого материала в мм	Сварочный ток в а	Время горения дуги в сек.	Полный цикл сварки в сек.	Диаметр ядра в мм	Минимальное разрушающее усилие среза в кг
Малоуглеродистая сталь					
0,5+0,5	50—70	0,5—1	2—3	3—4	120
0,5+1	70—90	1—2	3—4	4—5	150
1+1	90—130	1—2,5	4—5	5—7	250
1+1,2	90—130	1,2—2,6	4—5	6—8	300
1,5+1,5	90—110	4—7	6—9	7—9	500
1,5+2	90—110	6—16	8—20	7—10	600
Нержавеющая сталь					
0,4+0,4	50—90	0,2—0,3	2	3—3,5	150
0,8+0,8	70—120	0,8—1,8	3	4—5	250
0,8+1	80—130	1,2—2,5	4	5—6	400
0,8+1,2	90—140	1,3—2,6	5	5—7	400
1+1	90—140	1,3—2,6	5	5—7	400
1+1,5	90—140	2,5—4	6—7	6,5—7,5	500
1,5+1,5	90—140	3—6	8—10	7—8	700
1,5+2	90—130	4—7	9—11	8—9,5	800
1,5+2,5	90—130	6—12	10—15	8—10	900
2+2,5	100—130	8—16	12—24	9—12	1200

Аксиальная сила F воздействия дугового потока на сварочную ванну пропорциональна квадрату тока,

$$F = KI^2.$$

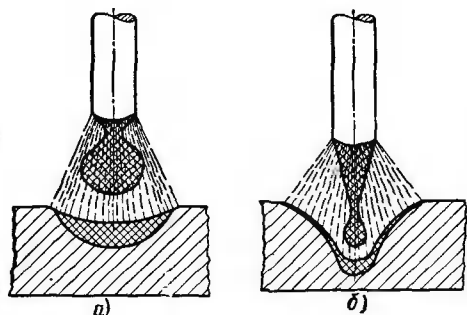
Аксиальная сила зависит от условий сварки (табл. 18).

18. Зависимость коэффициента K от условий сварки в среде аргона

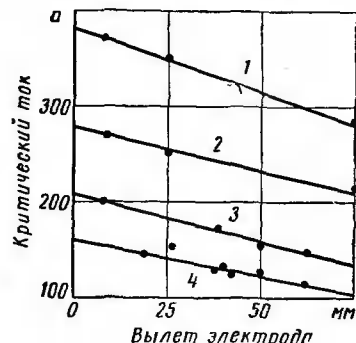
Электрод		Полярность	K в Г/а	Источник
Материал	Диаметр в мм			
Вольфрам	2—5	Прямая	$2,3 \cdot 10^{-5}$	[10]
	1,6		$3,7 \cdot 10^{-5}$	
	2,0		$3,1 \cdot 10^{-5}$	
Сталь	1,6	Обратная	$3,8 \cdot 10^{-5}$	[11]
	2,0		$3,6 \cdot 10^{-5}$	
	3,0		$3,3 \cdot 10^{-5}$	
	4,0		$2,8 \cdot 10^{-5}$	
	5,0		$1,8 \cdot 10^{-5}$	

Интенсивность механического воздействия дуги на сварочную ванну характеризуется ее давлением, которое будет тем больше, чем концентрированнее поток газа и металла. Концентрация потока металла увеличивается с уменьшением диаметра капели.

Размер капели электродного металла определяется составом металла и защитного газа, а также направлением и величиной тока. При сварке стали и некоторых сплавов током, превышающим некоторый критический [12], капельный перенос металла (фиг. 91, а) сменяется струйным (фиг. 91, б). В этом случае



Фиг. 91. Схема переноса металла в дуге при сварке плавящимся электродом в среде защитных газов: а — капельный; б — струйный.



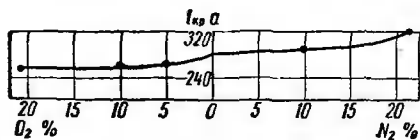
Фиг. 92. Зависимость критического тока от вылета электрода [13]. Диаметры электрода в мм: 1 — 2,4; 2 — 1,6; 3 — 1,1; 4 — 0,7.

сжимающее действие тока становится настолько большим, что расплавленный металл на конце электрода стекает в дуговой промежуток в виде конической струи.

Критический ток для проволоки марки 1Х18Н9Т разных диаметров при горении дуги в среде аргона имеет следующие значения:

Диаметр электрода в мм	1,0	1,6	2,0	2,5	3,0
Критический ток в а	190	240	280	320	350

Критический ток зависит также от вылета электрода [13] (фиг. 92).

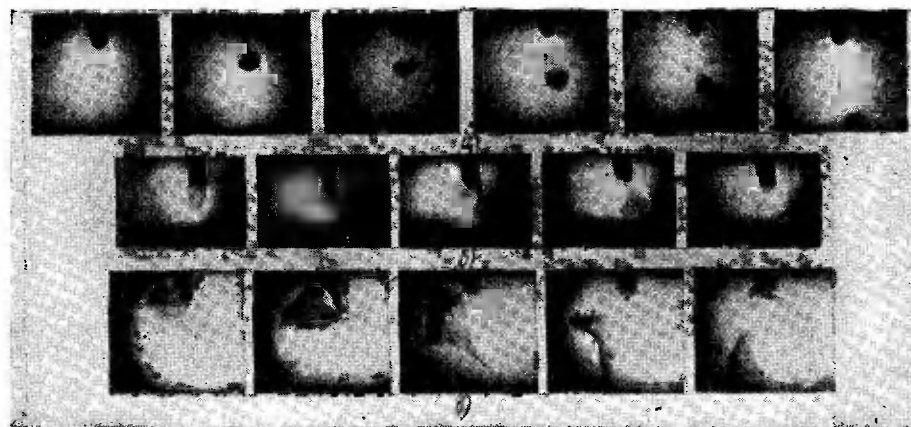


Фиг. 93. Влияние примесей азота и кислорода в аргоне на критический ток.

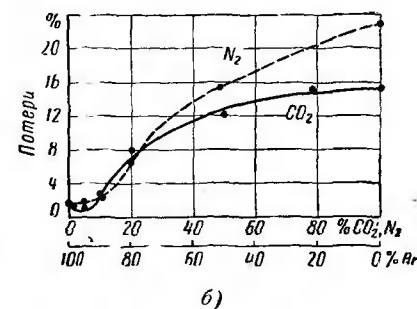
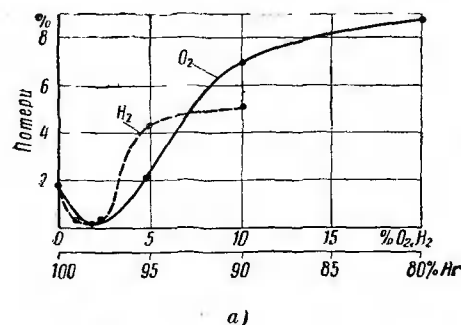
ние, тем больше критический ток. Следовательно, критический ток определяется составом защитного газа [14], так как последний обуславливает поверхностное натяжение. Критический ток увеличивается при добавке к аргону азота или водорода и уменьшается при добавке кислорода (фиг. 93). Перенос металла в дуге в разных средах показан на фиг. 94.

С изменением состава защитного газа изменяется разбрызгивание металла при сварке (фиг. 95).

На величину критического тока влияет также активация электрода щелочными и щелочно-земельными элементами путем введения их в состав проволоки или нанесения на поверхность в небольшом количестве, около 0,003% от веса



Фиг. 94. Перенос металла в дуге при сварке в разных защитных газах [14]: а — Ar; б — Ar + 10% H₂; в — CO₂.



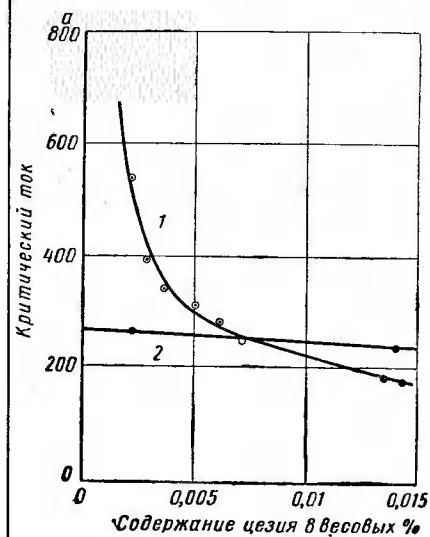
Фиг. 95. Влияние состава защитного газа на разбрызгивание металла [14]. а — примеси H₂ и O₂; б — примеси N₂ и CO₂.

электрода [15]. Это влияние в наибольшей степени проявляется при сварке током прямой полярности (фиг. 96).

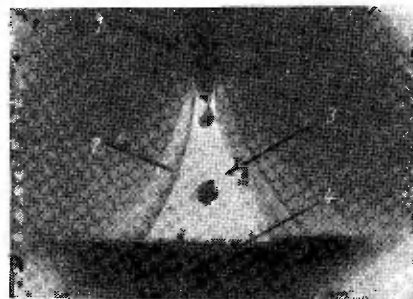
При сварке плавящимся электродом в среде инертных газов дуга имеет форму конуса. Дуговой столб состоит из двух зон: внутренней и внешней (фиг. 97). Перенос металла происходит в пределах внутренней яркой зоны, имеющей наибольшую температуру. Ее атмосфера заполнена светящимися парами металла. Внешняя зона, менее яркая, представляет собой ионизированный газ.

При переходе к струйному переносу металла, а также при укорочении дуги увеличивается давление и повышается интенсивность теплового потока в сварочную ванну. С увеличением тока увеличивается проплавление основного металла (фиг. 98) и при переходе к струйному переносу металла в ванне шва появляется местное углубление (фиг. 99, а, б, в).

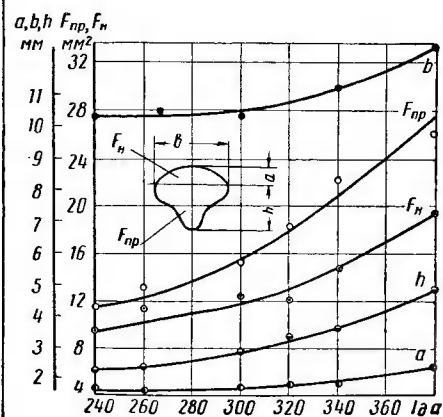
Влияние длины дуги и диаметра электрода на проплавление основного металла показано на фиг. 100 и 101. От состава защитного газа зависит напряжение дуги (фиг. 102) и, следовательно, тепловая мощность дуги, а также характер переноса металла в дуге (см. фиг. 94). В соответствии с этим изменяются форма и размеры проплавления (фиг. 103).



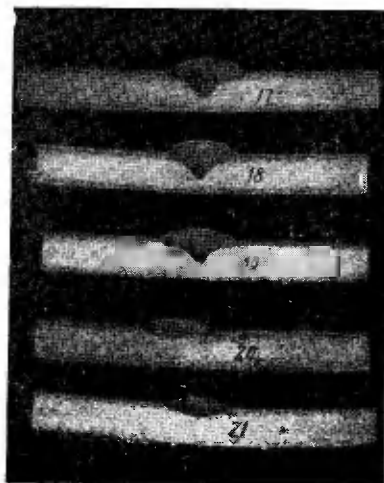
Фиг. 96. Зависимость критического тока от степени активации [13]: 1 — постоянный ток прямой полярности; 2 — постоянный ток обратной полярности.



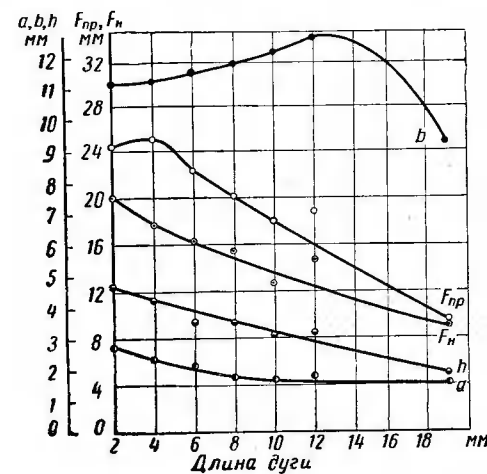
Фиг. 97. Схема дуги при сварке плавящимся электродом в среде аргона: 1 — плавящийся электрод; 2 — внешняя зона дуги; 3 — внутренняя зона дуги; 4 — сварочная ванна.



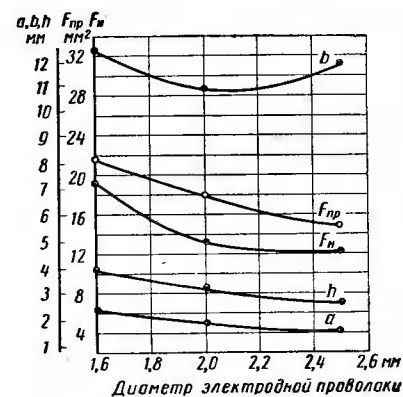
Фиг. 98. Зависимость размеров шва от тока (обратная полярность)



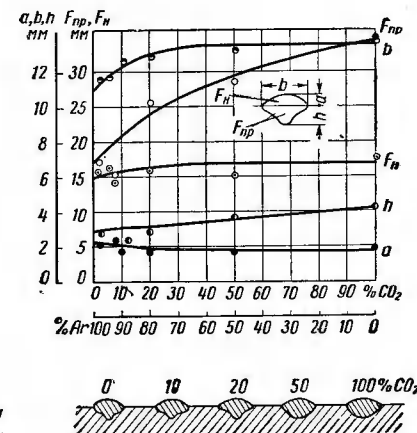
Фиг. 99. Форма проплавления в зависимости от тока. Образцы: 17 — 480 а; 18 — 420 а; 19 — 380 а; 20 — 350 а; 21 — 300 а



Фиг. 100. Зависимость размеров шва от внешней составляющей длины дуги (обратная полярность: $I_0 = 300$ а).

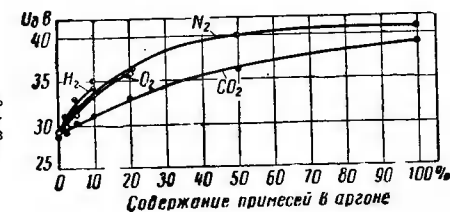


Фиг. 101. Зависимость размеров шва от диаметра электродной проволоки (обратная полярность: $I_0 = 280$ а)



Фиг. 103. Форма и размеры проплавления в зависимости от состава защитной смеси Ar-CO₂

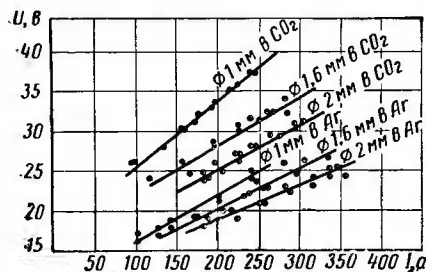
Фиг. 102. Зависимость напряжения дуги от состава защитного газа [14].



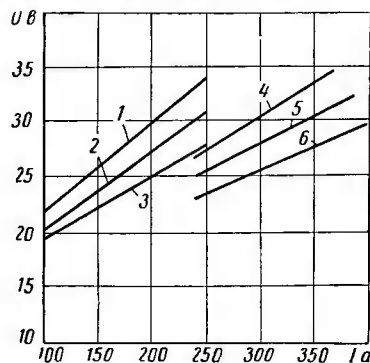
Саморегулирование дуги и источники тока

При сварке плавящимся электродом в среде защитных газов от длины дуги зависят проплавление основного металла, формирование шва, разбрызгивание электродного металла, плотность наплавленного металла. Необходимым условием для получения постоянного высокого качества сварных соединений является поддержание постоянной длины дуги.

Постоянство длины дуги можно обеспечить применением системы автоматического регулирования скорости подачи проволоки в зависимости от напряжения дуги при питании ее от источника тока с падающей внешней характеристикой. Однако из-за низкого градиента потенциала в столбе дуги, равного 7–12 в/см, система регулирования скорости подачи проволоки в зависимости от напряжения дуги оказывается весьма сложной.



Фиг. 104. Вольт-амперные характеристики дуги с электродами из стали ОХ18Н9 [18].



Фиг. 105. Вольт-амперные характеристики дуги с электродами из алюминиевых сплавов [19]. Длина дуги в мм для диаметра проволоки 1,5 мм: 1 — 12; 2 — 9; 3 — 6; для диаметра проволоки 3 мм: 4 — 18; 5 — 15; 6 — 12.

При сварке в среде защитных газов широко применяется система подачи проволоки с постоянной скоростью. Постоянство длины дуги в этом случае поддерживается за счет саморегулирования. Интенсивность саморегулирования дуги зависит от статических характеристик дуги и источника тока.

Условием устойчивости дуги является соотношение

$$K_u = \left[\frac{\partial U_d}{\partial I} - \frac{\partial U_u}{\partial I} \right] > 0, \quad (1)$$

где K_u — коэффициент устойчивости системы «источник питания — сварочная дуга».

Дуга имеет возрастающую статическую характеристику, т. е. напряжение дуги растет с увеличением тока. Положение статической характеристики относительно осей координат $U-I$ зависит от состава и диаметра электродной проволоки, а также от состава защитного газа. В качестве примера на фиг. 104 и 105 приведены характеристики некоторых сварочных дуг. При сварке в среде аргона, гелия и углекислого газа

$$\frac{\partial U_d}{\partial I} \approx 0,03 \div 0,08 \text{ в/а.}$$

На основании условия (1) при возрастающей характеристике дуги внешняя характеристика источника питания может быть не только падающей, но и жесткой и возрастающей.

Электрические параметры дуги определяются точкой пересечения статических характеристик дуги и источника тока. При указанном режиме дуги длина

ее автоматически поддерживается постоянной, если скорость плавления электродной проволоки v_p равна скорости ее подачи v_n , т. е.

$$v_p = v_n.$$

На фиг. 106 показаны две характеристики дуги длиной l_1 и l_2 и внешние характеристики источника питания (1, 2, 3 и 4), имеющие различный наклон к оси I . При заданном режиме и характеристике 1 источника питания удлинение дуги с l_1 до l_2 связано с уменьшением тока с I_1 до I'_2 . При этом скорость плавления электрода уменьшается и дуга восстанавливает свою первоначальную длину.

При уменьшении напряжения холостого хода источника питания (характеристики 2, 3 и 4 на фиг. 106) одному и тому же изменению длины дуги соответствует большее изменение тока. Поэтому с уменьшением напряжения холостого хода источника питания интенсивность саморегулирования дуги повышается.

Благодаря саморегулированию дуги отклонения по ее длине отбрасываются в соответствии со следующим законом [16]:

$$l_d = l_0 e^{K_c t} = l_0 e^{-\frac{t}{T_c}},$$

где l_0 — текущее значение отклонения дуги; $T_c = -\frac{1}{K_c}$ — постоянная времени саморегулирования в сек. Отработка отклонения практически заканчивается при $t_{om} \approx 3T_c$, так как в этот момент $l_d = 0,95l_0$.

В табл. 19 приведены расчетные данные интенсивности саморегулирования дуги в аргоне при следующем режиме: $d_p = 2$ мм, $I_d = 400$ а, $U_d = 25$ в.

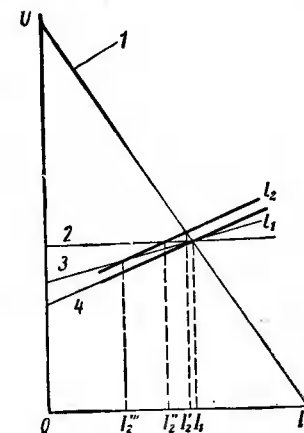
19. Сравнительные расчетные данные интенсивности саморегулирования дуги в аргоне (17)

Форма внешней характеристики	$\frac{\partial U_u}{\partial I}$ в в/а	K_c в сек ⁻¹	T_c в сек.	t_{om} в сек.
Падающая	-0,0875	-1,68	0,595	1,5
Жесткая	~0	-4,2	0,24	0,72
Возрастающая	+0,04	-18,2	0,055	0,165

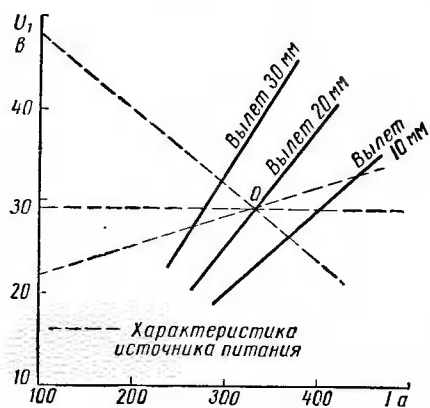
При жесткой внешней характеристике источника тока процесс сварки характеризуется постоянством напряжения дуги независимо от скорости подачи проволоки.

При одинаковой крутизне возрастания характеристики дуги и внешней характеристики источника питания, когда $K_c = \infty$, длина дуги поддерживается постоянной независимо от изменения скорости подачи проволоки.

На фиг. 107 показаны вольт-амперные характеристики дуги при постоянной скорости подачи проволоки для разных вылетов электрода. На этом же графике нанесены внешние характеристики источника тока: падающая, жесткая и возрастающая. Из сопоставления характеристик следует, что с увеличением вылета электрода длина дуги при падающей внешней характеристике источника тока увеличивается, а при возрастающей — уменьшается. В наименьшей степени длина дуги изменяется с изменением вылета электрода при жесткой характе-



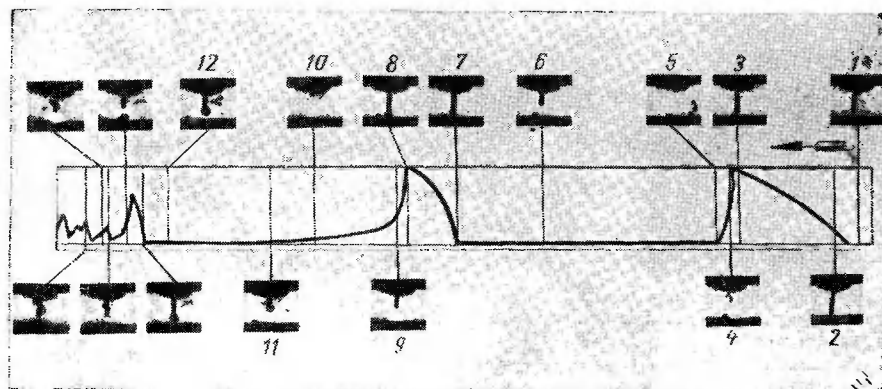
Фиг. 106. Вольт-амперные характеристики дуги и источника питания.



Фиг. 107. Вольтамперные характеристики дуги при постоянной скорости подачи проволоки и разных вылетах электрода.

характеристикой. При неравномерной подаче проволоки рекомендуется применять источники с возрастающей характеристикой.

Для стабильного горения дуги необходимо, чтобы источник тока имел не только необходимые статические внешние характеристики, но и обладал оптимальными динамическими свойствами, от которых зависит скорость возбуждения дуги.



Фиг. 108. Осциллограмма возбуждения дуги, совмещенная с кадрами скоростной киносъемки.

На фиг. 108 показаны осциллограмма тока при возбуждении дуги и отдельные кадры скоростной киносъемки. Полное время возбуждения дуги измеряется временем между моментом соприкосновения электрода с изделием и началом стабильного горения дуги.

На возбуждение дуги и стабильность ее горения влияют некоторые параметры режима сварки. Увеличение сварочного тока при прочих равных условиях сокращает время возбуждения дуги и повышает ее стабильность. С умень-

шении вылета электрода уменьшается время между повторными соприкосновениями электрода с изделием, уменьшается время возбуждения дуги, увеличивается ток короткого замыкания и скорость расплавления электрода на вылете.

ристике источника тока. При определении областей применения разных источников тока необходимо иметь в виду, что наиболее высокая стабильность дуги обеспечивается при жесткой и возрастающей внешней характеристике источника тока. Источники тока с жесткой внешней характеристикой в наибольшей степени обеспечивают постоянство длины дуги при изменении вылета электрода, а источники с возрастающей характеристикой — при колебаниях в скорости подачи проволоки.

Из сказанного следует, что при полуавтоматической сварке, когда возможны значительные изменения вылета электрода, следует применять источники питания с жесткой внешней характеристикой; при автоматической сварке, когда вылет электрода изменяется мало, можно применять источники с жесткой и возрастающей характеристикой.

С увеличением диаметра электрода при одном и том же токе увеличивается время возбуждения дуги, так как уменьшается скорость расплавления электрода на вылете и увеличивается время между повторными соприкосновениями электрода с изделием.

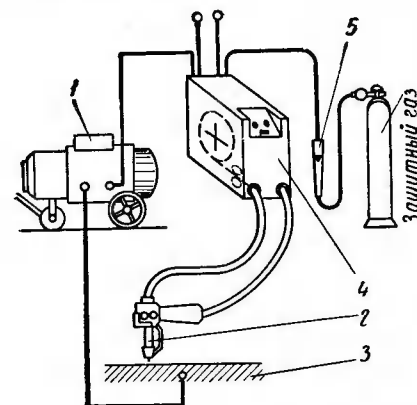
Время возбуждения дуги уменьшается с уменьшением индуктивности источника тока и сварочной цепи. Однако при очень малой индуктивности повышается разбрызгивание металла.

Технология сварки

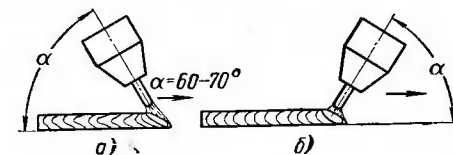
Дуговая сварка в среде инертных газов плавящимся электродом обычно производится постоянным током обратной полярности, так как при прямой полярности наблюдается меньшая стабильность дуги и большее разбрызгивание металла. При прямой полярности коэффициент расплавления электродного металла на 25—30% больше, чем при обратной. Поэтому ток прямой полярности рекомендуется применять при наплавочных работах.

При механизации процесса сварка плавящимся электродом в среде инертных газов отличается высокой производительностью.

В тех случаях, когда применение автоматической сварки затруднительно или экономически нецелесообразно



Фиг. 109. Схема поста полуавтоматической сварки в среде защитных газов плавящимся электродом: 1 — источник питания; 2 — горелка—пистолет; 3 — свариваемое изделие; 4 — шкаф электроаппаратуры; 5 — ротаметр.



Фиг. 110. Положение горелки при полуавтоматической сварке: а — углом вперед; б — углом назад.

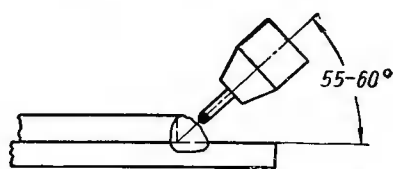
(короткие и криволинейные швы), следует применять полуавтоматическую дуговую сварку плавящимся электродом с помощью плановых полуавтоматов.

Схема поста полуавтоматической сварки показана на фиг. 109. При питании дуги от источника с жесткой характеристикой, когда длина дуги в процессе сварки не изменяется, проплавление и формирование шва регулируются сварщиком при помощи изменения скорости сварки, а также за счет поперечных колебаний электрода. При полуавтоматической сварке качество сварных швов зависит от квалификации сварщика.

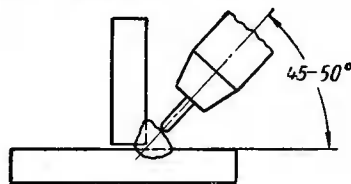
Полуавтоматическая сварка тонколистового материала обычно производится при наклоне электрода в сторону его движения по стыку, — «углом назад» (фиг. 110, б). В этом случае дуга горит стабильнее и шов формируется лучше, чем при вертикальном положении электрода. Однако при сварке «углом назад» затруднено наблюдение за линией стыка. Поэтому в некоторых случаях стыковые швы сваривают «углом вперед» (фиг. 110, а). Стабильность дуги при сварке «углом вперед» ниже, чем при сварке «углом назад».

При сварке нахлесточных соединений электрод направляется под углом $55-60^\circ$ к плоскости соединяемых листов (фиг. 111). При сварке тавровых соединений с вертикальным расположением стенки электрод направляется под углом $45-50^\circ$ к нижней стенке (фиг. 112).

На качество сварки значительное влияние оказывает величина вылета электрода: при увеличении вылета электрода увеличивается скорость его расплавления и соответственно увеличивается доля электродного металла в шве.



Фиг. 111. Полуавтоматическая сварка нахлесточных соединений.



Фиг. 112. Полуавтоматическая сварка тавровых соединений.

С уменьшением вылета электрода улучшаются условия возбуждения дуги и повышается ее стабильность. Однако при очень малом вылете затруднено наблюдение за процессом сварки и сопло горелки быстрее загрязняется брызгами металла. Ниже приводится зависимость оптимального вылета стальной электродной проволоки от ее диаметра.

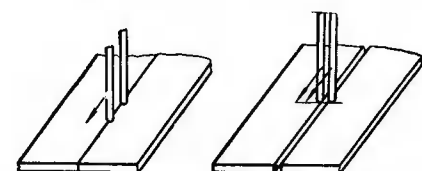
Оптимальный вылет электрода

Диаметр электродной проволоки в мм . . .	0,5	0,8	1,0	1,6	2,0
Вылет электрода в мм	5-7	6-8	8-10	10-12	12-14

С уменьшением плотности тока стабильность дуги понижается. Значения минимального тока, соответствующего стабильному горению дуги при питании от источника тока с жесткой внешней характеристикой, приводятся ниже.

Минимальный ток стабильного горения дуги в среде аргона (стальной электрод)

Диаметр электрода в мм	0,6	1,0	1,6	2,0
Минимальный ток в а	30	50	90	120



Фиг. 113. Различное расположение электродов относительно свариваемого стыка при многоэлектродной сварке.

Сварку можно выполнять при параллельном присоединении электродов к одному источнику тока, при питании каждого электрода от отдельного источника тока и при последовательном присоединении электродов к одному источнику тока. Наиболее эффективен способ сварки двумя и более дугами при параллельном присоединении электродов к одному источнику тока.

При сварке двумя параллельно присоединенными электродами с последовательным их расположением вдоль стыка скорость сварки можно увеличить примерно в 1,5 раза. При последовательном расположении электродов улучшается формирование шва, уменьшается вероятность подрезов, замедляется процесс кристаллизации расплавленного металла, что способствует более полному выделению из сварочной ванны растворенных газов. Многоэлектродная сварка является одним из наиболее эффективных средств устранения пористости в сварных швах.

При поперечном расположении электродов относительно свариваемого стыка шов получается шире, с меньшей глубиной проплавления; легче заправляются относительно большие зазоры в стыке, что позволяет несколько снизить требования к точности сборки.

На фиг. 114 показана одна из конструкций двухэлектродной горелки для сварки в среде защитных газов.

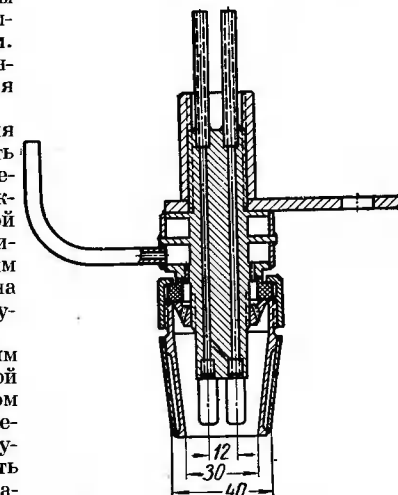
Сварка электрозаклепками. Для сварки электрозаклепками могут быть использованы полуавтоматы, применяемые при сварке плавящимся электродом в среде защитных газов. С этой целью полуавтомат снабжается дополнительным устройством, обеспечивающим периодическую подачу проволоки на заданную длину и позволяющим регулировать время горения дуги.

Пистолет снабжается специальным наконечником, являющимся опорой в процессе сварки. Таким пистолетом можно сваривать стальные листы прерывистыми швами в угол и втавр, осуществлять прихватку и сваривать электрозаклепками соединения внахлестку.

Сварка электрозаклепками производится постоянным током прямой полярности. В качестве защитной среды применяется аргон с примесью 1-2% кислорода. В верхнем листе пробивают или сверлят отверстия.

Режимы сварки электрозаклепками приведены в табл. 20.

Электрозаклепками можно также сваривать соединения из алюминиевых сплавов при питании дуги постоянным током обратной полярности [20].



Фиг. 114. Конструкция двухэлектродной горелки.

Автоматическая сварка неповоротных стыков труб в среде инертных газов

Технологические приемы и режимы сварки неповоротных стыков труб обуславливаются способностью расплавленного металла удерживаться на свариваемых кромках при разных пространственных положениях сварочной ванны, а также проплавающей способностью дуги на разных участках неповоротного стыка труб. Схема формирования шва при автоматической сварке плавящимся электродом представлена на фиг. 115. Зависимость размеров проплавления от положения сварочной дуги показана на фиг. 116.

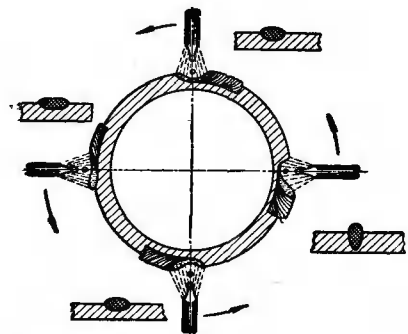
При сварке вольфрамовым электродом происходит более равномерное проплавление и формирование шва (фиг. 117 и 118). Для труб небольшого диаметра (до 200 мм) следует применять сварку торированным вольфрамовым электродом постоянным током прямой полярности.

Трубы с толщиной стенок 3 мм и более следует сваривать за несколько проходов. Для получения полного и равномерного провара по всему шву при сварке-

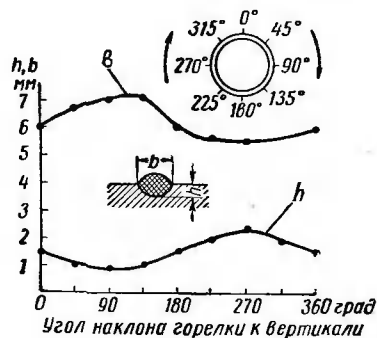
20. Ориентировочные режимы сварки электрозакленками малоуглеродистой стали [20]

Толщина свариваемых листов в мм		Диаметр отверстия в верхнем листе мм	Наименьшие допускаемые размеры нахлестки в мм	Разрушающее усилие в кГ, приходящееся на одну заклепку	Режим сварки **	
верхнего	нижнего				Ток в а	Продолжительность сварки в сек.
1,6 2,0 3,2	1,6—6,4	9,5	25	1360—2087 1452—2268 1452—2900	440	1,0 1,1 1,3—1,7
4,8 6,4	1,6—9,5	12,5	32	1950—3630	440	1,7—4,1
			38	1815—3540	460	2,4—5,0
9,5 *	9,5 *	16,0		3630		10,0

* Сварка в два слоя.
** Для соединений с отверстием диаметром 9,5 мм расход аргона около 4 л/мин, с отверстием диаметром 12,5 мм — 7 л/мин.



Фиг. 115. Схема формирования шва при сварке плавящимся электродом неповоротных стыков труб.



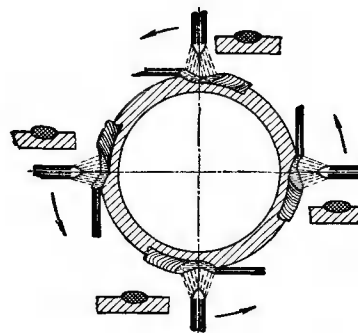
Фиг. 116. Зависимость размеров проплавления от положения сварочной дуги при сварке неповоротных стыков труб плавящимся электродом.

неповоротных стыков труб первый слой следует выполнять без присадки, а следующие — с подачей присадочной проволоки.

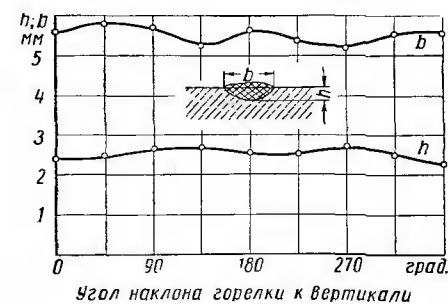
Сварка неповоротных стыков труб может осуществляться при помощи трубо-сварочных автоматов типа АТВ. Весь цикл сварки осуществляется автоматически. Последовательность выполнения отдельных операций показана на схеме (фиг. 119).

В табл. 21 приведены режимы автоматической сварки неповоротных труб из стали 1Х18Н9Т.

При разработке приемов и режимов сварки плавящимся электродом необходимо учитывать неравномерность проплавления по окружности стыка. Для



Фиг. 117. Схема формирования шва при сварке неплавящимся электродом неповоротных стыков труб.



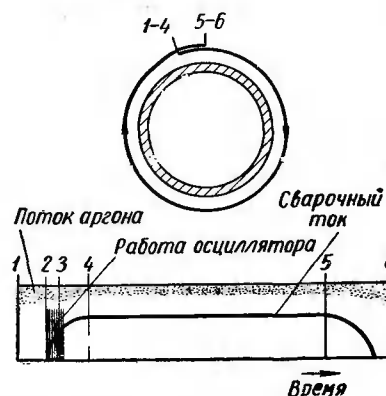
Фиг. 118. Зависимость размеров проплавления от положения сварочной дуги при сварке неповоротных стыков труб неплавящимся электродом.

уменьшения неравномерности проплавления сварку производят за два полуоборота (фиг. 120, а).

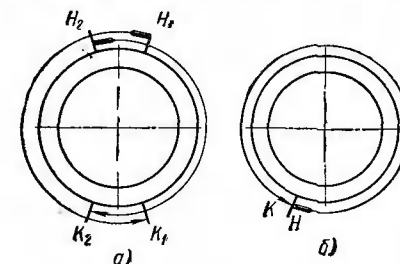
При сварке за полный оборот горелки вокруг стыка (фиг. 120, б) следует автоматически регулировать сварочный ток или скорость сварки в соответствии с изменением условий проплавления.

Большое влияние на равномерность проплавления и формирования шва имеет разделка кромок.

Разделка кромок и режимы сварки плавящимся электродом неповоротных стыков труб приведены в табл. 22.



Фиг. 119. Последовательность выполнения операций при автоматической сварке неповоротных стыков труб: 1 — пуск аргона; 2 — включение осциллятора и двигателя сварочного преобразователя; 3 — возбуждение дуги и отключение осциллятора; 4 — включение двигателя вращения головки; 5 — отключение двигателя сварочного преобразователя и двигателя вращения головки; 6 — перекрытие аргона.



Фиг. 120. Схема сварки неповоротных стыков труб плавящимся электродом: а — за два полуоборота; б — за один полный оборот.

Сварка стали в различных пространственных положениях

Сварка в различных пространственных положениях, особенно в потолочном, возможна при струйном переносе металла и питании дуги от источников постоянного тока с жесткой или возрастающей внешней характеристикой.

21. Режимы автоматической аргоно-дуговой сварки вольфрамовым электродом неповоротных стыков труб [21]

Диаметр трубы и толщина стены в мм	№ слоя	Ток в а	Напряжение дуги в в	Скорость сварки в м/час	Скорость по- дачи проволо- ки в м/час	Расход аргона в л/мин
15×3	1	130	10—11	27	—	6—8
	2	140	12—13	27	34,5	6—8
20×3	1	145	10—11	26,6	—	6—8
	2	150	12—13	26,6	36	6—8
34×5	1	170—180	10—11	14,5—15	—	8—10
	2	168—178	12	14,5—15	23—25	8—10
	3	165—175	13	14,5—15	23—25	8—10
58×5	1	170—180	10—11	13,5—14	—	8—10
	2	168—178	12	13,5—14	23—25	8—10
	3	165—175	13	13,5—14	23—25	8—10
89×5	1	170—180	10—11	12,5—13,5	—	8—10
	2	168—178	12	12,5—13,5	23—25	8—10
	3	165—175	13	12,5—13,5	23—25	8—10
108×6	1	175—185	10—11	12,5—13,5	—	8—10
	2	172—182	12—12,5	12,5—13,5	24—27	8—10
	3	172—182	12—12,5	12,5—13,5	24—27	8—10
	4	167—177	13—14	12,5—13,5	24—27	8—10
133×6	1	175—185	10—11	12,5—13,5	—	8—10
	2	172—182	12—12,5	12,5—13,5	24—27	8—10
	3	172—182	12—12,5	12,5—13,5	24—27	8—10
	4	167—177	13—14	12,5—13,5	24—27	8—10
159×6	1	180—190	10—11	12,5—13,5	—	8—10
	2	177—187	12—12,5	12,5—13,5	24—27	8—10
	3	177—187	12—12,5	12,5—13,5	24—27	8—10
	4	172—182	13—14	12,5—13,5	24—27	8—10

Примечание. Угол разделки 45—50°.
Диаметры присадочной проволоки и вольфрамового электрода 1,6 и 2 мм. При сварке в среде гелия ток берется на 20—30% меньше, чем при сварке в среде аргона; расход гелия на 30—50% больше, чем аргона.

22. Разделка кромок и режимы сварки плавящимся электродом неповоротных стыков труб [22]

Диаметр трубы в мм	Толщина стенки в мм	Разделка кромок			Условия сварки	Диаметр сварочной проволоки в мм	Режим сварки		Расход арго- на в л/мин
		Угол раз- делки в град.	Притупление в мм	Зазор в мм			$v_{св}$ в м/час	$U_{дв}$ в в	
57	3	50	0,2—0,5	0,3—0,8	Однослойный шов за два поворота	1,0	79	23—25	13
		40	До 0,2	0,1—0,4	То же, за один оборот	0,8	26 (при переменной скорости 26—40)	21—23	10
63	5	55	0,2—0,5	0,2—0,7	Двухслойный за два поворота (на спуск)	1,0	60	23—25	13
		40	До 0,3 0,02—0,4	0,2—0,6	Однослойный за один оборот	0,8	26 (при переменной скорости 26—40) 21 (при переменной скорости 21—36)	21—23	10
76	5	40	До 0,3 0,02—0,4	0,2—0,6	Однослойный за один оборот	0,8	26 (при переменной скорости 26—40) 21 (при переменной скорости 21—36)	21—23	13
		35	До 0,3	0,2—0,6	Однослойный за один оборот	1,0	25 (при переменной скорости 25—40)	21—23	10
89	5	40	До 0,3 0,02—0,4	0,2—0,6	Однослойный за один оборот	0,8	26 (при переменной скорости 26—40) 21 (при переменной скорости 21—36)	21—23	13
		35	До 0,3	0,2—0,6	Однослойный за один оборот	1,0	25 (при переменной скорости 25—40)	21—23	10

23. Режимы автоматической сварки нержавеющей стали в различных пространственных положениях [23]

Толщина стали в мм	Положение шва в пространстве	Подготовка под сварку			Режим сварки				
		Угол разделки в град.	Притупление в мм	Зазор в мм	Диаметр электродной проволоки в мм	Ток в а	Напряжение дуги в в	Скорость сварки в м/мин	Вылет электрода в мм
2	Нижнее	Без разделки	—	0,2—1,0	1,0	200—240	22—24	70	10
	Горизонтальное на вертикальной плоскости		—	0,6—1,0				90	
	Вертикальное Потолочное		—	1,0—1,3 0,1—0,4				20—23 22—24	
3	Нижнее	Без разделки	—	0,7—1,0	1,0	220—230	22—24	55	12
	Горизонтальное на вертикальной плоскости		—	0,9—1,0		200—210	20—22	60	10
	Вертикальное	30	До 0,2	0,6—0,8	0,8	185—190	21—22	90	
	Потолочное	Без разделки	—	0,2—0,4	1,0	210—220	22—24	63	
5	Нижнее	50	0,3—0,6	До 0,3	1,0	260—270	25—27	47	12
	Вертикальное	50	0,2—0,6	0,6—1,2	—	210—220	—	55	10
	Вертикальное (сварка на «подъем»)	30	До 0,2	0,6—0,8	0,8	170—180	21—23	36	8
	Горизонтальное на вертикальной плоскости	40	0,3—0,6	0,8—1,2	1,0	250—260	24—26	54	10
	Потолочное	40	До 0,2	До 0,2		220—230	23—25	63	

Примечания: 1. Расход аргона во всех случаях 15 л/мин.
2. Сварка вертикальных швов (кроме оговоренного случая) производится «на спуск».

В табл. 23 приведены режимы сварки плавящимся электродом нержавеющей стали 1X18N9T в различных пространственных положениях. Вертикальные швы можно выполнять как «на спуск», так и «на подъем». При сварке «на подъем» возможен подрез шва, причем глубина проплавления больше, чем при сварке «на спуск». Сварку металла толщиной до 4 мм в вертикальном положении рекомендуется производить «на спуск».

ЛИТЕРАТУРА

1. Славинский М. П., Физико-химические свойства элементов, Металлургиздат, 1952.
2. Капцов Н. А., Электрические явления в газах и вакууме, ГИТТЛ, 1950.
3. Патон В. Е., Особенности работы электрооборудования при сварке неплавящимся электродом. «Труды по автоматической сварке под флюсом» № 9, 1950.
4. Патон В. Е. и Завадский В. А., Импульсное зажигание дуги при газовой электрической дуговой сварке, «Автоматическая сварка» № 3, 1956.
5. Рабинович И. Я., Оборудование для дуговой электрической сварки, Машгиз, 1958.
6. Лемаринье К. Н. и Белый В. В., Стабилизатор дуги переменного тока при аргоно-дуговой сварке вольфрамовым электродом, Дом техники, Москва, 1958.
7. Бродский А. Я., Дуговая сварка в инертной среде, Машгиз, 1950.
8. Чистяков А. И., Исследование и разработка метода точечной электродуговой сварки в защитной газовой среде. Канд. диссертация, 1954.
9. Corlestone F. W. and Jourd L. M., Усовершенствование процесса точечной дуговой сварки вольфрамовым электродом в инертном газе, «British Welding Journal», 1958, № 9, v. 5 p. 394—399.
10. Петров А. В., Давление дуги на сварочную ванну в среде защитного газа, «Автоматическая сварка» № 4, 1955.
11. Петруничев В. А., Давление дуги при большой мощности на сварочную ванну, «Сварочное производство» № 7, 1958.
12. Петров А. В., Перенос металла в дуге при сварке плавящимся электродом в среде защитных газов, «Автоматическая сварка» № 2, 1955.
13. Lesnewich A., Регулирование переноса металла, «Welding Journal», 1958, v. 37, № 9, pp. 418—425.
14. Петров А. В., Защитные газы для дуговой сварки «Сварочное производство» № 8, 1957.
15. В. Кеел, Новые данные о процессах при сварке плавящимся электродом в среде инертного газа, «Zeitschrift für Schweisstechnik», 1957, Jg. 47, № 4, S. 86—89.
16. Каспржак Г. М. и Шитова В. М., Структурная классификация и сравнительный анализ систем автоматического регулирования процесса дуговой сварки. Сборник «Автоматическое регулирование дуговой сварки», изд. АН СССР, 1953.
17. Рабинович И. Я., Некоторые особенности работы электрооборудования для автоматической сварки в среде защитных газов, «Сварочное производство» № 4, 1957.
18. Петров А. В., Источники питания для дуговой сварки в среде защитных газов «Труды Всесоюзного научно-технического совещания по проблемным вопросам сварки», часть 1, Москва, 1958.
19. Верченко В. Р., Статические характеристики дуги при сварке плавящимся электродом в среде защитных газов, «Автоматическая сварка» № 8, 1958.
20. Kehoe J. W. and Bichsel H. I., Процесс дуговой точечной сварки в среде инертных газов плавящимся электродом «Welding Journal», 1956, v. 35, № 9, pp. 895—903.
21. Верченко В. Р., Петров А. В. и Баранов М. П., Автоматическая сварка неповоротных стыков труб, «Сварочное производство» № 6, 1956.
22. Пальчук Н. Ю. и Акулов А. И., Автоматическая сварка неповоротных стыков труб из нержавеющей стали, «Автоматическая сварка» № 2, 1956.
23. Акулов А. И. и Пальчук Н. Ю., Автоматическая аргоно-дуговая сварка плавящимся электродом нержавеющей стали в различных пространственных положениях, «Сварочное производство» № 6, 1956.

СВАРКА В УГЛЕКИСЛОМ ГАЗЕ

Общие сведения

Сварка в углекислом газе может производиться плавящимся или неплавящимся электродом.

Основная особенность сварки плавящимся электродом заключается в применении электродных проволок с повышенным содержанием элементов-раскислителей (кроме углерода), компенсирующим их выгорание в зоне сварки [1, 2].

Кроме некоторых специфических преимуществ, сварка в углекислом газе характеризуется высокой производительностью и низкой стоимостью. К недостаткам способа относятся повышенное разбрызгивание и не всегда удовлетворительный вид шва.

Принципиально в углекислом газе может свариваться подавляющее большинство сталей, удовлетворительно сваривающихся другими способами дуговой сварки — ручной дуговой, под флюсом и др. При сварке в углекислом газе изменение свойств основного металла в околошовной зоне существенно не отличается от изменения свойств при сварке под флюсом. Состав и свойства первых слоев металла шва при сварке в углекислом газе в большей степени чем при других способах сварки зависят от состава основного металла вследствие более глубокого его проплавления.

Материалы

Углекислый газ

Углекислый газ (CO_2) является широко распространенным трехатомным газом. Он находит применение в народном хозяйстве во всех трех агрегатных состояниях: твердом, жидком и газообразном.

Промышленное производство углекислого газа основано на извлечении его из газов, образующихся при действии серной кислоты на мел, обжиге известняка (до 40% CO_2), горении кокса или антрацита в специальных топках (до 18% CO_2), из дымовых газов обычных котельных установок (до 12% CO_2), из газов брожения и других источников. В зависимости от технологии и объема производства себестоимость углекислого газа может изменяться в широких пределах (в 3—4 раза).

Углекислый газ не имеет цвета, обладает едва опутимым запахом, при 0° С и 760 мм рт. ст. имеет плотность по отношению к воздуху 1,524, а удельный вес — 1,97686 г/л.

Основные физические константы углекислого газа

Молекулярный вес	44,01
Нормальная температура кипения в °С	—78,9
Критическая температура в °С	+31,0
Критическое давление в кг/см ²	75,0
Критический объем в л/кг	2,16
Температура затвердевания в град.	—56,6

Углекислый газ можно превратить в жидкость только с помощью давления; при охлаждении без давления газ непосредственно переходит в твердое состояние (сухой лед). Сухой лед при повышении температуры также непосредственно превращается в газ, минуя жидкое состояние.

Для сварки используется преимущественно пищевой углекислый газ по ГОСТу 8050-56, поставляемый в баллонах в жидком состоянии.

Жидкая углекислота бесцветна; ее удельный вес сильно меняется с температурой (табл. 24). При испарении 1 кг жидкой углекислоты при 0° С и 760 мм рт. ст. образуется 506,8 л газа. В стандартный баллон с водяной емкостью 40 л заливается 25 кг жидкой углекислоты, которая при нормальных условиях занимает 67,5% объема баллона и образует при испарении 12,67 м³ газа.

Основными примесями углекислого газа, отрицательно влияющими на процесс сварки и свойства швов, являются воздух (азот воздуха) и вода. Воздух скапливается над жидкой углекислотой в верхней части баллона, а вода — под углекислотой в нижней части баллона.

Вследствие этого, как правило, чистота газа, взятого из вертикально расположенного баллона (из газовой фазы), ниже чистоты газа, взятого из горизонтально расположенного баллона (из жидкой фазы).

При использовании пищевой углекислоты для некоторого уменьшения содержания примесей в углекислом газе рекомендуется выпустить первые порции газа, содержащие повышенное количество воздуха, в атмосферу и удалить избыточную влагу путем осторожного открывания вентиля после оттаивания баллона в перевернутом положении (вверх дном) в течение 15—20 мин.

Допустимое количество некоторых примесей в различных сортах углекислоты приведено в табл. 25. Сварочный углекислый газ предназначен для сварки ответственных изделий на токах свыше 200—250 А.

Электродная проволока

В проволоке, предназначенной для сварки углеродистых и низколегированных сталей, основными раскислителями являются кремний и марганец.

Рациональными пределами содержания элементов-раскислителей в электродной проволоке, предназначенной для сварки большинства кипящих и спокойных углеродистых и низколегированных сталей на токах до 500 А, яв-

24. Свойства насыщенных паров углекислоты

Температура в °С	Давление в кг/см ²	Удельный объем		Энтальпия	
		жидкости в л/кг	пара в м ³ /кг	жидкости в ккал/кг	пара в ккал/кг
—50	6,97	0,867	0,0554	75,01	155,57
—40	10,25	0,897	0,0382	79,59	156,17
—30	14,55	0,931	0,0270	84,19	156,56
—20	20,06	0,971	0,0195	88,93	156,72
—10	26,99	1,02	0,0142	94,09	156,60
0	35,54	1,08	0,0104	100,00	156,13
+10	45,95	1,17	0,00752	106,50	154,59
+20	58,46	1,30	0,00529	114,00	151,10
+30	73,34	1,63	0,00300	125,90	140,95
+31	74,96	2,16	0,00216	133,50	133,50
Критическая					

25. Чистота и влажность различных сортов сжиженного углекислого газа

Наименование показателей	Сорт углекислого газа		
	пищевой, ГОСТ 8050-56	пищевой осушенный	сварочный, ТУ ВНИИХ И ЦНИИТМАШа
а) Содержание двуокиси углерода (CO_2) в % по объему (не менее)	98,5 *	98,5 *	99,5 **
б) Содержание воды в свободном состоянии в % по весу (не более)	0,1	Отсутствует	Отсутствует
в) Содержание водяных паров в углекислом газе в г/м ³ (не более)	Не определяется		0,18
Точка росы в °С (не выше)	То же		—34,0

* Определение содержания двуокиси углерода (CO_2) производится из горизонтально расположенного баллона (из жидкой фазы);
** Определение содержания двуокиси углерода (CO_2) и водяных паров производится из вертикально расположенного баллона (из газовой фазы).

Примечание. Количество других примесей в сварочном углекислом газе не должно превышать требований ГОСТа 8050-56.

ляются: 0,05—0,12% углерода, 0,6—1,0% кремния и 1,4—2,4% марганца [3]. Для сварки таких сталей имеются специальные марки электродной проволоки. В некоторых случаях для сварки легированных сталей применяется порошковая проволока [4]. При сварке аустенитных сталей, как правило, применяется проволока, сходная по составу с основным металлом. В табл. 26 приводятся марки проволоки по ГОСТу 2246-60, которые предназначены или могут быть использованы при сварке сталей в углекислом газе.

Для лучшей подачи по гибким шлангам электродная проволока диаметром менее 2,0 мм должна обладать повышенной жесткостью. Желательна нагартовка до $\sigma_b \approx 90 \div 140 \text{ кг/мм}^2$.

Для стабильного горения дуги и меньшего засорения шлангов и проводов необходимо, чтобы проволока имела чистую поверхность и не имела изгибов.

26. Марки проволоки, пригодной для использования при сварке в углекислом газе (ГОСТ 2246-60)

Марка проволоки	Назначение
Св-08ГС *	Сварка углеродистых и низколегированных сталей токами до 300—400 а
Св-08Г2С *	Сварка углеродистых и низколегированных сталей токами до 600—750 а
Св-10ХГ2С *	Сварка низколегированных сталей повышенной прочности
Св-08ХГ2СМ *	Сварка теплоустойчивых сталей типа 15ХМА
Св-08ХГСМФ *	Сварка теплоустойчивых сталей типа 20ХМФ
Св-08Х3Г2СМ *	Сварка стали 30ХГСА
Св-18ХГСА	Сварка низколегированных сталей повышенной прочности
Св-08Х14ГТ *	Сварка хромистых сталей типа Х13, Х17
Св-10Х17Т *	
Св-06Х19Н9Т	Сварка аустенитных сталей типа 18-8 небольшой толщины
Св-07Х18Н9ТЮ	
Св-08Х20Н9Г7Т	
Св-07Х25Н13	

* Состав проволоки разработан для сварки в углекислом газе.

Параметры режима сварки

Основными параметрами режима сварки в углекислом газе являются: род, полярность и величина тока, диаметр электродной проволоки, напряжение дуги, скорость подачи проволоки, скорость сварки, расход углекислого газа.

Сварка может производиться постоянным током прямой и обратной полярности, а также переменным током с осциллятором.

Процесс сварки постоянным током прямой полярности характеризуется меньшей устойчивостью дуги, большей склонностью к образованию пор в металле шва, меньшим проплавлением основного металла и большей производительностью наплавки (фиг. 121 и 122).

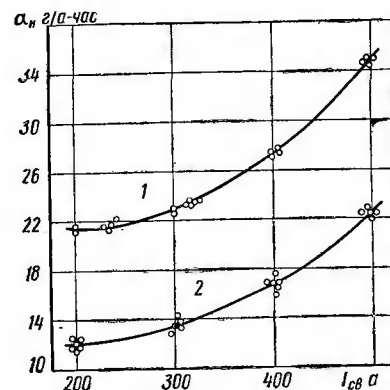
В подавляющем большинстве случаев сварка производится постоянным током обратной полярности, к чему и относятся все изложенные ниже данные.

Для каждого диаметра электрода существует диапазон тока, в котором обеспечивается достаточная устойчивость процесса сварки и удовлетворительное формирование швов. При питании дуги от стандартных или переоборудованных источников тока эти пределы даны в табл. 27. Специальные источники питания с жесткой или возрастающей характеристикой, а также с оптимальной индуктивностью [5], позволяют производить сварку малыми токами электродами большего диаметра.

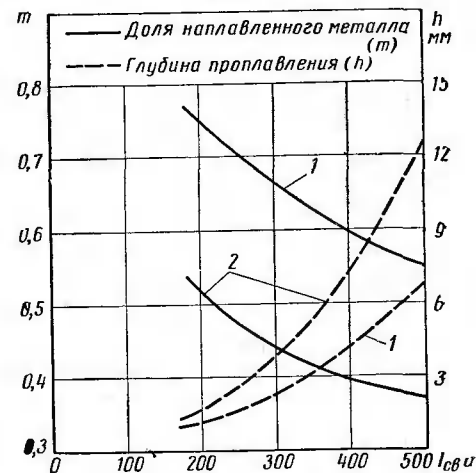
При сварке током повышенной плотности улучшается устойчивость горения дуги, уменьшается разбрызгивание, увеличивается глубина проплавления основного металла и производительность сварки (фиг. 123).

27. Пределы сварочных токов для электродов различных диаметров

Диаметр проволоки в мм	Пределы сварочного тока в а	Пределы плотности тока в а/мм ²	Тип источника тока
0,5	25—70	130—353	BC-200; АЗД-7,5/30; ЗДМ-7,5/30
0,8	50—130	100—260	
1,0	70—180	90—230	
1,2	100—240	89—210	BC-200; АЗД-7,5/30; ЗДМ-7,5/30; ПСГ-500; ПС-500
1,6	150—400	71—199	
2,0	200—550	64—175	ПСГ-500
2,5	300—700	61—150	
3,0	400—850	58—120	СГ-1000



Фиг. 121. Коэффициенты наплавки α_n при сварке в углекислом газе на прямой (1) и обратной (2) полярности электродом диаметром 2,0 мм [6].

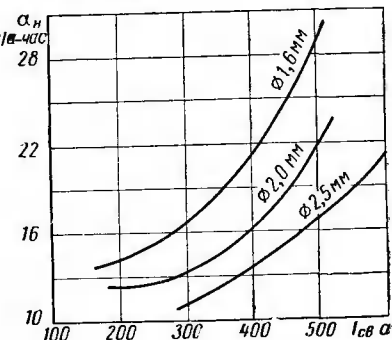


Фиг. 122. Глубина проплавления и доля электродного металла в металле шва при сварке в углекислом газе на прямой (1) и обратной (2) полярности электродом диаметром 2,0 мм [6].

При повышении напряжения дуги увеличивается разбрызгивание металла, возрастает возможность попадания воздуха в зону сварки, изменяется химический состав и формирование металла шва.

Изменение состава металла шва можно свести к минимуму применением механизмов подачи электродной проволоки и источников питания с жесткими характеристиками, позволяющими выдерживать заданное напряжение дуги с точностью $\pm 0,5 \text{ в}$.

При подборе режима сварки напряжение дуги в зависимости от



Фиг. 123. Коэффициенты наплавки α_n при сварке в углекислом газе на обратной полярности проволоками диаметром 1,6—2,5 мм [6].

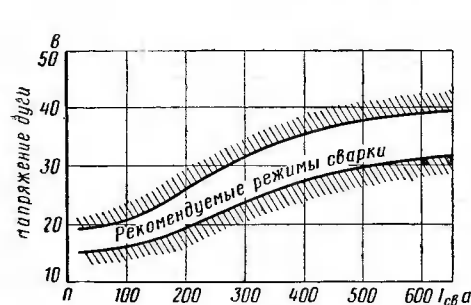
величины сварочного тока может быть установлено в соответствии с графиком (фиг. 124) [7].

Наименьшее разбрызгивание наблюдается при низком напряжении дуги (при более короткой дуге). При автоматической сварке для улучшения внешнего вида и формы шва (увеличение ширины шва) напряжение можно устанавливать по верхнему пределу (см. фиг. 124).

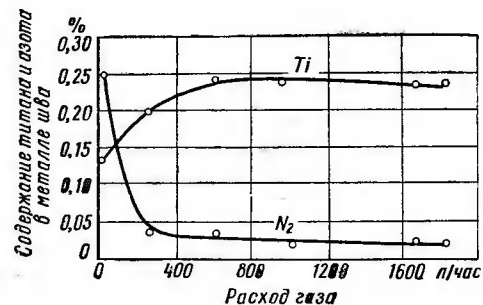
Процесс сварки на повышенных режимах (большом токе и напряжении) отличается отсутствием коротких замыканий.

Частота коротких замыканий увеличивается с уменьшением тока при любой форме внешней характеристики источника тока — падающей, жесткой и возрастающей.

Скорость сварки обычно составляет от 20 до 80 м/час.



Фиг. 124. Зависимость между током и напряжением при сварке в углекислом газе электродами диаметром 0,5—3,0 мм [7].



Фиг. 125. Влияние расхода углекислого газа на содержание титана и азота в металле шва при сварке стали IX18H9T на токе 265А [6].

Оптимальный расход углекислого газа зависит от конструкции горелки, ее положения относительно свариваемой детали и типа соединения. Увеличение расхода газа сверх минимально необходимого очень слабо влияет на устойчивость дуги, химический состав металла шва (фиг. 125) и свойства сварных соединений.

При сварке на различных режимах расход газа обычно составляет 6—25 л/мин.

При сварке малыми токами в кабинах расход газа можно уменьшить, а при работе на ветру или сквозняках расход газа следует увеличивать. В этом случае рабочее место следует ограждать ширмами.

Техника и режимы сварки

Сварка в углекислом газе может производиться во всех пространственных положениях. Сварка вертикальных и потолочных швов может производиться только малыми токами электродом небольшого диаметра.

От положения и перемещения горелки относительно изделия (техники сварки) в значительной степени зависят устойчивость процесса, надежность защиты, возможность наблюдения за зоной сварки, интенсивность разбрызгивания горелки, а также форма и качество шва. При автоматической и полуавтоматической сварке расстояние от сопла горелки до изделия целесообразно выдерживать в указанных ниже пределах.

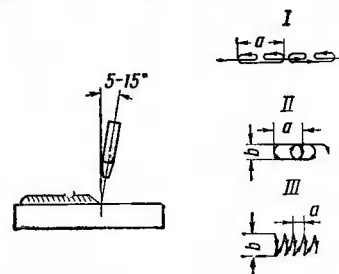
Диаметр электрода в мм	0,5; 0,8	1,0; 1,2	1,6; 2,0	2,5; 3,0
Расстояние от сопла горелки до изделия в мм	5—15	8—18	15—25	20—40

Автоматическая сварка стыковых швов в нижнем положении обычно производится при вертикальном положении горелки, а сварка угловых швов — при положении горелки, указанном на фиг. 126.

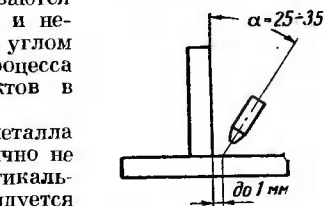
Полуавтоматическая сварка в нижнем положении может производиться с наклоном горелки вперед или назад под углом 5—15°. Предпочтительнее с наклоном горелки назад, при которой обеспечиваются более надежная защита расплавленного металла и несколько лучший вид шва. Наклон горелки под углом 30° и более заметно ухудшает устойчивость процесса и может способствовать образованию дефектов в швах.

При полуавтоматической сварке тонкого металла (1—2 мм) поперечные колебания горелки обычно не производятся. Сварку стыковых и угловых вертикальных швов на металле такой толщины рекомендуется производить сверху вниз. При сварке стыковых швов на металле большой толщины применяются те же приемы перемещения электрода, что и при ручной сварке качественными электродами:

- возвратно-поступательное вдоль оси шва (без поперечных колебаний) при сварке однослойных швов, а также первого и подварочного слоев многослойных швов (фиг. 127, I);
- по вытянутой спирали при сварке средних слоев многослойных швов (фиг. 127, II);
- змейкой при сварке верхних слоев многослойных швов (фиг. 127, III).



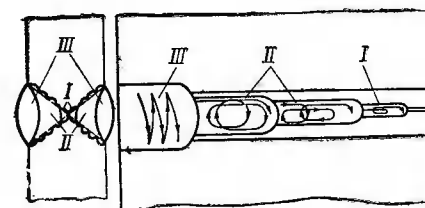
Фиг. 127. Схема положения и перемещения горелки при полуавтоматической сварке стыковых швов в углекислом газе [7]: I — $a = 3 \div 10$ мм, II — $a = 3 \div 20$ мм; $e = 3 \div 15$ мм, III — $a = 2 \div 5$ мм, $e = 15 \div 40$ мм.



Фиг. 126. Схема положения горелки при автоматической сварке угловых швов в углекислом газе [7].

В процессе сварки горелка не должна задерживаться на одном месте. При сварке швов большого сечения не следует слишком увеличивать размер сварочной ванны (более 25—30 мм). Как правило, сварку широких швов рекомендуется производить узкими валиками с большей скоростью.

Полуавтоматическая сварка угловых швов производится с наклоном горелки от вертикальной



Фиг. 128. Схема положения (а) и перемещения (б) горелки при полуавтоматической сварке угловых швов в углекислом газе [7].

стенки изделия (а) на 30—45° и наклоном горелки к оси шва (β) «углом назад» на 5—15° (фиг. 128).

Удовлетворительное формирование однопроходных угловых швов с катетом до 7—9 мм может быть получено при полуавтоматической сварке токами до 300—350 А, а при автоматической сварке — токами до 400—420 А. Швы с катетом свыше 7—8 мм свариваются в несколько проходов (табл. 28). Низкое

28. Количество слоев в угловых швах, выполненных полуавтоматической сваркой

Количество слоев в шве	1	2	3	4	9	12
Катет шва в мм	До 7—9	9—11	11—14	13—16	22—24	27—30

напряжение дуги вызывает чрезмерное усиление швов, а высокое напряжение — подрезы. Удовлетворительное качество многослойных горизонтальных швов, выполненных полуавтоматической сваркой на металле большой толщины, обеспечивается применением токов не выше 340—380 а. При этом рекомендуется первые и средние слои шва сваривать на скорости 20—25 м/час, а последние слои на скорости 45—50 м/час.

Ориентировочные режимы автоматической и полуавтоматической сварки в CO_2 стыковых и угловых швов приведены в табл. 29—33.

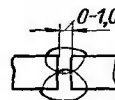
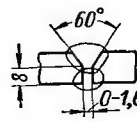
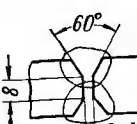
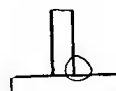
29. Режимы автоматической сварки низкоуглеродистой стали толщиной 0,8—2,0 мм [8]

Диаметр электрода в мм	Толщина металла в мм	Сварочный ток в а	Напряжение дуги в в	Скорость сварки в м/час	Вылет электрода в мм	Расход газа в л/мин	Приспособление
0,5 0,8 1,0	0,8; 1,0; 1,5 1,0; 1,5; 2,0 1,0; 1,5; 2,0	35; 45; 60 40; 80; 120 70; 90; 120	17—19 18—20 19—21	30—40 35—45 35—45	8 9 10	6 6 6	На медной подкладке и навесу
1,2	2,0	120	21	35—45	12	7	На медной подкладке

30. Режимы автоматической сварки перекрывающей стали толщиной 0,5—3,0 мм [8], [9], [10]

Толщина металла в мм	Диаметр электрода в мм	Сварочный ток в а	Напряжение дуги в в	Скорость сварки в м/час	Вылет электрода в мм	Расход газа в л/мин	Приспособление
0,5; 0,8; 1,0	0,5 0,8	30; 40; 50 35; 45; 55	16—18 16—18	35—45 40—45	5 6	6 6	На медной подкладке и навесу
1,5	1,6	100—170	18—20	35	8—9	5—6	На медной подкладке
2,0	1,0 1,6	120—130 130—140	18—19 22	35—40 38	6—7 10—15	6—7 6—7	На медной подкладке и навесу
3,0	2,0	180—200	25—28	25—30	20—25	12—17	—

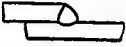
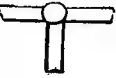
31. Режимы автоматической сварки углеродистых и низколегированных сталей толщиной 3—25 мм [7], [12]

Толщина металла в мм	Форма подготовки кромок	Режим сварки					
		Диаметр электрода в мм	Вылет электрода в мм	Сварочный ток в а	Напряжение дуги в в	Скорость сварки в м/час	Расход углекислого газа в л/мин
А. Стыковые швы							
3		1,0	8—12	180—200	24—26	65	15
5				200—220		34	
6—8		1,6—2,0	12—20	340—360	27—31	40	25
10—12	380—400			30—32			
14—16		2,0	15—20	460—480	32—34	30	15—20
18—20				480—500		20	
22—25							
Б. Угловые швы ¹							
8 и более		2,5	15—25	400—420	29—31	25—30	15—20

¹ Катет шва — от 7 до 8 мм.

¹ Катет шва — от 7 до 8 мм.

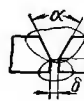
32. Режимы полуавтоматической сварки низкоуглеродистых и нержавеющей сталей толщиной 1,0–2,0 мм [11], [12]

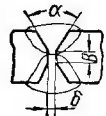
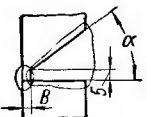
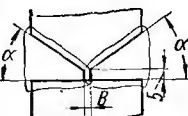
Положение шва	Тип соединения	Толщина металла в мм	Сталь	Режим сварки*			
				Диаметр электрода в мм	Сварочный ток в А	Напряжение дуги в В	Скорость сварки м/час
Нижнее		1,0	Низкоуглеродистая	0,5	35	18	12
			Нержавеющая	0,8	45		
		1,5	Низкоуглеродистая	0,5	60	26–28	18
		2,0		1,0	160		
		1,0	Нержавеющая	0,5	60	18	20
		1,5	Нержавеющая	0,8			
		1,0	Нержавеющая	0,5	60	18	18
			Нержавеющая	0,8			
		1,5	Нержавеющая	0,5	60	18	18
			Нержавеющая	0,8			
		1,0	Низкоуглеродистая	0,5	35	18	20
		1,5			45	17	18
		1,0	Нержавеющая	0,5	60	18	12
			Нержавеющая	0,8			
		1,5	Нержавеющая	0,5	60	18	10
		2,0	Нержавеющая	0,8			

Положение шва	Тип соединения	Толщина металла в мм	Сталь	Режим сварки*			
				Диаметр электрода в мм	Сварочный ток в А	Напряжение дуги в В	Скорость сварки м/час
Нижнее		1,0	Низкоуглеродистая	0,5	60	18	12
		1,5			45	17	18
Вертикальное		1,0	Низкоуглеродистая	0,8	70	18	30
		1,5				17	23
		1,0	Нержавеющая	0,8	70	17	28
			Нержавеющая				
		1,5	Нержавеющая	0,8	70	17	27
			Нержавеющая				
Горизонтальное на вертикальной плоскости		1,0	Нержавеющая	0,8	45	17	13
			Нержавеющая			18	
		1,5	Нержавеющая	0,5	45	17	15

* Расход газа 6 л/мин, вылет электрода: для низкоуглеродистой стали 12–15 мм, для нержавеющей стали 7–9 мм.

38. Режимы полуавтоматической сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей средней и большой толщины [7] *

Толщина металла в мм	Катет углового шва в мм	Форма подготовки кромок	Элементы разделки			Режим сварки		Примечание
			Угол раскрытия кромок (α) в град.	Притупление B в мм	Зазор (δ) в мм	Сварочный ток в а	Напряжение дуги в в	
Стыковые швы								
4	—		—	—	0—0,5	180—200	28—30	
6	—		—	—	0—1,0	250—270	32—34	
8	—		—	—	0—1,5	280—300	28—30	
10	—		—	—		270—320	32—34	
12—16	—		60	5±0,5		280—300 380—400	28—30 30—32	Подварной шов
20—25	—			3±0,5		420—440	30—32	

Толщина металла в мм	Катет углового шва в мм	Форма подготовки кромок	Элементы разделки			Режим сварки		Примечание
			Угол раскрытия кромок (α) в град.	Притупление B в мм	Зазор (δ) в мм	Сварочный ток в А	Напряжение дуги в В	
50 и более	—		45 60	3±0,5 2±0,5	0—1,5	280—300 380—400	28—30 30—32	Первый слой
Угловые швы								
3 5 7	3 5—6 7—9		— — —	— — —	— — —	180—200 280—300 300—350	30—32 28—30 30—32	
Горизонтальные швы								
≥20	—		50	2—3	—	340—380	30—32	
≥30	—				—	320—340	28—30	Диаметр электрода 1,0 мм

* Диаметр электрода 2,0 мм; вылет электрода 12—20 мм; расход газа 15—20 л/час.

Свойства швов

Механические свойства швов, выполненных в углекислом газе на углеродистых и низколегированных сталях, не ниже свойств швов, выполненных на этих сталях под флюсом. При одинаковых прочностных свойствах ударная вязкость швов, выполненных в углекислом газе, как правило, выше ударной вязкости таких же швов, выполненных под флюсом и электродами с кислым и рутиловым покрытиями. Последнее объясняется тем, что швы, выполненные в углекислом газе, содержат меньше водорода и неметаллических включений [2; 15].

Механические свойства швов на высоколегированных сталях аустенитного класса также не уступают свойствам швов, выполненных под флюсом. Однако из-за отсутствия специальной электродной проволоки антикоррозионные свойства швов, выполненных в углекислом газе, пока обеспечиваются только при сварке металла толщиной до 3 мм [10].

Свойства швов, выполненных в углекислом газе на некоторых углеродистых и легированных сталях, приведены в табл. 34—36.

Разновидности сварки в углекислом газе

Сварка электрозаклепками

Сварка электрозаклепками [16], [17] производится проволоками небольшого диаметра. К преимуществам сварки электрозаклепками в углекислом газе по сравнению со сваркой под флюсом относятся: отсутствие неудобств, связанных с засыпкой и уборкой флюса, возможность сварки более толстого металла вследствие большей глубины проплавления, меньшая чувствительность к ржавчине.

Некоторые режимы сварки электрозаклепками с проплавлением верхнего листа приведены в табл. 37.

Сварка электрозаклепками в углекислом газе применяется в машиностроении [18].

Сварка с принудительным формированием швов

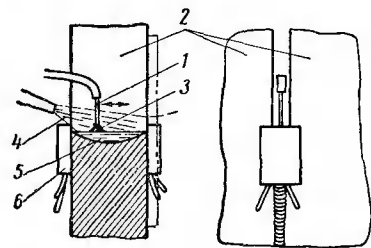
Сварка в углекислом газе с принудительным формированием швов [19] производится по схеме, приведенной на фиг. 129. Ожидается, что этот способ позволит механизировать монтажную сварку вертикальных и наклонных швов на металле средней толщины (8—40 мм) и в некоторых случаях окажется целесообразным для соединения металла большей толщины. Сварка в защитных газах

с принудительным формированием швов может производиться при значительно меньших зазорах между свариваемыми кромками, чем при электрошлаковой сварке.

Сварка под водой

Сварка в углекислом газе и смесях углекислого газа с кислородом (в окислительной атмосфере) является пока единственным способом, позволяющим автоматизировать сварку под водой [20].

Окислительная защитная атмосфера энергично подавляет вредное действие водорода, являющегося в условиях подводной сварки основной причиной, затрудняющей получение качественных швов [21]. В последнее время созданы опытные образцы оборудования [22], на которых отрабатываются режимы и техника полуавтоматической сварки под водой.



Фиг. 129. Схема сварки вертикальных и наклонных швов с принудительным формированием: 1 — электродная проволока; 2 — свариваемые детали; 3 — сварочная дуга; 4 — защитный газ; 5 — сварочная ванна; 6 — формирующая ползуна.

34. Механические свойства металла одноосебных швов, выполненных автоматической сваркой проволокой Св-08Г2С и Св-08Г2С на низкоуглеродистых сталях [7] *

Электродная проволока	Основной металл	Предел прочности в кг/мм ²	Предел текучести в кг/мм ²	Относительное удлинение в %	Относительное сужение в %	Ударная вязкость в кгМ/см ²		
						+20° С	-20° С	после механического старения
Св-08Г2С	M18кп	58,6—60,5 59,5	40,7—41,6 41,2	20,3—20,3 20,3	57,3—57,8 57,0	8,8—13,6 10,0	5,6—8,4 7,1	4,5—5,0 4,6
	M18	54,9—56,3 55,6	34,1—35,6 34,8	23,7—26,3 25,2	56,3—57,8 57,0	11,5—11,8 11,6	4,6—8,6 6,6	4,5—5,5 4,8
	M18кп	56,2—59,2 57,2	37,7—41,5 39,6	21,7—24,0 22,8	58,5—59,5 59,0	10,3—13,0 11,6	4,8—8,1 5,4	4,0—5,9 4,5
Св-08Г2С [3]	M18	54,1—54,6 54,3	31,9—32,3 32,1	23,0—27,3 25,1	59,3—59,9 59,6	8,4—8,8 8,6	5,7—6,5 6,1	3,5—5,5 4,3

* Сварочный ток 300—410 а, напряжение дуги 30—32 в, скорость сварки 20 м/час.

35. Механические свойства металла однослойных швов, выполненных автоматической сваркой проволокой Св-08Г2С на низколегированных конструктивных сталях толщиной 14 мм [7]*

Основной металл	Предел прочности в кг/мм ²	Предел текучести в кг/мм ²	Относительное удлинение в %	Относительное сужение в %	Ударная вязкость в кг/м, см ²
09Г2	$\frac{56,2-60,9}{58,5}$	$\frac{40,5-47,5}{44,1}$	$\frac{23,0-26,7}{24,8}$	$\frac{59,9-62,8}{61,3}$	$\frac{18,6-19,0}{18,8}$
14Г2	$\frac{60,5-64,1}{60,7}$	$\frac{42,6-43,9}{43,4}$	$\frac{22,7-26,7}{24,2}$	$\frac{56,3-60,4}{58,2}$	$\frac{10,6-10,9}{10,7}$
15ГС	$\frac{66,4-67,6}{67,1}$	$\frac{52,1-54,1}{53,1}$	$\frac{22,7-24,0}{23,1}$	$\frac{54,0-57,8}{55,8}$	$\frac{19,0-20,9}{19,1}$
14ХГС	$\frac{66,2-67,3}{66,9}$	$\frac{43,7-48,0}{45,6}$	$\frac{15,0-20,7}{17,8}$	$\frac{33,8-43,5}{38,6}$	$\frac{7,4-8,7}{8,2}$
12ХГН	$\frac{58,7-59,1}{58,9}$	$\frac{42,3-42,8}{42,5}$	$\frac{19,7-21,7}{20,7}$	$\frac{58,5-60,7}{59,6}$	$\frac{10,0-12,6}{11,3}$
15ХСНД (СХЛ-1, НЛ-2)	$\frac{63,7-66,3}{65,0}$	$\frac{44,6-47,0}{46,0}$	$\frac{20,7-23,0}{22,2}$	$\frac{54,0-55,6}{55,1}$	$\frac{9,3-10,1}{9,8}$
10ХГСНД (МС-1)	$\frac{63,2-64,3}{63,8}$	$\frac{47,7-51,5}{49,6}$	$\frac{15,5-19,7}{17,5}$	$\frac{47,6-54,8}{51,2}$	$\frac{8,4-9,2}{8,6}$
Пределы показателей механических свойств для перечисленных сталей по ГОСТу 5058-57					
—	46—54	30—40	15—18	—	—

* Сварочный ток 380—400 А, напряжение дуги 30—32 В, скорость сварки 20 м/час.

При использовании тонкой электродной проволоки и высоких плотностей тока в углекислом газе можно эффективно осуществлять подводную резку металла.

Сварка с добавками кислорода

Сварка в углекислом газе с различными добавками кислорода [23] позволяет по сравнению со сваркой в чистом углекислом газе регулировать концентрацию элементов — раскислителей и снижать содержание водорода в металле шва.

Повышение окислительной способности защитной атмосферы способствует также некоторому повышению устойчивости дуги, уменьшению разбрызгивания и улучшению вида и формирования шва за счет образования большего количества шлака.

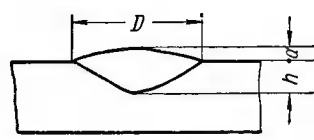
Для сварки низкоуглеродистых сталей рекомендуется защитная атмосфера из углекислого газа с добавкой 27% кислорода

36 Механические свойства металла швов, выполненных полуавтоматической сваркой проволокой Св-08Г2С на сталях 22К и 20ГСЛ толщиной 90 мм [7]*

Сталь	Место отбора проб	Термическая обработка после сварки	Предел прочности в кг/мм ²	Предел текучести в кг/мм ²	Относительное удлинение в %	Относительное сужение в %	Ударная вязкость при 20°С в кг/м, см ²	
							в исходном состоянии	после механической обработки
22К	Нижние слои	Без термической обработки Отпуск 670°С, 3,5 часа	$\frac{64,5-66,3}{65,4}$	$\frac{55,4-58,1}{56,7}$	$\frac{18,3-18,3}{18,3}$	$\frac{58,5-59,9}{59,2}$	$\frac{12,5-16,7}{13,9}$	—
			$\frac{52,7-52,9}{52,8}$	$\frac{37,1-37,5}{37,3}$	$\frac{26,7-26,7}{26,7}$	$\frac{68,7-71,6}{70,1}$	$\frac{18,0-20,2}{19,1}$	—
22К	Верхние и средние слои	Без термической обработки Отпуск 600°С, 3,5 часа Отпуск 670°С, 3,5 часа	$\frac{54,4-54,7}{54,5}$	$\frac{42,3-42,5}{42,4}$	$\frac{24,0-26,0}{25,0}$	$\frac{66,8-66,8}{66,8}$	$\frac{15,9-16,1}{16,0}$	$\frac{8,9-11,5}{10,2}$
			$\frac{51,5-53,6}{52,5}$	$\frac{38,7-41,8}{40,2}$	$\frac{22,3-24,3}{23,3}$	$\frac{66,0-67,6}{66,8}$	—	—
20ГСЛ	Нижние слои	Без термической обработки	$\frac{48,4-48,4}{48,4}$	$\frac{33,0-34,3}{33,6}$	$\frac{31,7-31,7}{31,7}$	$\frac{71,6-71,6}{71,6}$	$\frac{20,5-21,2}{20,8}$	$\frac{11,8-16,6}{13,4}$
			44,0	20,0	20,0	—	7,0	2,5
20ГСЛ	Верхние слои	То же Отпуск 600°С, 6 час. Требования ТУ	$\frac{60,1-61,6}{60,8}$	$\frac{47,0-49,6}{48,3}$	$\frac{19,0-22,0}{20,5}$	$\frac{59,9-62,3}{61,1}$	$\frac{8,6-10,2}{9,3}$	—
			$\frac{49,3-49,5}{49,4}$	$\frac{34,8-34,9}{34,8}$	$\frac{28,3-31,3}{29,8}$	$\frac{67,9-67,9}{67,9}$	$\frac{18,1-19,2}{18,8}$	—

* Сварочный ток 300—350 А, напряжение дуги 28—30 В.

37. Примерные режимы сварки электрозащелками, размеры и прочность электрозащелок [16, 17]



Толщина свариваемого металла в мм	Режимы сварки				Размеры заделки			Средняя разрушающая нагрузка в кГ
	Диаметр электрода, в мм	Сварочный ток в а	Напряжение дуги в в	Время сварки в сек.	Диаметр (D) в мм	Высота усиления (a) в мм	Глубина проплавления (h) в мм	
0,5+0,5	0,8	100—130	17—18	0,8—1,0	—	—	—	170
1,0+1,0	1,0	230—250	18		—	—	—	190
1,5+1,5		320	19—20	1,2—1,5	—	—	—	350
2,0+8,0	1,6	260	30—32	0,5	14,5	1,5	4,0	1300
2,0+8,0	2,0	350	32—34	1,5	19,0	2,0	3,5	2200
2,0+8,0		450	35—37		23,0	2,0	6,0	3100

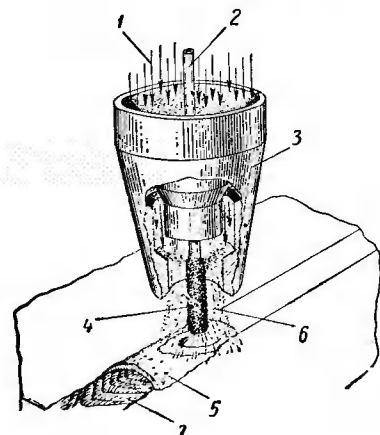
Сварка с магнитным флюсом

Сварка в углекислом газе с магнитным флюсом (фиг. 130) обеспечивает минимальное разбрызгивание металла, хорошее формирование и внешний вид швов. При применении проволоки диаметром 1,2 мм и менее способ может использоваться для выполнения швов во всех пространственных положениях. Сварка в углекислом газе с магнитным флюсом находит применение в промышленности [24].

Сварка трубчатыми электродами

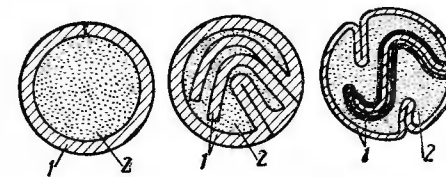
Применение трубчатых электродов, заполненных порошками, содержащими раскисляющие, легирующие, шлакообразующие и ионизирующие компоненты,

Фиг. 130. Схема сварки в углекислом газе в комбинации с магнитным флюсом: 1 — флюс и газ; 2 — сварочная проволока; 3 — сопло; 4 — флюс, покрывающий проволоку; 5 — шлак; 6 — газ; 7 — сварной шов.



дает возможность сваривать легированные стали, для которых изготовление специальной (голой) электродной проволоки нерентабельно [4], применять более высокие токи, чем при сварке голой проволокой, улучшить вид шва за счет большого количества и хорошего растекания шлака, уменьшить разбрызгивание и вести сварку на переменном токе.

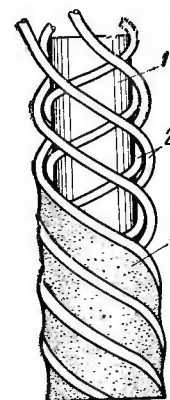
По форме сечения трубчатые электроды разделяются на простые, цилиндрические и желобчатые (фиг. 131). Сварка «желобчатыми» электродами обеспечивает более спокойное горение дуги и меньшее разбрызгивание металла [25]. Трубчатые электроды простой формы применяются при сварке в углекислом газе диафрагм паровых турбин [26].



Фиг. 131. Поперечные сечения трубчатых электродов, применяемых при сварке в углекислом газе: 1 — металлическая оболочка; 2 — порошковая набивка.

Сварка электродами с обмазкой

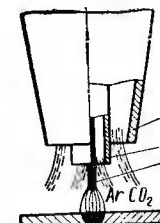
Сварка в углекислом газе непрерывными электродами с обмазкой [27] позволяет вводить в зону сварки те же компоненты и получать примерно те же преимущества, что и при сварке трубчатыми электродами. Электрод состоит из центральной, сравнительно толстой, проволоки и наружной оплетки из более тонкой проволоки; последняя служит для подвода тока и удерживания обмазки (фиг. 132).



Фиг. 132. Вид электрода с обмазкой, применяемого при сварке в углекислом газе: 1 — центральная проволока; 2 — проволока оплетки; 3 — обмазка.

Сварка неплавящимся угольным электродом

Сварка в углекислом газе угольным электродом может применяться при соединении металла небольшой толщины [28]. При этом способе углекислый газ, интенсивно взаимодействуя с раскаленным угольным электродом, образует в зоне сварки восстановительную атмосферу из смеси окиси углерода и углекислого газа. Недостатком способа является сравнительно быстрое сгорание электрода.



Фиг. 133. Схема сварки с комбинацией защитной углекислой газовой и аргонной: 1 — вольфрамовый электрод; 2 — сопло для выхода аргона; 3 — сопло для выхода углекислого газа.

Сварка неплавящимся вольфрамовым электродом с двойной газовой защитой

Сварка вольфрамовым электродом с защитой аргоном и углекислым газом находит применение при соединении сталей и других сплавов небольшой толщины [29]. При этом способе аргон и углекислый газ подаются в зону сварки по раздельным, концентрически расположенным соплам (фиг. 133). Аргон, подаваемый в небольшом количестве (около 25%

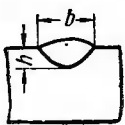
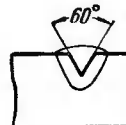
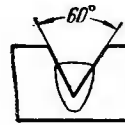
от общего расхода), предохраняет вольфрамовый электрод от окисления углекислым газом. Этот способ позволяет снизить стоимость защитной атмосферы (по сравнению со сваркой в инертных газах) и несколько уменьшить склонность к образованию пор в металле шва.

Возможные дефекты швов и их причины

При сварке в углекислом газе металл шва несколько более склонен к образованию пор и трещин, чем при ручной дуговой сварке и автоматической сварке под флюсом. Это объясняется большей глубиной проплавления основного металла и большей скоростью охлаждения металла шва. Основными же причинами образования пор могут являться повышенное содержание примесей в углекислом газе (азота, водорода), подсос воздуха в зону дуги, неправильная техника сварки, недостаточный или неравномерный расход защитного газа.

Возможность образования трещин особенно увеличивается при наложении первого слоя многослойных стыковых швов вследствие резкого уменьшения коэффициента формы (отношения ширины шва к глубине проплавления, табл. 38). Чтобы предупредить образование трещин, целесообразно первые слои сваривать на пониженном токе, с меньшей скоростью и тщательно заделывать кратеры.

38. Влияние разделки кромок на форму шва [7] *

Тип наплавки	На плоскость	В канавку размером 6×7 мм	В канавку размером 14×16 мм
Форма шва			
Ширина шва в мм . . .	15,5	15,5	9,8
Высота шва в мм . . .	8,0	10,5	11,5
Коэффициент формы шва. $K = \frac{b}{h}$	1,94	1,46	0,85

* Диаметр электрода 2,5 мм; сварочный ток 400 — 420 а; напряжение дуги 29 — 32 в; скорость сварки 25 м/час; расход газа 1200 л/час

Техника безопасности

При сварке в углекислом газе выделяется значительно меньше вредной пыли и газов (отнесенных к одному килограмму наплавленного металла), чем при ручной дуговой сварке качественными электродами [30]. Однако в связи с высокой производительностью сварки в углекислом газе необходимо, чтобы вентиляция рабочего места и защита сварщика, а также находящихся вблизи рабочих от излучения дуги отвечали требованиям, предъявляемым к ручной дуговой сварке качественными электродами на больших токах. Поднимающийся от дуги газы не должны попадать за шлем (в зону дыхания) сварщика. При сварке в закрытых помещениях необходимо учитывать, что углекислый газ может скапливаться в местах, расположенных ниже уровня пола (подвалах, ямах, каналах и т. п.).

ЛИТЕРАТУРА

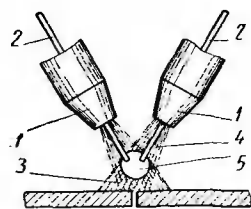
1. Любавский К. В. и Новожилов Н. М., Сварка плавящимся электродом в атмосфере защитных газов, «Атогенное дело» № 1, 1953.
2. Новожилов Н. М., Вопросы металлургии дуговой сварки с защитных газ. Новое в технологии сварки. Машгиз, 1955.
3. Новожилов Н. М. и Соколова А. М., Разработка электродных проволок для сварки малоуглеродистых и низколегированных сталей в углекислом газе «Сварочное производство» № 7, 1958.
4. Касаткин Б. С. и Каховский Н. И., К вопросу сварки легированных сталей в среде углекислого газа, «Автоматическая сварка» № 5, 1956.
5. Foresee wider scope for CO₂ welding, «Welding Engineers», № 11, 1958.

6. Новожилов Н. М. и Суслев В. Н., Сварка плавящимся электродом в углекислом газе, Машгиз, 1958.
7. Новожилов Н. М. и Соколова А. М., Технология полуавтоматической и автоматической сварки углеродистых и низколегированных сталей в углекислом газе, ЦЕНТИ тяжелого машиностроения, М. 1959.
8. Заруба И. И. и Потапьевский А. Г., Автоматическая сварка тонкой стали в среде углекислого газа, «Автоматическая сварка» № 3, 1957.
9. Третьяков Ф. Е., Каран А. Б. и Валеев С. Н., Технология дуговой сварки тонколистовых сталей в среде углекислого газа, «Сварочное производство» № 5, 1956.
10. Потапьевский А. Г., Сварка нержавеющей стали марки 1Х18Н9Т толщиной 3 мм в защитной среде углекислого газа, «Автоматическая сварка» № 3, 1956.
11. Заруба И. И., Полуавтоматическая сварка тонкой стали плавящимся электродом, «Автоматическая сварка», № 3, 1957.
12. Акулов А. И., Сварка в среде углекислого газа. ЦЕНТИ Министерства строительства РСФСР, М. 1958.
13. Ершов Л. К., Бурхутов А. Н. и Широкова З. И., Автоматическая сварка кожуха компрессора домашнего холодильника в среде углекислого газа, «Сварочное производство» № 6, 1957.
14. Акулов А. И., Автоматическая сварка неповоротных стыков малоуглеродистых труб в среде углекислого газа, «Сварочное производство» № 10, 1957.
15. Касаткин Б. С., Каховский Н. И., Вахин Ю. Б., Автоматическая сварка теплоустойчивой стали 15ХМА в среде углекислого газа, «Автоматическая сварка» № 3, 1957.
16. Новожилов Н. М. и Соколова А. М., Сварка электроаппаратами в среде углекислого газа, «Сварочное производство» № 7, 1956.
17. Сварка тонколистового металла электроаппаратами в защитной среде углекислого газа. Информационное письмо Института электросварки им. Е. О. Патона, № 21, ноябрь 1957.
18. Ершов Л. К., Широкова З. И., Бурхутов А. Н. и Яковлев Н. И., Сварка вентильных формующих цепей электроаппаратами в среде углекислого газа, «Сварочное производство» № 11, 1958.
19. Дудко О. А., Виноградский Ф. М., Газовая электрическая сварка с принудительным формированием швов, «Автоматическая сварка», № 3, 1957.
20. Новожилов Н. М., Автоматическая сварка под водой в окислительной атмосфере, «Сварочное производство», № 2, 1956.
21. Новожилов Н. М., Автоматическая сварка под водой в окислительной атмосфере, «Справочное производство» № 7, 1956.
22. Кочановский Н. Я., Оборудование для дуговой сварки, «Сварочное производство» № 11, 1957.
23. Sekiguchi H. and Masamoto S., Low Crack Sensitivity of steel joint by CO₂ — O₂ Arc Welding, «The Welding Journal» № 7, 1958.
24. Tellord R. T. and Stanchus F. T., Industrial Applications of Magnetic — Flux Gas — Shielded Arc Welding, «Welding Journal» № 8, 1958.
25. Danhier F., Un nouveau procede de soudage automatique sous atmosphere protectrice d'anhidride carbonique, «Revue de la Soudure» (lastijdschrift) № 1, 1957.
26. Климович И. З. Л., Мельников Л. Л. и Яшугин Г. Ф., Автоматическая сварка диафрагм паровых турбин в защитной среде углекислого газа, «Сварочное производство» № 11, 1957.
27. Mitchell E. J. and Freeth W. E., Fusare/CO₂ a New Welding Process «Welding and Metal Fabrication», № 12, 1956.
28. Остапенко Н. И., Автоматическая сварка сортовых швов угольной дугой стабилизированной струей углекислого газа, «Атогенное дело» № 5, 1951.
29. Vogel E. and Zimmermann J. F., Tig Welding with a CO₂ Shield, «Welding Engineer» № 6, 1955.
30. Воронцова Е. И. и Карачаров Т. С., Оценка условий труда при различных видах дуговой сварки, «Сварочное производство» № 9, 1956.

АТОМНО-ВОДОРОДНАЯ СВАРКА

Общие сведения

Атомно-водородная сварка представляет собой электрохимический вариант сварки плавлением. На фиг. 134 представлена схема процесса сварки. Расплавление основного и присадочного металла происходит главным образом за счет тепла электрической дуги и рекомбинации водорода, предварительно диссоциированного вблизи столба независимой дуги между двумя вольфрамовыми электродами. Дополнительный тепловой эффект сгорания молекулярного водорода в паружной зоне плавления и тепловое излучение дуги по сравнению с термическим эффектом рекомбинации незначительны. Температура всеобъемлющего атомно-водородного пламени составляет около 3700° С. По степени концентрации тепла атомно-водородная сварка занимает промежуточное положение между кислородно-ацетиленовой сваркой и сваркой вольфрамовым электродом в среде инертных газов.



Фиг. 134. Схема процесса атомно-водородной сварки: 1 — мундштуки горелки; 2 — электроды; 3 — зона перехода атомного водорода в молекулярный; 4 — молекулярный водород, поступающий из мундштуков; 5 — зона расщепления молекулярного водорода (поглощение тепла).

процесса используется для регулирования теплового эффекта при сварке металлов различной толщины, а также при завершении отдельных этапов сварочного процесса.

В отличие от других способов дуговой электросварки изменение напряжения дуги в широком диапазоне (от 60 до 100 в) приводит к незначительным изменениям сварочного тока (3—7%).

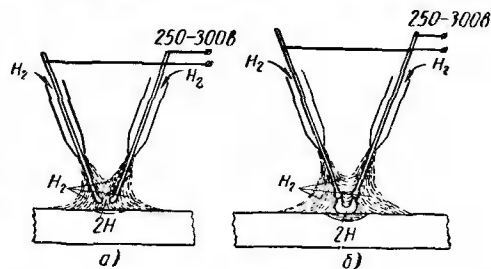
Сварочный режим определяется двумя параметрами: величиной тока и напряжением.

В зависимости от мощности дуги, расхода газа и расстояния между электродами дуга может быть «спокойной» или «звенящей». Звенящая дуга имеет форму веера, издает резкий звук и характеризуется большей мощностью, чем спокойная (фиг. 135, а и б).

Достаточная тепловая мощность и гибкость регулирования атомно-водородного пламени позволяют сваривать почти все металлы и сплавы, применяемые в технике, толщиной от 0,5 мм и более. Для большинства материалов восстановительная атмосфера атомно-водородного пламени является благоприятным фактором. Исключение составляет латунь, при сварке которой указанным методом происходит интенсивное испарение цинка. Нецелесообразно также сваривать медь из-за высокой склонности ее к насыщению водородом, а также титан, его сплавы и ряд редких металлов (Zr, NE, Ta), из-за их химической активности в отношении водорода. Хорошо свариваются малоуглеродистые, легированные и нержавеющие стали, чугуны и его сплавы. При сварке алюминия и его сплавов необходимо применять флюс (например, АФ-4А).

Атомно-водородная сварка обеспечивает получение плотных сварных швов с высокой прочностью и пластичностью, с чистой и гладкой поверхностью и плавным переходом к основному металлу, что значительно улучшает условия их работы при динамических и знакопеременных нагрузках. Мягкость атомно-водородного пламени позволяет успешно производить наплавку порошкообразными твердыми сплавами.

Применение атомно-водородной сварки в промышленности в настоящее время ограничено. Это объясняется некоторой сложностью схемы процесса,



Фиг. 135. Формы дуги: а — «спокойной»; б — «звенящей».

Химическая активность водорода в молекулярном и особенно в атомарном состоянии способствует созданию эффективной защиты расплавленного металла от вредного воздействия атмосферного воздуха.

Для питания независимой дуги применяется переменный ток. Охлаждающее действие эндотермической реакции диссоциации водорода, а равно высокий потенциал ионизации этого газа влияют на величину напряжения, необходимого для возбуждения и поддержания электрической дуги при сварке. В современных аппаратах напряжение холостого хода составляет 250—300 в, а напряжение дуги колеблется от 60 до 100 в. При сварке токами более 35 а может быть использовано оборудование напряжением холостого хода 220 в.

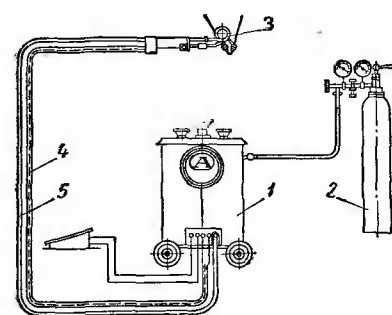
Напряжение дуги зависит от расстояния между концами электродов и подачи водорода в область дуги. Оба фактора влияют также на форму пламени и его тепловую мощность. Эта особенность про-

трудностью механизации, длительностью разогрева крекера при работе с аммиаком и низкой производительностью сварки металла средних и больших толщин. Сказывается также развитие аргоно-дуговой сварки, сварки под слоем флюса и ручной дуговой сварки качественными электродами, обеспечивающих высокое качество сварных швов.

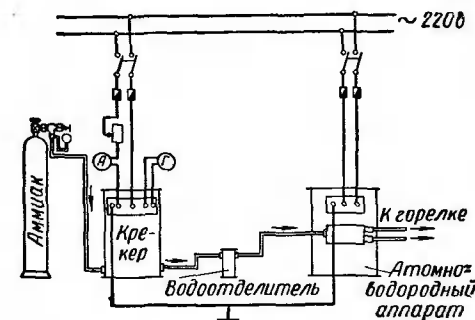
Оборудование для атомно-водородной сварки

В комплект оборудования для атомно-водородной сварки входят:

- а) аппарат для атомно-водородной сварки;
- б) горелка с комплектом сменных мундштуков под разные диаметры электродов;
- в) крекер для получения азотно-водородной смеси из аммиака путем диссоциации;
- г) редуктор для водорода или аммиачный вентиль с комплектом резиновых шлангов;



Фиг. 136. Схема установки для атомно-водородной сварки: 1 — атомно-водородный аппарат; 2 — баллон с водородом; 3 — горелка; 4 — провод для подвода тока; 5 — шланг для подачи водорода.



Фиг. 137. Схема питания поста атомно-водородной смеси.

д) вспомогательная аппаратура для работы с аммиаком (очиститель, осушитель, гальванометр, амперметр).

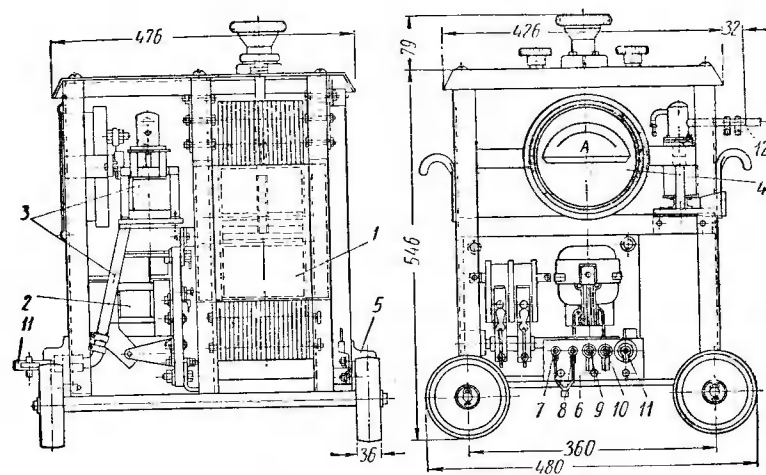
Схемы питания поста водородом и азотно-водородной смесью представлены на фиг. 136 и 137.

Описание нескольких типов аппаратов для атомно-водородной сварки приводится ниже.

А п п а р а т ы

Аппарат типа ГЭ-1-2 подключается непосредственно к сети переменного тока нормальной частоты напряжением 220 в, которое является и напряжением холостого хода установки. Регулирование сварочного режима производится реактором (дресселем), включенным последовательно в сварочную цепь. Кроме реактора, аппарат снабжается контактором типа К-75 на 75 а, автоматическим электромагнитным клапаном типа 5 ГЭД-1-2, амперметром типа ЭИ-3Д на 100 а, однополюсной ножной кнопкой типа АПВ и горелкой типа ГЭГ-2-2.

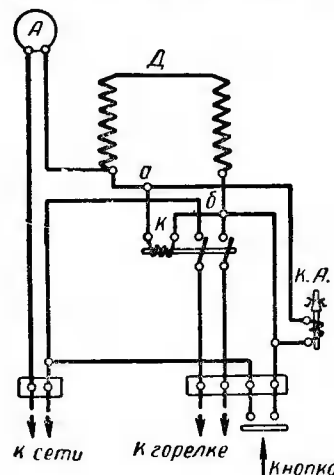
Общий вид и основные размеры аппарата типа ГЭ-1-2 показаны на фиг. 138. Аппарат ГЭ-1-2 состоит из следующих основных частей: дросселя 1, контактора 2, автоматического электромагнитного клапана 3, амперметра 4, бортовой доски 5 с клеммами для подключения к сети, бортовой доски 6 с четырьмя клеммами, из которых клеммы 7 и 8 служат для подключения кнопки, а 9 и 10 — для подключения токоведущих проводов горелки, шнеля 11 для подвода водорода к горелке и шнеля 12 для шланга, идущего от водородного баллона.



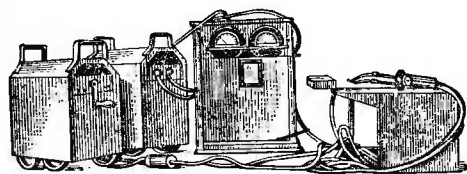
Фиг. 138. Аппарат типа ГЭ-1-2 для атомно-водородной сварки.

Электрическая схема аппарата ГЭ-1-2 представлена на фиг. 139.

Основные технические данные: номинальное напряжение 220 в; номинальный ток при ПР70% — 83 а; минимальный ток при ПР 70% — 30 а; номинальная кажущаяся мощность 18,3 кВА; к. п. д. 85—96%; коэффициент мощности $\cos \varphi = 0,3 \div 0,5$.



Фиг. 139. Электросхема аппарата типа ГЭ-1-2 для атомно-водородной сварки: Д — дроссель; К — контактор; к.а. — клапан автоматический (газовый).



Фиг. 140. Общий вид комплектного атомно-водородного аппарата типа ГЭ-2-2

Аппараты типа ГЭ-2-2. Аппараты ГЭ-1-2 не предназначены для работы на малых токах, когда для зажигания дуги требуется напряжение около 300 в. Для этой цели применяется аппарат ГЭ-2-2. Общий вид комплектного аппарата ГЭ-2-2 показан на фиг. 140, а его электрическая схема на фиг. 141.

Трансформатор аппарата ГЭ-2-2 имеет вторичное напряжение 260 в и мощность 15,6 кВА. Максимальный сварочный ток — 75 а

почного выключателя 4, газовой распределительной коробки 5 и световой сигнализации 6.

Трансформатор имеет две вторичные обмотки — рабочую 7 и вспомогательную 8, служащую для питания контактора.

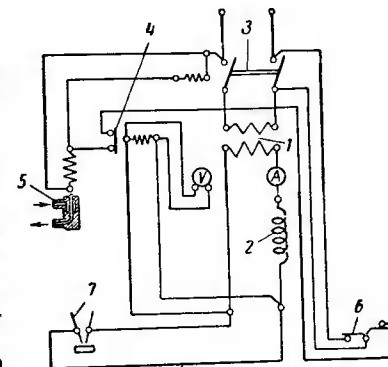
Первичная обмотка 9 секционирована и имеет три ступени на напряжения 340, 360 и 380 в (или, соответственно, на 200, 210 и 220 в) при постоянной величине вторичного напряжения. Первичная обмотка имеет еще другую часть секций с выводами к штенсельному переключателю 10, служащему для регулирования тока в нагревателе крера 11. Переключатель имеет шесть ступеней регулировки.

Обмотка дросселя секционирована на ток короткого замыкания от 15 до 49 а. Контактор 3 имеет две обмотки (втягивающую 12 и удерживающую 13), сердечник, замыкающие контакты и пружины.

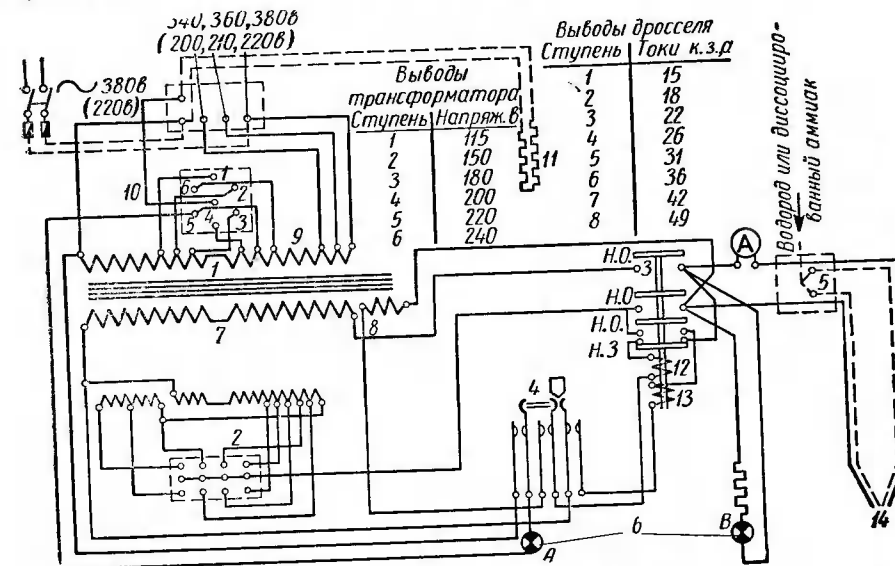
Кнопка 4 служит для включения и выключения контактора и световой сигнализации, состоящей из двух ламп (15 вт/220 в).

Лампа А питается от первичной обмотки трансформатора и предупреждает сварщика о наличии на горелке напряжения 50 в. Лампа В подключена к электродам и служит для предупреждения в случае пригорания ножей контактора при холостом ходе.

При включении кнопки 4 на электродах 14 появляется напряжение от вспомогательной обмотки трансформатора. При сближении электродов замыкается цепь втягивающей обмотки контактора, который замыкает нормально открытые



Фиг. 141. Электросхема атомно-водородного аппарата типа ГЭ-2-2: 1 — трансформатор; 2 — дроссельная катушка; 3 — линейный контактор; 4 — вспомогательный контактор; 5 — водородный клапан; 6 — пусковая кнопка; 7 — горелка



Фиг. 142. Принципиальная схема аппарата АВ-40

при ПР70% Реактор позволяет регулировать сварочный ток в пределах 20—100 а.

Аппарат типа АВ-40 (фиг. 142) рассчитан на первичное напряжение 380 в (по особому заказу изготавливается на напряжение 220 в); вторичное напряжение 220 в. Аппарат состоит из трансформатора 1, дросселя 2, контактора 3, кно-

(н. о.) контакты сварочной цепи и цепи удерживающей обмотки. Нормально закрытые контакты (н. з.) цепи втягивающей обмотки при этом размыкаются.

При последующем быстром разведении электродов образуется дуга, длина которой регулируется маховичком на горелке.

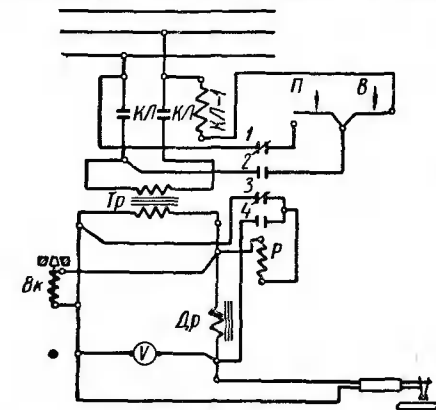
При обрыве дуги исчезает падение напряжения в витках дросселя, питающих удерживающую обмотку, нормально открытые контакты размыкаются пружиной и с электродов снимается высокое напряжение.

Аппарат АГЭС-75 состоит из трансформатора с дроссельной катушкой (регулятором) и пусковой распределительной аппаратуры, размещенной на панели управления. Трансформатор может быть выполнен с отдельной дроссельной катушкой или с дроссельной катушкой на одном сердечнике с трансформатором.

Трансформаторы выпускаются на напряжение сети 220 или 380 в. Вторичное напряжение составляет 300 в. Сварочный ток регулируется в пределах от 20

до 100 а. Регулировка достаточно плавная. Мощность составляет 22,5 квт. На панели управления аппарата размещаются линейный контактор с двумя нормально разомкнутыми контактами, реле с двумя нормально замкнутыми и двумя нормально разомкнутыми контактами, водородный клапан, амперметр на 150 а и вольтметр на 450 в.

Электрическая схема аппарата АГЭС-75 представлена на фиг. 143. Перед пуском аппарата сварщик должен замкнуть вольфрамовые электроды, затем нажать пусковую кнопку П. При этом срабатывает линейный контактор КЛ-1, обмотка которого подключается к сети через контакты кнопки П. Контакты линейного контактора КЛ-1 замыкаются и включают первичную обмотку сварочного трансформатора в сеть. На вторичной обмотке появляется напряжение 300 в, которое будет уравновешиваться падением напряжения на регуляторе, так как вольфрамовые электроды замкнуты. К вторичной обмотке трансформатора подключена обмотка реле Р через нормально зам-



Фиг. 143. Аппарат типа АГЭС-75 для атомно-водородной сварки: Тр — сварочный трансформатор; Др — дроссель (регулятор тока); КЛ-1 — контактор линейный; Р — реле; Вк — водородный клапан; П — кнопка пуска; В — кнопка выключения аппарата.

кнутый контакт 3. Реле срабатывает, размыкаются его нормально замкнутые контакты 1 и 3 и замыкаются нормально разомкнутые контакты 2 и 4. При этом кнопку П можно отпустить, так как ее контакты блокируются замкнутыми контактами линейного контактора КЛ-1 (левый контакт) и контактом 3 реле Р.

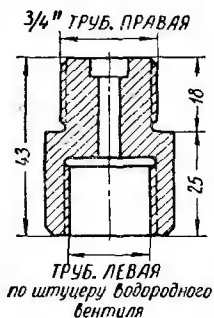
Замыкание контакта 4 реле Р приводит к переключению обмотки реле от вторичной обмотки трансформатора на контакты дроссельной катушки Др. Обмотка реле Р будет питаться напряжением дроссельной катушки Др до тех пор, пока электроды будут замкнуты, либо будет гореть дуга.

Параллельно вторичной обмотке трансформатора подключается обмотка водородного клапана Вк, который срабатывает при включении трансформатора в сеть; с этого момента начинается подача водорода в горелку.

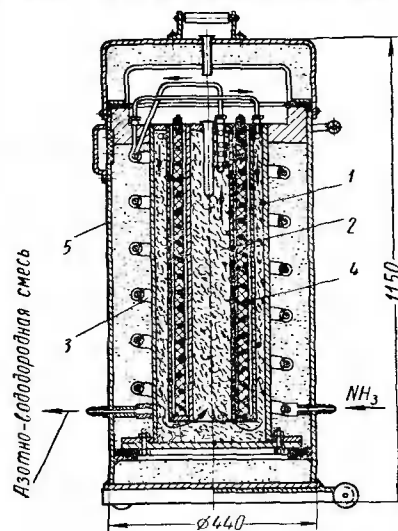
При обрыве дуги напряжение на дроссельной катушке Др становится равным нулю, обмотка реле Р теряет питание, в результате чего контакты 2 и 4 размыкаются, а контакты 1 и 3 замыкаются. Размыкание контакта 2 приводит к обрыву цепи питания обмотки линейного контактора КЛ-1, его контакты размыкаются и отключают первичную обмотку сварочного трансформатора от сети. С отключением сварочного трансформатора отключается водородный клапан Вк и доступ водорода в горелку прекращается.

При обрыве дуги происходит автоматическое отключение аппарата от сети, что соответствует действующим правилам техники безопасности при атомно-водородной сварке.

При попытке возбудить дугу, не замкнув предварительно электрода, нажатие кнопки П не приведет к нормальному включению первичной обмотки трансформатора в сеть, а следовательно к появлению высокого напряжения между электродами.



Фиг. 144. Переходная гайка



Фиг. 145. Крекер типа ДК-1

Напряжение дуги нормальной длины при атомно-водородной сварке составляет 70—80 в, что вполне допустимо по условиям безопасности работы.

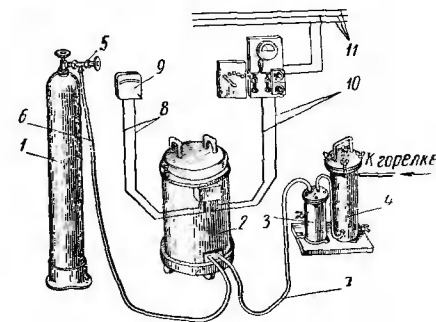
Водородные редукторы, конструктивно не отличающиеся от кислородных, могут быть однокамерными и двухкамерными. В отличие от кислородных редукторов они окрашиваются в зеленый цвет.

Присоединение редуктора к водородному баллону производится при помощи переходной гайки (фиг. 144) с левой резьбой.

Диссоциатор аммиака (крекер) типа ДК-1 (фиг. 145) состоит из двух цилиндрических катализаторных камер 1 и 2, покрытых снаружи трубчатым змеевиком-теплообменником 3 и обогреваемых изнутри электрическим нихромовым нагревателем 4. Крекер закладывается в теплоизоляционный кожух 5.

Аммиак из баллона под давлением 0,2—0,3 атм поступает по наружной трубке теплообменника в катализаторные камеры и затем в диссоциированном состоянии по внутренней трубке теплообменника — в шланг, водоотделитель и горелку (фиг. 146).

Катализаторами служат естественные магнетиты или слегка окисленная железная стружка. Перед пуском крекера в эксплуатацию катализатор подвер-



Фиг. 146. Установка для крекирования аммиака: 1 — баллон с аммиаком; 2 — крестер; 3 — очиститель; 4 — осушитель; 5 — редукционный вентиль; 6 — резиновый шланг для подачи аммиака в крестер; 7 — резиновый шланг для подачи азотно-водородной смеси из крестера в очиститель; 8 — проволока, ведущая от термометра к гальванометру; 9 — гальванометр; 10 — проволока для подвода тока к крестеру; 11 — электрическая сеть

гается восстановлению, для чего газ в течение 18—24 час. пропускается через нагретый крекер. Срок службы катализатора около 6 мес.

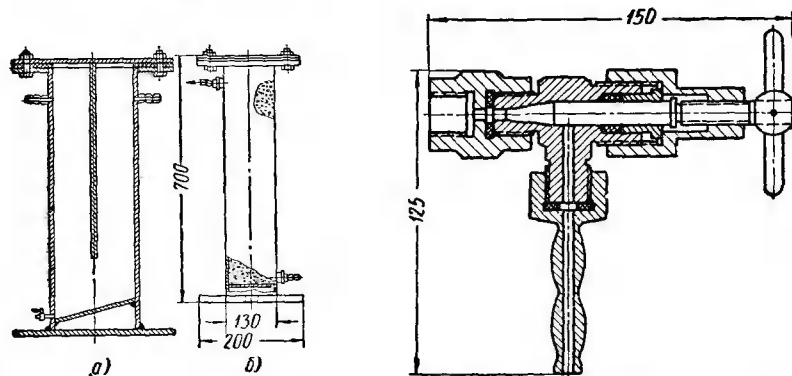
В последнее время находит применение неспекающийся катализатор в виде окисленных с поверхности алюминиевых шариков, легко закатываемых внутрь змеевика и загружаемых в катализаторные камеры.

Применение неспекающегося катализатора, срок службы которого превышает срок службы самого крекера, позволяет упростить конструкцию последнего путем замены фланцевых соединений сварными. Контроль температуры крекера осуществляется термопарой. Накал обмотки крекера может регулироваться последовательно включенным реостатом, изменяющим ток в пределах 10—20 а; переключением витков первичной обмотки трансформатора (при подключении крекера к аппарату АВ-40) и терморегулятором, включенным в цепь обмотки крекера.

Крекер снабжен предохранительным клапаном на 0,5—1 атм.

Применение водородного клапана в атомно-водородном аппарате при работе на диссоциированном аммиаке не допускается.

Выходящая из крекера при температуре 40—50° С азото-водородная смесь содержит некоторое количество влаги улавливаемой в специальном водоотделителе (фиг. 147), представляющем собой сосуд с перегородкой, либо сосуд, заполняемый хлористым кальцием или силикагелем.



Фиг. 147. Водоотделители: а — механический; б — химический.

Фиг. 148. Аммиачный вентиль.

Крекер ДК-1 присоединяется к сети напряжением 220 в. Мощность его 4,5 квт, производительность до 2—2,5 м³/час, допускающая в некоторых случаях одновременную работу двух сварщиков.

Аммиачный игольчатый вентиль (фиг. 148) присоединяется к аммиачному баллону и совместно с вентилем баллона обеспечивает плавную регулировку расхода газа. Вентиль изготавливается из стали. Он не должен содержать частей из меди и медных сплавов, корродирующих в атмосфере аммиака.

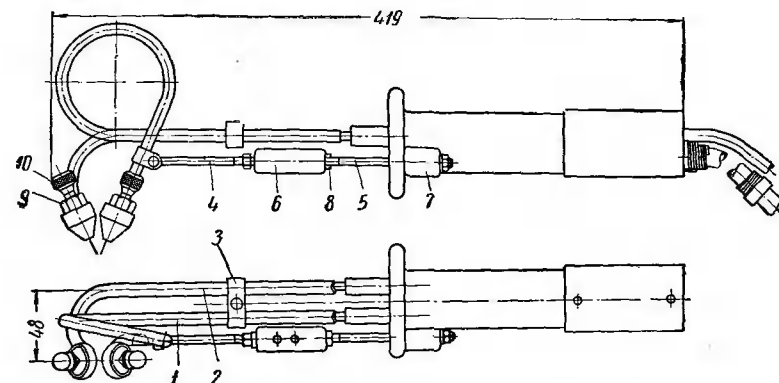
Недостатки конструкции вентилей — отсутствие автоматического перекрытия клапана при прекращении отбора газа и отсутствие манометров.

Давление измеряется обычным манометром через залитый в сифонную трубку глицерин (или масло) или ртутным манометром.

Горелки

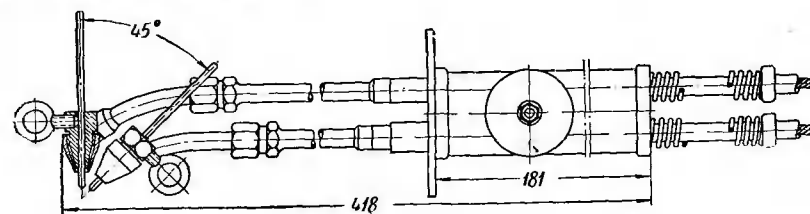
Горелка ГЭГ-2-2 (фиг. 149), поставляемая с аппаратом ГЭ-1-2, состоит из двух неподвижных трубок 1 и 2, запрессованных в корпус из пластмассы. Водород подводится одним резиновым шлангом. Распределение газа по трубкам происходит в корпусе горелки. Свободные концы трубок 1 и 2 стянуты для жесткости хомутом 3. Регулирование длины дуги осуществляется шлангой состоя-

щей из стальных стержней 4 и 5, соединенных изоляционной муфтой 6. Стержень 4 связан шарнирно с петлей трубки 1, а стержень 5 — с поворотной головкой 7. При поворачивании головки 7 стержень 5 вворачивается в гайку 8, запрессованную в муфту 6, или вывертывается из нее, изменяя таким образом расстояние между концами электродов. Электрод зажимается во внутреннем мундштуке 9 при помощи зажима 10.

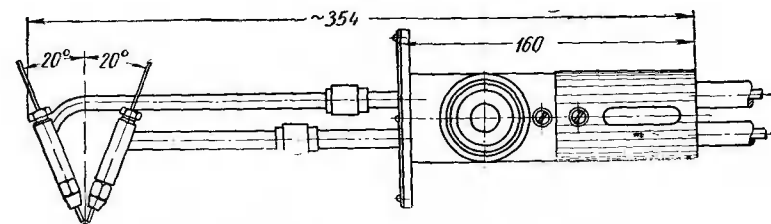


Фиг. 149. Атомно-водородная горелка типа ГЭГ-2-2.

Горелки ГЭГ-1-1 (фиг. 150) поставляется с аппаратом ГЭ-2-2; она рассчитана на сравнительно большие токи. Недостатком горелки является громоздкость и значительный вес. Она применяется преимущественно для сварки металла больших толщин.

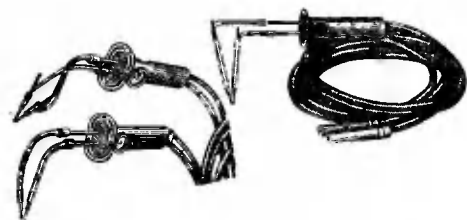


Фиг. 150. Горелка ГЭГ-1-1.



Фиг. 151. Горелка Г-12-1 к аппарату АВ-40.

Горелка Г-12-1 (фиг. 151), поставляемая с аппаратом АВ-40, отличается компактностью и малым весом. Она предназначена для сварки металла небольших толщин.



Фиг. 152. Типы горелок для работы в труднодоступных местах.

В последних двух типах горелок подвод тока и газа осуществляется по специальным дюритовым шлангам (подключаемым к распределительной коробке аппарата и к горелке), внутри которых проходит гибкий медный проводник.

Типы горелок для работы в труднодоступных местах представлены на фиг. 152.

Газы, применяемые при атомно-водородной сварке

Основными газами, применяемыми при атомно-водородной сварке, являются водород и диссоциированный аммиак.

В о д о р о д

В промышленности водород получается электролизом воды и другими способами. По ГОСТу 3022-45 чистота водорода должна быть не менее 99,5%. Допустимая влажность водорода составляет не более 25 г/м³ при нормальном давлении. Наличие влаги в водороде увеличивает коррозию баллонов и трубопроводов, снижает теплотворную способность газового факела. Для осушки водород пропускают через хлористый кальций, концентрированную серную кислоту, силикагель, алюмогель и т. п.

С воздухом водород образует взрывчатые смеси. Взрывы возможны при содержании в воздухе водорода более 9,5%, поэтому все соединения трубопроводов, шлангов, вентили баллонов необходимо тщательно проверять на плотность. Помещения, в которых производятся работы с водородом, должны хорошо вентилироваться.

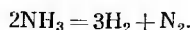
Газообразный водород хранится и транспортируется в баллонах под давлением 150 атм. Водородные баллоны окрашиваются в темнозеленый цвет с красными полосами по окружности или с надписью красной краской — «Водород».

А м м и а к

Аммиак (NH₃) при комнатной температуре представляет собой бесцветный газ с резким запахом, раздражающе действующий на глаза и дыхательные органы. По удельному весу он почти вдвое легче воздуха, сгущается в жидкость при давлении 8,45 атм (при 20° С) и легко растворяется в воде.

Аммиак хранится в жидком виде при давлении 8—10 атм в стальных цельнотянутых баллонах, окрашенных в желтый цвет.

При нагревании до температуры 550—600° С в присутствии катализатора аммиак диссоциирует по уравнению



Баллон аммиака емкостью 45 л дает при диссоциации около 70 м³ газовой смеси, или около 52,5 м³ водорода. Преимуществом аммиака является его не дефицитность, сравнительная безопасность и экономичность, связанная с большим выходом газообразного аммиака из жидкого.

Более слабое охлаждающее действие аммиака (по сравнению с водородом) дает возможность снизить напряжение зажигания дуги; однако при этом на 10—20% повышается расход вольфрама.

Степень и скорость диссоциации аммиака в катодной дуге в значительной мере зависят от температуры катализатора (табл. 39).

Понижение температуры катализатора, присутствие воздуха и влаги уменьшают скорость диссоциации аммиака и понижают качество азото-водородной смеси, которая в таких случаях может содержать влагу и остатки неразложившегося аммиака. Для поглощения аммиака азото-водородную смесь пропускают через воду или водный раствор серной кислоты (1 : 3), а для поглощения влаги — через едкое кали, едкий натр или хлористый кальций.

Электроды

При атомно-водородной сварке применяются электроды из чистого вольфрама по ТУВМ 2-529-57 иногда угольные — по ТУ 11-12-4.

Диаметр электрода выбирается в зависимости от толщины свариваемого металла и тока. Максимальная длина электродов — 200—250 мм, диаметр от 1 до 4 мм. Наиболее часто применяются электроды диаметром 1,5—3,0 мм.

При правильном ведении процесса сварки вольфрамовые электроды оплавляются и испаряются незначительно, поэтому в металл шва вольфрам обычно почти не попадает.

Угольные электроды без фитилей применяются для сварки инструментальных сталей, а также для наплавки быстрорежущей стали и твердых сплавов, так как при сварке указанных материалов вольфрамовыми электродами наблюдается обезуглероживание и значительная пористость наплавленного металла. Диаметр электрода 6—8 мм.

Присадочная проволока

При атомно-водородной сварке обычно применяется присадочная проволока того же химического состава, что и основной металл. Защита металла при атомно-водородной сварке достаточно эффективна, вследствие чего угар элементов в металле шва объясняется не реакциями окислительного характера, а взаимодействием водорода с углеродом. В тех случаях, когда необходимо сохранить в шве определенную концентрацию углерода, следует применять присадочный металл с содержанием углерода на 20—30% выше заданной концентрации.

Для подбора диаметра d присадочной проволоки при сварке стали можно пользоваться эмпирической формулой

$$d = \frac{s}{3} + 1.$$

где s — толщина свариваемого металла в мм.

Виды сварных соединений

При атомно-водородной сварке могут применяться следующие виды сварных соединений: бортовое, стыковое, угловое, тавровое и внахлестку.

Бортовое соединение применяется при сварке листов толщиной до 2 мм. Высота отбортовки должна обеспечивать образование шва без присадочного металла.

Стыковые соединения толщиной до 1,5 мм свариваются без зазора, соединения толщиной от 2 до 6 мм — с зазором 1,5—2,0 мм без скоса кромок, выше 6,0 мм — со скосом. Тавровые соединения со скосом кромок применяются при толщинах более 3 мм. Углы скоса кромок должны быть не менее 45°.

39. Содержание аммиака в азото-водородной смеси в зависимости от температуры катализатора

Температура катализатора в °С	Содержание аммиака в азото-водородной смеси в %
500	38
520	0,96
575	0,13
600	0,05
650	0,025

Техника и режимы атомно-водородной сварки

Перед началом работы необходимо установить режим и подобрать электроды требуемого диаметра. Длину выступающего из мундштука конца электрода рекомендуется выбирать по табл. 40.

После того, как выбран режим сварки, установлены напряжение зажигания и диаметр присадочной проволоки, регулируется длина выступающего из мундштука конца электрода.

40. Пределы длины выступающего из мундштука конца электрода

Диаметр электрода в мм	Ток в а	Максимальная длина в мм	Минимальная длина в мм
1,0	15—25	18	10
1,5	15—35	22	13
2,0	15—50	28	16
3,0	25—75	30	
5,0	60—150		

Для получения необходимого давления водорода редуктор на баллоне устанавливается на рабочее давление 0,6 атм, при котором возбуждается дуга. После этого давление водорода снижается до уровня, соответствующего началу плавления концев вольфрамовых электродов и исчезновению специфического веерообразного очертания дуги. Подача газа должна быть минимально необходимой. Поверхность концев вольфрамовых электродов должна иметь темно-синий или серебристый цвет.

Существует несколько способов зажигания дуги: сближение вольфрамовых электродов при открытой струе водорода и быстрое их разведение после возбуждения дуги; предварительный нагрев разведенных на расстояние 1—1,5 мм электродов путем замыкания их на угольную или графитовую пластинку до возникновения дуги и другие способы. Зажигание дуги на угольной пластинке наиболее распространено.

Если дуга не возбуждается, следует проверить плотность посадки электродов во втулках горелки, плотность контактов, исправность аппарата.

Детали толщиной до 1,5 мм свариваются «спокойной» дугой, получающейся при расстоянии между электродами 0,5—1,5 мм. Для толщин более 1,5 мм нормальной дугой считается «звнящая», которая получается при расстоянии между электродами 4—5 мм. Дуга регулируется не только изменением расстояния между электродами, но и давлением газа.

Расстояние между концами электродов и свариваемым изделием нормально составляет от 5 до 10 мм. Наименьшее расстояние соответствует наименьшей тепловой мощности дуги. Положением горелки обеспечивается оптимальное использование тепловой мощности дуги. Наибольшее количество атомного водорода находится во внешнем контуре пламени; эта зона должна быть в максимальной степени использована при сварке.

Если атомно-водородное пламя будет касаться свариваемого металла зоной более отдаленной от концев электродов, то интенсивность нагрева уменьшается. При чрезмерном приближении пламени к изделию снижается эффективность использования его тепловой мощности и, кроме того, происходит загрязнение концев электродов и мундштуков горелки брызгами свариваемого металла, что приводит к нарушению режима сварки.

Режим сварки регулируется изменением тока, расстоянием между концами электродов, расстоянием между дугой и свариваемым металлом и изменением наклона горелки по отношению к свариваемому шву.

Приемы атомно-водородной сварки подобны приемам при газовой сварке. В правой руке сварщик держит горелку, а в левой — присадочный пруток.

В зависимости от толщины свариваемого металла применяется левый или правый способы сварки. При левом способе пламя горелки направлено вперед по направлению на еще не расплавленный основной металл; присадочный пруток находится впереди горелки. При правом способе пламя направлено на наплавленный металл; присадочный пруток находится позади горелки.

Левый способ сварки является более распространенным; правый применяется обычно при сварке металла толщиной более 3 мм.

При сварке горелку необходимо перемещать равномерно с небольшими поперечными колебаниями, ведя пламя плоскостью вдоль шва; конец присадочного прутка следует вводить в зону сварки короткими отрывистыми движениями. Атомно-водородную сварку можно вести в нижнем и вертикальном положениях.

Для получения полного провара и плотного шва процесс сварки необходимо вести, не отрывая пламени горелки от расплавленного металла. Более полная дегазация металла шва может быть достигнута медленным удалением веера пламени или регулированием дуги на «спокойную».

Причинами образования газовых пор могут быть излишний расход водорода, чрезмерный ток и загрязнение металла и проволоки.

В табл. 41 и 42 приведены примерные режимы атомно-водородной сварки. Для определения ориентировочного расхода чистого водорода можно пользоваться эмпирической формулой

$$Q = 800 + 15I,$$

где Q — расход водорода в л/час;
 I — сварочный ток в а.

41. Режимы атомно-водородной сварки малоуглеродистой стали при работе с диссоциированным аммиаком

Толщина стали в мм	Вид соединения	Давление газа в атм	Диаметр электрода в мм	Ток в а	Напряжение дуги в в	Расход на 1 пог. м шва			Время в мин.
						газа в л	электрода в г	электроэнергии в кет-ч	
Вольфрамовые электроды									
1	Стыковое без скоса кромок	0,15	1,5	24—25	65—70	60	0,21	0,228	4,9
2				26—28	75—80	96	0,32	0,346	6,75
3				30—32	80—85	124	0,46	0,504	7,9
4				32—34	85—90	—	—	—	12,1
5	V-образное	3	3	38—40	90—95	228	—	1,026	12,35
6				42—44	95—100	228	1,10	1,249	13,58
7				46—48	100—105	380	1,45	1,883	16,38
8				48—50	105—110	468	1,77	2,163	18,88
Угольные электроды									
3	Стыковое без скоса кромок	0,2	6	25—27	65—70	256	3,14	0,594	13,38
4				36—38	75—80	306	5,27	1,056	14,83
5	V-образное	0,33	8	39—41	85—90	332	—	1,324	15,5
6				42—44	95—100	—	—	—	17,35
7				46—48	105—100	450	19,18	1,816	19,25
8				48—50	115—120	514	0,33	2,067	21,45

12. Примерные режимы атомно-водородной сварки (данные завода «Электрин»)

Толщина металла в мм	Диаметр электрода в мм	Ток в а	Потребляемая мощность в кет	Средний расход водорода в л/час *	Рабочее давление водорода в атм
До 1	1,5—2	25—35	2,1—3,7	1200	0,055
2—3	2—3	35—40	2,7—4,5	1400	0,064
4—5	3	40—50	3,3—5,9	1500	0,068
6—7		50—60	4,4—8,0	1600	0,073
8—10	4	60—70	4,9—9,3	1750	0,080
Свыше 10		70—85	6,0—11,0	1850	0,085

* Расход водорода указан из условия непрерывного горения дуги. При применении автоматически регулируемого клапана расход водорода уменьшается.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вишневицкий М. Н., Атомно-водородная сварка в самолетостроении, Оборонгиз, 1939.
2. Справочные материалы для сварщиков под редакцией проф. д-ра техн. наук Г. А. Николаева, Машгиз, 1951.
3. Энциклопедический справочник «Машиностроение», том 5, Машгиз, 1947.
4. Справочник электросварщика. Машгиз, Украинское отделение, Киев, 1954.

ОСОБЕННОСТИ СВАРКИ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В СРЕДЕ ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ

Сварка малоуглеродистой и низколегированной конструкционной стали

Сварка кипящей и спокойной малоуглеродистой стали, а также целого ряда марок низколегированной конструкционной стали производится обычно вручную качественными электродами или автоматами и полуавтоматами под плавными и керамическими флюсами.

Однако во многих случаях, особенно при малой толщине материала, оказывается целесообразной сварка стали в среде инертных газов.

Кипящие углеродистые стали весьма склонны к пористости при сварке в инертных газах как неплавящимся, так и плавящимся электродом. Основной причиной пористости при этом является взаимодействие содержащихся в металле углерода и закиси железа главным образом во время кристаллизации металла шва. Развитию пористости способствуют присутствующие в аргоне или гелии примеси (азота и водорода), растворимые в металле шва, а также случайный подсос атмосферного воздуха в зону дуги при нарушениях защиты.

Спокойные стали подвержены пористости в меньшей степени.

Низколегированные стали обычно достаточно раскислены и имеют в своем составе легирующие элементы (хром и другие), снижающие их чувствительность к небольшим примесям растворимых газов в аргоне или гелии. Указанные стали проявляют склонность к пористости металла шва обычно лишь при резких нарушениях газовой защиты зоны сварки, а также при значительном содержании азота или влаги в защитном газе.

Эффективной мерой предупреждения пористости при сварке кипящей и спокойной углеродистой стали является применение присадочных материалов с повышенным содержанием элементов — раскислителей (Si, Mn, Ti). Такими материалами являются сварочные проволоки марок Св-08ГС и Св-08Г2С, а также Св-12ГС и Св-10ГСМТ по ГОСТу 2246-60.

Сварку низколегированных сталей следует производить с присадкой, аналогичной или близкой по составу к основному металлу.

При сварке в аргоне углеродистых сталей плавящимся электродом, по составу близким к основному металлу, пористость металла шва увеличивается с повышением плотности тока (фиг. 153). Однако применение в этом случае аргона с добавкой до 5% кислорода наряду с понижением критического тока,

улучшением формирования шва и повышением устойчивости дуги приводит к получению плотного, металла шва при сварке током повышенной плотности.

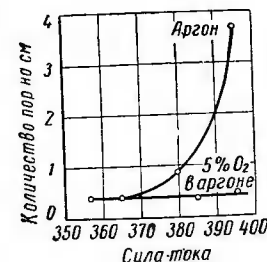
Необходимо учитывать, что при сварке в защитной среде из смеси аргона с кислородом попадание в зону дуги даже небольших количеств азота вызывает резкое возрастание пористости. На раскисленных и низколегированных сталях плотные швы получаются при сварке плавящимся электродом в защитной среде аргона с примесью 5—10% CO_2 . При этом несколько снижается стабильность дуги, увеличивается размер капель переходящего в дуге металла и увеличивается разбрызгивание.

Сварку сталей неплавящимся электродом осуществляют постоянным током прямой полярности или переменным, а плавящимся электродом — постоянным током обратной полярности. Сварка плавящимся электродом током прямой полярности дает удовлетворительные результаты при использовании электродов, активированных щелочно-земельными металлами или при защите дуги аргонном с примесью кислорода.

Для сварки сталей 25ХГСА и 30ХГСА в качестве присадочного и электродного материала применяют проволоку Св-18ХМА или Св-18ХГСА. Для сварки плавящимся электродом рекомендуется применять проволоку Св-18ХГСА, так как она повышает жидкотекучесть ванны и обеспечивает лучшее формирование шва.

Режимы полуавтоматической сварки тонколистовой стали 30ХГСА плавящимся электродом приведены в табл. 43.

Примерные режимы ручной и автоматической сварки вольфрамовым электродом приведены в табл. 44 и 45.



Фиг. 153. Влияние плотности (силы) тока на пористость металла шва.

43. Режимы полуавтоматической аргоно-дуговой сварки плавящимся электродом стали 30ХГСА

Тип соединения	Толщина листов в мм	Диаметр проволоки в мм	Ток в а	Напряжение на дуге в в	Расход аргона в л/мин
В стык	1+1	0,5—0,7	35—55	19	4—6
	1,5+1,5	0,8—1,0	70—90	19	5—7
	2+2	1,0—1,2	110—130	19—21	6—8
	3+3	1,0—1,6	160—200	21—23	6—8
Внахлестку	1+1	0,5—0,8	55—75	19	4—6
	1,5+1,5	0,8—1,0	80—100	19	5—7
	2+2	1,0—1,2	115—135	19—21	6—8
	3+3	1,0—1,6	165—200	21—23	6—8
	1,5+8	1,0—1,2	105—125	19—20	6—8
	2+8	1,0—1,6	115—135	19—21	6—8
Втавр	1+1	0,5—0,8	40—60	19	4—6
	1,5+1,5	0,8—1,0	65—85	19—20	5—7
	2+2	1,0—1,2	100—120	19—21	6—8
	3+3	1,0—1,6	150—170	21—23	6—8

44. Режимы ручной сварки стыковых соединений из конструкционных сталей 30ХГСА, 25ХГСА и ЭИ659 вольфрамовым электродом постоянным током прямой полярности

Толщина свариваемого материала в мм	Диаметр присадочной проволоки в мм	Аргон		Гелий	
		Ток в а	Расход газа в л/мин	Ток в а	Расход газа в л/мин
1	1,6	30-60	3,5-4	30-45	5-5,5
1,5	1,6-2,0	45-70	4-5	40-55	5-7
2	2,0	70-120	5-6	50-80	7-5
3	2,0	110-150	6-7	75-100	8-9

45. Режимы автоматической сварки стыковых соединений из конструкционных сталей 30ХГСА, 25 ХГСА и ЭИ659 неплавящимся электродом переменным током

Толщина свариваемого материала в мм	В стык без присадки				В стык с присадкой				Диаметр присадочной проволоки в мм			
	Аргон		Гелий		Аргон		Гелий					
	Ток в а	Скорость сварки в м/час	Расход газа в л/мин	Ток в а	Скорость сварки в м/час	Расход газа в л/мин	Ток в а	Скорость сварки в м/час		Расход газа в л/мин		
1	50-80	20-30	4	35-60	20-30	5,5	60-100	20-30	40-60	20-30	5,5	1-1,6
1,5	60-90	20-30	5-6	40-65	20-30	6-8	80-120	20-30	60-80	20-30	6-8	1,6
2,5	90-140	15-20	6-7	60-80	15-20	8-9	100-150	15-25	70-100	15-25	8-9	1,6-2
4	140-200	8-10	7-8	80-140	8-10	9-10	160-220	До 10	110-170	До 10	9-10	2

Примечания: 1. Длина дуги 2-3 мм.
2. Скорость подачи присадочной проволоки выбирается в соответствии с заданным сечением шва.

Примечания: 1. Длина дуги 2-3 мм.

2. Скорость подачи присадочной проволоки выбирается в соответствии с заданным сечением шва.

Сварка нержавеющей и жаропрочных сплавов

При сварке нержавеющей и жаропрочных сплавов нет необходимости в металлургической обработке металла шва, так как эти сплавы, содержащие большое количество легирующих элементов, являются хорошо раскисленными. Высококачественные швы на этих сплавах получаются при сварке в инертных газах, обеспечивающей максимальное усвоение швом легирующих элементов основного и присадочного металла.

Нержавеющие и жаропрочные стали хорошо свариваются в среде аргона и гелия как неплавящимся, так и плавящимся электродами.

Сварку вольфрамовым электродом можно выполнять постоянным током прямой полярности или переменным током.

Выбор присадочной или электродной проволоки для сварки нержавеющей и жаропрочных сталей и сплавов производится как по металлургическим, так и по технологическим свойствам. Рекомендуемые присадочные материалы приведены в табл. 46.

Нержавеющие и жаропрочные стали и сплавы следует сваривать на подкладке или с дополнительной защитой аргоном обратной стороны шва.

Некоторые аустенитные стали и сплавы при большой толщине листов (свыше 3 мм) при сварке в среде защитных газов склонны к горячим трещинам (например, сплавы ЭИ602, ЭИ437Б и др.).

Оrientировочные режимы ручной сварки неплавящимся электродом стыковых соединений нержавеющей и жаропрочных сталей и сплавов приведены в табл. 47. В табл. 48 и 49 приведены режимы автоматической сварки неплавящимся электродом постоянным и переменным токами. Нержавеющие и жаропрочные стали и сплавы можно сваривать в среде аргона и гелия плавящимся электродом. Режимы сварки приведены в табл. 50 и 51.

При питании дуги от источников тока с жесткой или возрастающей внешней характеристикой плавящимся электродом можно сваривать нержавеющей стали толщиной 0,5 мм и выше. Однако при выборе способов сварки следует учитывать, что материалы толщиной до 2-3 мм экономичнее сваривать неплавящимся электродом.

Основные размеры швов, получающихся при сварке неплавящимся и плавящимся электродами, приведены в табл. 52. Прочность сварных соединений из различных сталей и жаропрочных сплавов указана в табл. 53.

46. Рекомендуемые присадочные материалы для сварки нержавеющей сталей, жаропрочных сплавов и некоторых комбинаций разнородных материалов *

Свариваемые материалы		Присадочная проволока	
Сочетания свариваемых материалов	ГОСТ или ТУ	Марка	ГОСТ или ТУ
1Х18Н9Т-1Х18Н9Т	ГОСТ 5632-51	Св-06Х19Н9Т Св-04Х19Н9 Св-08Х19Н10Б	ГОСТ 2246-60 То же »
ЭИ654-ЭИ654	ЧМТУ 4200-53	ЭИ654	ЧМТУ 5216-55
ХН78Т-ХН78Т	ЧМТУ 3271-52	ХН78Т Св-08Х19Н10Б	ЧМТУ 5216-55 ГОСТ 2246-60
ЭИ602-ЭИ602	ЧМТУ 3589-53	ЭИ602 ХН78Т	ЧМТУ 3589-53 ЧМТУ 3271-53
ЭИ703-ЭИ703	ЧМТУ 5093-55	ЭИ703	ЧМТУ 5216-55
ЭИ437Б-ЭИ437Б	ЧМТУ 5385-56	ЭИ437Б ВЖ98	доп. 1 ЧМТУ 5216-55 То же
ВЖ98-ВЖ98	ЧМТУ 5359-55	ВЖ98	»

Продолжение табл. 46

Свариваемые материалы		Присадочная проволока	
Сочетания свариваемых материалов	ГОСТ или ТУ	Марка	ГОСТ или ТУ
ЭИ652-ЭИ652	ЧМТУ 5481-56	ЭИ652 ВЖ98	ЧМТУ 5216-55 То же
ЭИ696А-ЭИ696А	ЧМТУ 5658-56	ЭИ696А ВЖ 98	» »
1Х18Н9Т-ХН78Т	ГОСТ 5632-51 ЧМТУ 3271-52	Св-06Х19Н9Т Св-04Х19Н9 ХН78Т Св-08Х19Н10Б	ГОСТ 2246-60 То же ЧМТУ 5216-55 ГОСТ 2246-60
1Х18Н9Т-30ХГСА	ГОСТ 5632-51 ГОСТ 4543-48	ЭИ334	ЧМТУ 5216-55
ХН78Т-30ХГСА	ЧМТУ 3271-52 ГОСТ 4543-57	ЭИ334 ХН78Т	То же »
1Х18Н9Т-ЭИ659	ГОСТ 5632-51 ЧМТУ 4364-53	ХН78Т	»
1Х18Н9Т-ЭИ696А	ГОСТ 5632-51 ЧМТУ 5658-56	ЭИ696А ЭИ400	» »
ЭИ696А-ЭИ652	ЧМТУ 5658-56 ЧМТУ 5481-56	ВЖ98	»
ЭИ696А-ЭИ437Б	ЧМТУ 5658-56 ЧМТУ 5385-56	ЭИ696А ЭИ696 ЭИ435	» » »
1Х18Н9Т-ЭИ703	ГОСТ 5632-51 ЧМТУ 5093-55	ЭИ395	ЧМТУ 5216-55
ЭИ602-ЭИ703	ЧМТУ 3589-53 ЧМТУ 5093-55	ЭИ703 ЭИ602	

* Таблица составлена по опытным данным для материалов толщиной до 5 мм.

47. Режимы ручной сварки неплавящимся электродом стыковых соединений из нержавеющей и жаропрочных сталей и сплавов марок 0Х18Н9, 1Х18Н9Т, ХН78Т, ЭИ651, ЭИ602, ЭИ703

Род тока	Толщина основного металла, мм	С отбортовкой				Диаметр присадочной проволоки, мм	В стык с присадкой			
		Аргон		Гелий			Аргон		Гелий	
		Ток в а	Расход газа в л./мин	Ток в а	Расход газа в л./мин		Ток в а	Расход газа в л./мин	Ток в а	Расход газа в л./мин
Постоянный прямой полярности или переменный	0,5	30—50	4	25—40	5	1,0	35—40	4	25—40	5
	0,8	30—50	4	25—40	5	1,0	35—40	4	25—40	5
	1,0	35—60	3,5—4	30—45	5—5,5	1,6	40—70	3,5—4,0	30—50	5—5,5
	1,5	45—80	4—5	35—60	5—7	1,6	50—85	4—5	35—60	5—7
	2,0	75—120	5—6	50—80	7—8	2,0	80—130	5—6	60—75	7—8
	3,0	110—140	6—7	65—90	8—9	2,0	120—160	6—7	75—110	8—9

48. Режимы автоматической сварки неплавящимся вольфрамовым электродом постоянным током стыковых соединений из нержавеющей и жаропрочных сталей 1Х18Н9Т и ЭИ654

Толщина материала, мм	Диаметр присадочной проволоки, мм	Ток в а	Скорость сварки в м/час	Расход аргона в л/мин
0,4+0,4 0,5+0,5	0,6	30—45 40—55	30—40 35—45	4—5
0,8+0,8	0,8	60—80		
1,0+1,0	1,0	80—100	30—40	5—6
1,5+1,5	1,6	100—130	25—40	
2,0+2,0	2,0	140—170	20—35	7—8
0,5+0,5 1,0+1,0 1,5+1,5	Без присадки		30—50	4—5
2,0+2,0			20—35	5—6 7—8

49. Режимы автоматической сварки неплавящимся электродом переменным током стыковых соединений из нержавеющей и жаропрочных сталей и сплавов 1Х18Н9Т, ЭИ654, ХН78Т, ЭИ602, ЭИ703

Толщина свариваемого материала, мм	Диаметр присадочной проволоки, мм	С присадкой				Без присадки			
		Аргон		Гелий		Аргон		Гелий	
		Ток в а	Скорость сварки в м/час	Ток в а	Скорость сварки в м/час	Ток в а	Скорость сварки в м/час	Ток в а	Скорость сварки в м/час
1,0	1,6	80—140	30—60	60—80	5—5,5	60—120	35—60	50—80	35—60
1,5	1,6	120—180	20—50	80—140	5—5,5	100—150	25—50	75—110	25—50
2,5	2,0	140—240	20—30	90—160	8—9	110—200	25—30	80—140	25—30
4,0	2,0	200—280	15—30	100—190	9—10	130—250	20—30	90—150	20—30
									5,5 6—8 8—9 9—10

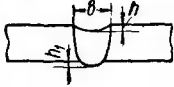
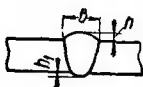
50. Режимы автоматической сварки плавящимся электродом постоянным током обратной полярности стыковых соединений из нержавеющей сталей 1X18H9T, ЭИ654 и др.

Вид соединения	Толщина свариваемого материала в мм	Диаметр проволоки в мм	Защитный газ	Режим сварки			
				Ток в а	Напряжение дуги в в	Скорость сварки в м/час	Расход газа в л/мин
Внахлестку	0,5+0,5	0,5—0,6	Ar+5% CO ₂	25—45		35—55	
	0,8+0,8	0,6—0,8	Ar	50—70	15—17	25—45	
	1,0+1,0	0,8—1,0		80—100	16—18	20—40	
	1,5+1,5	1,0		110—130	17—19	20—35	
В стык	0,5+0,5	0,5—0,6	Ar+5% CO ₂	40—60	13—15	50—70	6—8
	0,8+0,8	0,6—0,8	Ar	70—90	14—16	40—60	
	1,0+1,0	0,8—1,0		90—110	16—18	35—55	
	1,5+1,5	1,0		110—130	18—20	20—40	
	2,0+2,0			140—180			
	3,0+3,0	1,6		200—280	20—22		7—9
	4,0+4,0			220—320	22—25		
	6,0+6,0	1,6—2,0	Ar	280—360	23—27		9—12
	8,0+8,0	2,0		300—380	24—28	15—30	11—15
	10,0+10,0			320—440	25—30		12—17
	2,0+2,0	1,0	He	100—150	20—22	20—22	8—10
	3,0+3,0	1,6		160—220	22—25	20—40	9—11
	4,0+4,0			180—240	25—30		
	6,0+6,0	1,6—2,0		220—300	30—34		11—14
	8,0+8,0	2,0		240—310	30—36	15—30	13—18
	10,0+10,0			260—380	31—39		15—20

51. Режимы полуавтоматической аргоно-дуговой сварки плавящимся электродом постоянным током обратной полярности нержавеющей сталей 1X18H9T и ЭИ654

Тип соединения	Толщина материала в мм	Диаметр проволоки в мм	Режим сварки		
			Ток в а	Напряжение дуги в в	Расход газа в л/мин
В стык без разделки кромок	1,0+1,0	0,5—0,8	40—60	19	4—6
	1,5+1,5	0,8—1,0	65—85		5—7
	2,0+2,0	1,0—1,2	100—130	19—21	6—8
	3,0+3,0		150—190	21—23	
В стык с V-образной разделкой	4,0+4,0	1,0—1,6	180—250	23—26	7—9
	6,0+6,0	1,6—2,0	220—320	24—27	9—12
	8,0+8,0		320—360 (два прохода)	25—28	11—15
	10,0+10,0	2,0	290—380	26—29	12—17
Внахлестку	1,0+1,0	0,5—0,8	45—65	19	4—6
	1,5+1,5	0,8—1,0	75—90	19	5—7
	2,0+2,0	1,0—1,2	110—140	19—21	6—8
	3,0+3,0	1,0—1,6	160—190	21—23	
Втавр	1,5+1,5	0,8—1,0	60—80	19	5—7
	2,0+2,0	1,0—1,2	90—120		
	3,0+3,0	1,0—1,6	140—180	21—23	6—8

52. Ориентировочные размеры сварных швов стыковых соединений из нержавеющей и жаропрочных сталей и сплавов (сварка в среде аргона)

Толщина материала в мм	Обозначение параметров шва	Размеры шва в мм при сварке:		
		без присадочной проволоки	с присадочной проволокой	плавящимся электродом
				
0,5+0,5	b h h ₁	2,0—3,0 0—0,2 0,1—0,2	3,0—4,0 0,1—0,5 0,1—0,3	—
0,8+0,8	b h h ₁	3,0—4,0 0—0,3 0,1—0,2	3,0—5,0 0,1—0,5 0,2—0,5	3,0—5,0 0,1—0,8 0,2—0,8
1,0+1,0	b h h ₁	4,0—5,0 0—0,3 0,1—0,2	3,0—5,0 0,2—0,5 0,2—0,5	3,0—5,0 0,2—1,0 0,2—0,8
1,2+1,2	b h h ₁	4,0—5,0 0—0,5 0,1—0,2	4,0—6,0 0,2—1,0 0,5—1,0	4,0—6,0 0,2—1,0 0,5—1,0
1,5+1,5	b h h ₁	4,0—6,0 0—0,5 0,2—0,5	5,0—6,0 0,5—1,0 0,5—1,0	4,0—6,0 0,3—1,2 0,5—1,0
2,0+2,0	b h h ₁	5,0—7,0 0—0,5 0,2—0,5	5,0—7,0 0,5—1,2 0,5—1,2	4,0—7,0 0,5—1,5 0,5—1,2

53. Кратковременная прочность сварных стыковых соединений из нержавеющей и жаропрочных сплавов толщиной 0,8—2,0 мм (По данным Иронной Е. М., Дьяченко В. В. и Петрова А. В.)

Сочетание свариваемых материалов	Способ сварки	σ_b в кг/мм ² при T °C						
		20	300	400	600	700	800	900
1X18H9T	Основной металл	60	47	46	39	—	—	—
1X18H9T+1X13H9T	Автоматическая аргоно-дуговая плавящимся электродом 1X18H9T	60	40	36	30	—	—	—
	Автоматическая аргоно-дуговая вольфрамовым электродом без присадки	60	—	40	—	28	—	12
	Автоматическая аргоно-дуговая сварка вольфрамовым электродом с присадкой	62	—	45	—	27	—	12
	Ручная аргоно-дуговая сварка вольфрамовым электродом	61	—	41	—	28	—	15
ЭП-654	Основной металл	102	84	74	—	—	—	—
ЭП-654+ЭП-654	Автоматическая аргоно-дуговая плавящимся электродом	99	75	72	—	—	—	—
	Автоматическая аргоно-дуговая вольфрамовым электродом с присадкой	99	—	70	—	—	—	—
	Автоматическая аргоно-дуговая вольфрамовым электродом без присадки	88	—	60	—	—	—	—
	Автоматическая аргоно-дуговая сварка вольфрамовым электродом без присадки с последующей прокаткой по шву	94	—	70	—	—	—	—
	Ручная аргоно-дуговая сварка вольфрамовым электродом	91	—	59	—	—	—	—

Сварка алюминиевых сплавов

Алюминиевые сплавы свариваются неплавящимся вольфрамовым электродом без присадки (обычно с отбортовкой одной или обеих кромок соединения), с присадкой, подаваемой в зону сварки вручную или механически, а также плавящимся электродом с помощью планговых полуавтоматов или автоматов.

Выбор разновидности сварки из числа названных определяется толщиной материала, конструкцией изделия и масштабами производства.

Особенности сварки алюминия и его сплавов

1. Одним из главных затруднений при сварке плавлением алюминия и его сплавов является присутствие на поверхности металла тугоплавкой плотной окисной пленки ($T_{пл} = 2050^\circ \text{C}$). Толщина окисной пленки увеличивается с течением времени, а с повышением температуры скорость окисления возрастает. При сварке окисная пленка затрудняет возбуждение дуги и препятствует сплавлению кромок соединения. Присутствие окисных включений в металле шва снижает механические свойства сварных соединений.

Применительно к алюминию и сплавам на его основе дуговая сварка в среде инертных газов вольфрамовым и плавящимся электродами отличается тем, что при обратной полярности (+ на электроде) постоянного тока или при переменном токе (в полупериоды обратной полярности) происходит разрушение окисной пленки на поверхности сварочной ванны без применения флюса.

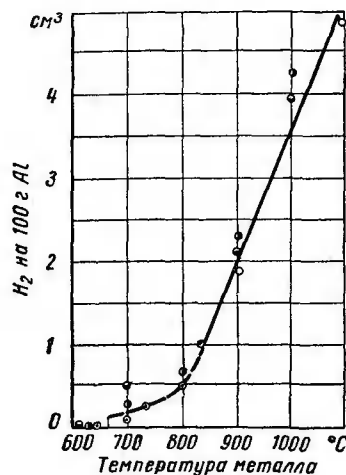
2. Многие алюминиевые сплавы при сварке склонны к пористости. Для алюминия характерно резкое понижение растворимости водорода с понижением температуры (фиг. 154). Образование пор возможно как следствие выделения избыточного водорода из охлаждающегося с большой скоростью металла шва, так как достаточно высокая вязкость алюминиевых сплавов способствует задерживанию пузырьков газа.

Пористость металла шва снижает прочность и в значительно большей степени пластичность сварного соединения. Как правило, более пористыми являются швы, выполненные плавящимся электродом. Наибольшей склонностью к пористости при сварке отличаются сплавы системы Al—Mg (AMg5, AMg6).

3. Сварка плавлением высокопрочных алюминиевых сплавов (Д16, В95 и др.) осложняется большой склонностью их к образованию горячих трещин.

Стойкость против образования трещин может быть повышена металлургическим путем (изменением соотношения главных компонентов в основном и присадочном материалах [1], [2], [3], введением модификаторов [4], [5], [7]) в сочетании с известными технологическими средствами (подбор оптимальных режимов, подогрев, рациональный порядок наложения шва и др.).

При сварке сплавов в упрочненной основной металл в околошовной зоне разупрочняется. Степень разупрочнения зависит от термического цикла сварки. После закалки и последующего старения механические свойства основной зоны могут быть в значительной степени восстановлены.



Фиг. 154. Растворимость водорода в алюминии: ○ — Сергеев; ● — Бирнштау; ○ — Браун; ○ — Рентген — Меллер.

4. Алюминий и сплавы на его основе при сварке подвержены значительным короблениям.

Теплофизические свойства алюминия в сравнении с другими металлами приведены в табл. 54.

54. Теплофизические свойства алюминия и некоторых других металлов

Свойства в интервале температур 0—100°	Al	Fe	Cu	Mg
Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^{-4}$	0,24	0,12	0,16	0,29
Коэффициент теплопроводности λ в кал/см·сек·град	0,503	0,17	0,92	0,38
Теплоемкость c в кал/Г·град	0,22	0,11	0,10	0,26

Алюминиевые сплавы, применяемые для сварных конструкций

Применяемые в сварных конструкциях деформируемые алюминиевые сплавы разделяются на две основные группы: сплавы, не упрочняемые термической обработкой и упрочняемые. В ответственных сварных конструкциях наиболее широко применяются сплавы, не упрочняемые термической обработкой. Это связано с тем, что сплавы указанной группы (хотя и обладают низкой или средней прочностью) в сварном соединении сохраняют до 95% прочности основного металла при высокой пластичности и высокой коррозионной стойкости. Сюда относятся алюминий марок АД1, АД (примесей: Fe, Si, иногда Ti), сплав AMc (Al + 1,3% Mn) и группа сплавов типа магналий (система Al—Mg), содержащих от 0,5 до 6,8% Mg (AMg1, AMg2, AMg3, AMg5 и AMg6). Некоторое упрочнение этих сплавов может быть получено за счет нагартовки. Сплав AMg2 при сварке с присадкой одинакового состава с основным металлом обнаруживает склонность к кристаллизационным трещинам, которую можно значительно снизить, применяя присадку из сплава AMg3. Пониженная плотность сварного соединения из сплавов типа магналий связана, по-видимому, с их чувствительностью к перегреву. При металлографическом исследовании сварных соединений из сплавов AMg5 и AMg6 по границам крупных зерен литой структуры обнаруживаются рыхлоты, которые могут сообщаться между собой по всей толщине шва. На связь с перегревом указывает и то, что подобные же рыхлоты возникают по границам зерен основного металла в околошовной зоне. Из числа алюминиевых сплавов, упрочняемых термической обработкой, находят применение сплавы типа авиаль (система Al—Mg—Si) марок АД31, АД33, АВ и сплав Д20 (система Al—Cu—Mn). Сплавы АВ и АД33 применяются в конструкциях средней прочности. Сплавы склонны к образованию горячих трещин при сварке с присадкой одинакового состава с основным металлом. Склонность к трещинам можно значительно снизить, применяя присадку марки АК. Эти сплавы в сварных соединениях сохраняют высокую коррозионную стойкость. Сплав Д20, применяемый для изготовления сварных емкостей, герметических кабин и т. п., обладает удовлетворительной стойкостью против образования трещин при сварке.

Однако вследствие низкой коррозионной стойкости сварных соединений требуется последующая защита швов анодированием и лакокрасочным покрытием. При толщине металла 8 мм и более пластичность сварных соединений понижается.

Сплавы типа дуралюмин (система Al—Cu—Mg) марок Д1, Д16 при сварке плавлением обладают большой склонностью к образованию трещин.

Применение этих сплавов в сварных конструкциях весьма ограничено, а в ответственных изделиях практически исключено.

Подготовка поверхности деталей под сварку

Основной целью подготовки поверхности является очистка от смазки, лакокрасочных покрытий и загрязнений, а также уменьшение толщины слоя поверхностной окисной пленки.

Обезжиривание и удаление загрязнений производится с помощью органических растворителей (табл. 55)

55. Растворители для обезжиривания

Растворитель	ГОСТ или ТУ
Уайт-спирит	ГОСТ 3134-52
Технический ацетон	ГОСТ 2768-44, сорт II
Растворитель РС-1	ВТУ МХИ 1848-52
Растворитель РС-2	ТУ МХП 1763-52

Удаление части поверхностной окисной пленки является наиболее ответственной операцией подготовки деталей, от которой в значительной степени зависит качество сварки.

Местная зачистка, а также подготовка поверхности небольших деталей при малом их количестве может производиться с помощью ручных или механических проволочных щеток с диаметром проволок 0,2—0,5 мм. После зачистки щеткой кромки вновь обезжириваются растворителем. Продолжительность хранения деталей перед сваркой обычно ограничивается 2—3 час.

При подготовке поверхности ответственных деталей сварных конструкций удаление окисной пленки производится путем травления в горячих щелочных ваннах с последующим осветлением, промывкой и сушкой. На травление детали обычно подаются по окончании предварительного цикла обработки (штамповки, гибки, подрезки, сверления отверстий, слесарной подгонки), т. е. непосредственно перед сборкой узла под сварку. При необходимости дополнительной обработки или по истечении установленного времени между травлением и сваркой может потребоваться повторное травление, если деталь будет загрязнена.

Порядок обработки следующий:

- 1) обезжиривание в растворителе (см. табл. 55);
- 2) травление в ванне, состоящей из водного раствора NaOH (45—50 г/л). Температура ванны 60—70°. Время травления 1—2 мин. для неплакированных материалов. При необходимости снятия технологической окисной пленки (например, на сплаве АМгб) время травления выбирается из расчета 0,01 мм за 2,5 ÷ 3 мин.;
- 3) промывка в проточной горячей воде (60—80°), затем в воде при комнатной температуре;
- 4) осветление в 30%-ном водном растворе HNO₃ при комнатной температуре в течение 1—2 мин. или в 15%-ном водном растворе HNO₃ при температуре 60° в течение 2 мин.;
- 5) промывка в проточной воде при комнатной температуре, затем в горячей (60—80°);
- 6) сушка сжатым горячим воздухом (80—90°).

При необходимости повторного травления следует учитывать пределы допусков на толщину листа.

Примерные типы соединений, основы технологии сварки и ориентировочные режимы

При дуговой сварке в среде инертных газов выбор типов соединений практически неограничен. Некоторые ограничения вызываются тем обстоятельством, что разрушение окисной пленки за счет эффекта катодного распыления происходит только в зоне активного пятна дуги. Поэтому наиболее рациональным ти-

пом соединения для хорошо сваривающихся сплавов является стыковое, имеющее наиболее высокую прочность, близкую к прочности основного металла. Ручная сварка неплавящимся электродом узлов из листов малой толщины (1—2 мм) вследствие высокой текучести металла шва затруднительна и требует известного навыка. Работа значительно облегчается применением разнообразных сборочно-сварочных приспособлений, кондукторов и струбцинок. В них кромки соединения по всей длине равномерно прижимаются к медной или стальной подкладке с канавкой глубиной около 1 мм и шириной 8 мм и более в зависимости от толщины свариваемого металла. Для упрощения процесса сборки под сварку ширину канавок можно увеличивать до 12—20 мм, так как при этом отпадает необходимость в установке стыка строго по середине канавки (чтобы избежать несплавления в стыке).

В современных сборочно-сварочных приспособлениях и струбциках для сварки продольных швов крупных листовых заготовок и обечаек применяются зажимные устройства клавишного и рычажного типов с индивидуальным и групповым пневматическим или гидравлическим приводом. Ширина отдельного прижима (клавиши, рычага) составляет от 25—30 до 100—150 мм. В отличие от зажимных приспособлений со сплошными балками в данном случае достигается значительное ускорение установки деталей и более равномерное прижатие кромок, что особенно важно при сварке материалов малой толщины. Стыковая сварка кольцевых швов производится на разжимных кольцах, также имеющих под стыком подкладку с канавкой. В табл. 56 представлены типы соединений из листовых материалов малой толщины. Верхние три соединения предназначены для ручной или механизированной сварки неплавящимся электродом без присадки; нижние два соединения выполняются вручную или механизированным способом с присадкой.

В табл. 57 представлена подготовка кромок для стыковой сварки соединений из листов толщиной до 15—20 мм вольфрамовым электродом с присадкой. При подготовке кромок по эскизу 2 (табл. 57) с притуплением 4—5 мм стык иногда сваривают вольфрамовым электродом в два прохода: первый проход — без присадки, с полным проплавлением стыка, второй — с присадкой для заполнения разделки и получения усиления.

В табл. 58 [4] представлена подготовка кромок стыка для сварки плавящимся электродом.

Сварка плавящимся электродом более производительна, чем сварка вольфрамовым электродом, однако в последнем случае достигается более высокая плотность и прочность сварных соединений, особенно на сплавах АМг5 и АМгб. Прочность сварных соединений, выполненных плавящимся электродом, может значительно снижаться за счет многочисленных местных несплавления между слоями, а также за счет окисных включений.

При невозможности разделки корня шва с обратной стороны (после наложения первого слоя многослойного шва с лицевой стороны) применяются односторонние стыковые соединения (табл. 59), выполняемые вольфрамовым или плавящимся электродом или комбинацией обеих разновидностей процесса.

Приведенные в табл. 58 и 59 формы разделки являются примерными, так как угол раскрытия обусловлен размерами горелок, удобством подхода и возможностью наблюдения за дугой при сварке. Обычно угол раскрытия кромок стремятся ограничить с целью уменьшения объема наплавленного металла в соединении, а следовательно, и вероятности образования дефектов.

Приемы техники сварки алюминиевых сплавов сводятся к следующему.

При ручной сварке тонких материалов неплавящимся электродом без присадки (по отбортовке) или с присадкой в один проход горелку перемещают справа налево, углом вперед. Угол наклона горелки к плоскости изделия около 60°. Присадка подается короткими возвратно-поступательными движениями и держится под возможно меньшим углом к плоскости изделия так, чтобы конец прутка опирался на край расплавленной сварочной ванны. Однопроходную сварку, как правило, производят без колебательных движений горелки. К ним прибегают в случае многослойной сварки для улучшения сплавления между слоями.

56. Типы соединений для тонколистового алюминия

Толщина в мм	Тип соединения
До 2—2,5*	
До 3	
От 1,0 и более	

* Для материалов, поддающихся отбортовке без трещин

При механизированной или автоматической сварке неплавящимся электродом горелка обычно располагается вертикально, а присадка подается механизмом головки автомата таким образом, чтобы конец проволоки опирался на край сварочной ванны. Скорость ручной сварки в среднем составляет около 1 м/час, а автоматической от 4—6 до 30—40 м/час в зависимости от толщины материала.

Питание дуги при ручной и автоматической сварке вольфрамовым электродом, как правило, производится переменным током от стандартных сварочных трансформаторов типа СТЭ, входящих в состав специальных установок УДАР-300, УДАР-300-1, УДАР-500. Применяются также упрощенные схемы на базе трансформаторов СТЭ, СТПК, ТСД-500 и др. с непрерывно работающим осциллятором без схемы управления циклом сварки. Во избежание вольфрамовых включений в начале шва и повышенного расхода вольфрама возбуждение дуги осуществляется без короткого замыкания электрода с изделием; это обеспечивается схемами специальных аппаратов и упрощенных установок.

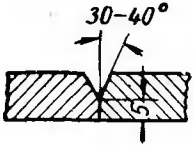
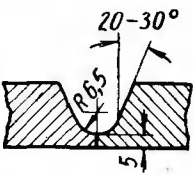
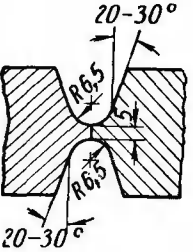
57. Разделка кромок стыковых соединений и порядок сварки вольфрамовым электродом

Толщина в мм	Подготовка кромок	Порядок сварки
4—6		Первый проход со стороны разделки на подкладке Механическая обработка корня шва и сварка с обратной стороны
6—9		
10—20		Сварка с одной стороны. Механическая обработка корня шва и сварка с обратной стороны
15—20		Сварка со стороны разделки. Механическая обработка корня шва и сварка с обратной стороны

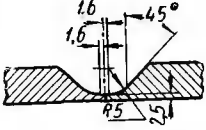
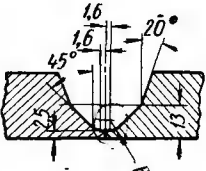
Сварка плавящимся электродом производится с помощью плантовых полуавтоматов или с помощью тракторных автоматов. Перемещение горелки при полуавтоматической сварке производится с небольшими поперечными колебаниями или без них. Для предупреждения несплавления необходимо следить, чтобы плавящийся металл электрода не опережал дугу. Колебания должны быть плавными во избежание нарушений защиты инертным газом зоны сварки. Горелка наклоняется к плоскости изделия под углом 60—80° и может перемещаться как углом вперед, так и углом назад. Полуавтоматическая сварка плавящимся электродом может производиться во всех пространственных положениях. Сварка алюминиевых сплавов плавящимся электродом производится на постоянном токе обратной полярности (+ на электроде). Для питания дуги используются специальные источники тока с жесткой или возрастающей внешней характеристикой — ПСГ-500, модернизированные ЗП-7,5/30, ЗД-7,5/30, а также стандартные преобразователи с падающей внешней характеристикой.

Производительность сварки плавящимся электродом высокая. Скорость сварки 35—40 м/час и более. Поштытки дальнейшего повышения производительности процесса за счет форсирования режима сварки (ток до 400—500 а) при работе обычными горелками с соплами диаметром около 20 мм и неизбежном увеличении расхода защитного газа приводят к нарушению нормальной защиты развитой ванны [9]. Кроме того, появляются характерные окисные включения в виде завихрений [10], [11], связанных с переходом тока через второе критическое значение, при котором перенос металла в дуге происходит не в виде аксиальной струи, а сопровождается вращением ядра струи по конусу с верши-

58. Разделка стыковых соединений и порядок сварки плавящимся электродом

Толщина в мм	Подготовка кромок	Порядок сварки
До 15		Сварка со стороны разделки Механическая обработка корня шва и сварка с обратной стороны
15—20		
20 и более		Частичная сварка с одной стороны Механическая обработка корня шва и сварка с обратной стороны

59. Разделка односторонних стыковых соединений

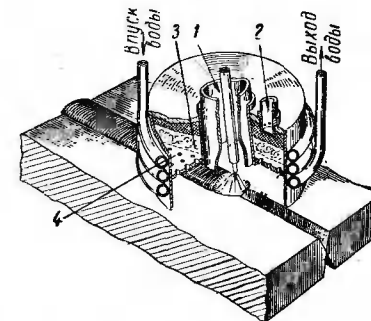
Толщина в мм	Подготовка кромок	Порядок сварки
15		Проплавление корня шва с присадкой или без присадки Сварка вольфрамовым электродом с присадкой или плавящимся электро- дом
20		

ной на конце электрода. Существенное улучшение качества шва при сварке на повышенных режимах достигается с помощью особой конструкции горелки, обеспечивающей дополнительную защиту.

Общий вид специальной горелки с дополнительной защитой и схема конструкции представлены на фиг. 155 и 156 [11]. При пользовании горелкой с дополнительной защитой непосредственное наблюдение за дугой становится невозможным. По данным авторов, применение дополнительной защиты существенно повышает плотность металла шва.



Фиг. 155. Дополнительное сопло, установленное на сварочной головке для плавящегося электрода



Фиг. 156. Разрез сопла для двойной защиты: 1 — основная защита, 2 — дополнительная защита; 3 — кварцевая вата; 4 — сетка

Повышение плотности металла шва может быть также получено при защите дуги смесью из 65% гелия и 35% аргона [12], подаваемой через сопло обычной конструкции. По данным [14], [15], совершенно плотные швы при сварке алюминиево-магниевого сплава плавящимся электродом можно получить, защищая дугу чистым аргоном или гелием и одновременно подавая через контактный мундштук горелки хлор в количестве около 3% от общего расхода защитного газа. Однако при этом необходимо учитывать токсичность хлора, его агрессивное действие на арматуру сварочного поста (латунь, бронза); кроме того, по данным тех же авторов, при оптимальной добавке хлора снижается устойчивость дуги и подавляется эффект катодного распыления.

Примерные режимы сварки стыковых соединений из алюминиевых сплавов приведены в табл. 60—63.

60. Ориентировочные режимы ручной сварки стыковых соединений вольфрамовым электродом

Толщина материала в мм	Ток в а	Диаметр электрода в мм	Диаметр проволоки в мм	Расход аргона в л/мин
1	60—90	1—1,5	2	6—7
1,5	70—100	2		
2	90—120	2—3		
3	120—180	3—4	2,5	8—9
4	140—200	3—4		
6	160—220	3—5		
			2,5—3	12—15

Примечания: 1. Минимальные значения тока относятся к сварке на весу, максимальные — к сварке в приспособлении на стальной подкладке.

2. При сварке в среде гелия расход газа повышается в полтора раза, ток снижается приблизительно на 30%.

3. При стыковой сварке материала толщиной 1—1,5 мм с отбортовкой без присадки ток снижается на 10—25%.

61. Ориентировочные режимы автоматической сварки стыковых соединений вольфрамовым электродом. Диаметр проволоки 2 мм

Толщина материала в мм	Ток в а	Скорость сварки в м/час	Скорость по- дачи прово- лки в м/час	Диаметр электрода в мм	Расход арго- на в л/мин
2	170—180	19	54	3—4	16—18
3	200—220	15	20—24	4—5	
4	210—235	11			
6	230—260 *	8	20—26		18—20

* Для двухпроходного шва при односторонней разделке кромок с углом раскрытия 60°.

62. Ориентировочные режимы полуавтоматической сварки стыковых соединений плавящимся электродом

Толщина материала в мм	Подготовка кромок	Ток в а	Скорость сварки в м/час	Скорость подачи проволоки в м/час	Диаметр проволоки в мм	Число слоев	Расход аргона в л/мин
1,6	Без разделки, без зазора	70—75*	30	1200—1800	0,5—0,75	1	15—17
2,0		75—105*					
3,0		120—145*					
3,0		150—160	36	290—300			
4,0		160—190	28	300—320			
5,0	Без разделки с зазором 1,5 мм	180—200	22	320—350	1,5—2,0	2	15—18
8,0	V-образная разделка с углом раскрытия 60°	270—280	36	340—360			
20,0		240—270	18—20	240—270			
120,0	240—300	200—250		15—20			

* Питание дуги от источника тока с возрастающей характеристикой [15], в остальных случаях от источника тока с падающей характеристикой.

63. Ориентировочные режимы автоматической сварки стыковых соединений плавящимся электродом

Толщина ма- териала в мм	Подготовка кромки	Ток в а	Скорость сварки в м/час	Скорость по- дачи прово- локи в м/час	Диаметр проволоки в мм	Число слоев	Расход ар- гона л/мин	
3	Без разделки, без зазора	150—160	30	210	2,0	1	15	
4		150—200	20—36	210—240	1,6—2,0			
5	Без разделки, с зазором до 1,5 мм	170—185	32	210	2,0		2	18—20
6		140—220	20—36	210—250	1,6—2,0			
8	V-образная с углом раскры- тия 60°	260—290	18—20	160—210	2—2,5	2		
10		260—300	20—25	160—240		2—4		
15		290—300	14—18	160—245				
20			15—20	160—270		3—5		
Свыше 20	X-образная с уг- лом раскрытия 60°		9—18			4 и более		

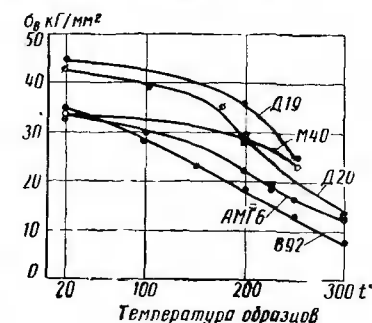
Примечания: 1. При двухдуговой сварке ток удваивается.
2. Листы толщиной 8—10 мм свариваются двухдуговой сваркой за один проход без разделки кромок.

Механические свойства сварных соединений

Предел прочности при комнатной и повышенных температурах и угол загиба основного металла, сварного соединения и металла шва для ряда алюминиевых сплавов толщиной 1,5—2,0 мм приведены в табл. 64.

На фиг. 157 показано изменение предела прочности сварного соединения из высокопрочных алюминиевых сплавов с повышением температуры.

В табл. 65 приведены предел прочности и угол загиба сварных соединений из сплавов типа магний толщиной 8—40 мм, выполненных разными способами сварки.



Фиг. 157. Прочность соединений из сплавов Д19, М40, Д20, АМГ6, В92 при повышенных температурах (стыковое соединение листов толщиной 2 мм).

64. Механические свойства основного металла, сварных соединений и шва

Система	Марка материала	Характеристика образцов	Толщина в мм	Состояние образцов		Предел прочности σ_b в кг/мм ²			Угол загиба α°	
						Температура испытаний в град.				
						до сварки	после сварки			
Al	АД1АМ	Сварное соединение	1,5	Отожженный	Исходное	8,5	—	—	—	
		Основной металл		Отожженный	8,8	—	—			
		Сварное соединение		Отожженный	Исходное	$\frac{11,7-12,3}{12,1}$	—	—		
		Основной металл		Отожженный	$\frac{11-14,5}{12,1}$	—	—			
Al—Mn	АМцАМ АМцАП	Сварное соединение	1,5	Полунагартованный	Исходное	$\frac{11,8-12,1}{12,0}$	—	—	—	
		Основной металл		Полунагартованный	$\frac{14,5-20}{19,0}$	—	—			
		Сварное соединение		Отожженный	Исходное	$\frac{8,5-9,1}{8,8}$	$\frac{7,7-7,9}{7,8}$	$\frac{5,0-5,4}{5,2}$		—
		Основной металл		Отожженный	$\frac{8,4-9,3}{8,9}$	$\frac{6,5-6,5}{6,4}$	$\frac{4,7-5,0}{4,8}$			
Al—Mg	АМг1АМ АМг1АН	Сварное соединение	2,0	Нагартованный	Исходное	$\frac{8,8-10,0}{9,3}$	$\frac{7,2-7,4}{7,3}$	$\frac{5,8-6,0}{5,9}$	—	
		Основной металл		Нагартованный	$\frac{15,8-18,6}{16,8}$	$\frac{11,6-12,4}{11,9}$	$\frac{9,2-10,9}{9,9}$			
		Сварное соединение		Отожженный	Исходное	8,5—9,1	7,7—7,9	5,0—5,4		—
		Основной металл		Отожженный	8,4—9,3	6,5—6,5	4,7—5,0			
Al—Mg	АМг1АМ АМг1АН	Сварное соединение	2,0	Нагартованный	Исходное	8,8—10,0	7,2—7,4	5,8—6,0	—	
		Основной металл		Нагартованный	15,8—18,6	11,6—12,4	9,2—10,9			
		Сварное соединение		Отожженный	Исходное	8,5—9,1	7,7—7,9	5,0—5,4		—
		Основной металл		Отожженный	8,4—9,3	6,5—6,5	4,7—5,0			

Продолжение табл. 64

Система	Марка материала	Характеристика образцов	Толщина в мм	Состояние образцов		Предел прочности σ_b в кг/мм ²			Угол загиба α°
				до сварки	после сварки	Температура испытаний в град.			
						20	200	250	
Al—Mg	AMг2AM	Сварное соединение	2,0	Отожженный	Исходное	19,5—19,5 14,0—14,0 12—11,5			—
		19,5 14,0 11,6							
	Основной металл	Отожженный		19,5—20,5 14,5—14,5 11,5—12,5			—		
	20,0 14,5 11,8								
	Сварное соединение	Нагартованный		Исходное	19,5—19,6 16,4—16,7 13,5—14,0			—	
	19,6 16,5 13,8								
	Основной металл	Нагартованный		29,4—29,7 20,4—22,4 16,6—18,4			—		
	29,4 21,4 17,1								
	Сварное соединение	Отожженный		Исходное	22,0—23,0 13,0—14,0 —			—	
	22,5 13,5 —								
	Основной металл	Отожженный		Исходное	23,5 14,0 —			—	
	30,5—30,5 20,5—21 17,5—19								
Сварное соединение	AMг5BAM	Исходное	30,5 20,8 18,3			—			
30,5 20,8 18,3									
Основной металл	Отожженный	Исходное	30—31 —			—			
31 — —									
Сварное соединение	AMг6AM	Исходное	37,5—37,5 18—22,5 14,5—15			85—96			
37,5 20,5 14,8									
Основной металл	Отожженный	Исходное	35—38 21—21 17,5—18,5			90,3			
36,8 21,0 17,8									

Продолжение табл. 64

Система	Марка материала	Характеристики образцов	Толщина в мм	Состояние образцов		Предел прочности σ_b в кг/мм ²			Угол загиба α°			
						Температура испытаний в град.						
						до сварки	после сварки					
Al—Mg	AMg6AP	Сварное соединение	2,0	Полунагартованный	Исходное	37—38,5	23,5—27,0	—	93—93			
		Основной металл				37,5	25,0	—	93			
		AMg6AP		Сварное соединение	Полунагартованный		43—44	27—28,5	—	—		
							Основной металл	43,3	27,8	—	—	
					AMg6AP	Сварное соединение	Нагартованный	Исходное	36,5—37	25,5—27	—	71—84
									Основной металл	36,6	26,0	—
Al—Cu—Mn	D20AT1	Сварное соединение	2,0	Закаленный и искусственно состаренный	Исходное	46,5—47	26,5—31	—	—			
						Основной металл	46,8	26,5	—	—		
						Сварной шов	Искусственно состаренный	27,5—28,0	23,5—24,5	—	67—92	
								27,8	24,0	—	80	
								21,5—22,5	—	—	—	
								22,1	—	—	—	
		Сварное соединение	Искусственно состаренный	28,0—30,0	25,0—26,5	—	43—57					
				28,6	25,6	—	50					
				23,0—24,0	—	—	—					
				23,5	—	—	—					
				Сварной шов		44,0—46,4	33,3—37,0	—	80—85			
						45,2	35	—	83			

Продолжение табл. 64

Система	Марка материала	Характеристика образцов	Толщина в мм	Состояние образцов		Предел прочности σ_b в кг/мм ²				Угол загиба α°
				до сварки	после сварки	Температура испытаний в град.				
						20	200	250		
Al—Cu—Mn	D20AT	Сварное соединение	2,0	Закаленный	Искусственно состаренный	38,5—29,0	24,5—29,0		51—62	50
		Сварной шов				28,8	27,3			
		Сварное соединение				22,5—25,0	—	—	—	
		Сварной шов				23,6	—	—	—	
		Сварное соединение	Закаленный и искусственно состаренный	41,5—42	25,5—31	—	47—60	54		
		Сварной шов		41,8	27,5	—				
		Сварное соединение		34,0—37,0	—	—	—			
		Сварной шов		35,3	—	—	—			
		Основной металл	Закаленный	32,0—47,0	20,0—24,0	—	—	—		
		Основной металл	Отожженный	16,7—20,0	12,0—17,2	—	180—180	180		
Al—Cu—Mg	D16AM	Сварное соединение	1,5	Отожженный	Исходное	20,5—20,7	—	—	—	—
		Основной металл				20,0	—	—	—	
		Сварное соединение				20—23	—	—	—	
		Основной металл				22,5	—	—	—	
	D16AT	Сварное соединение	Исходное	22,9—32,5	—	—	—	—		
		Сварной шов		27,1	—	—	—			
		Сварное соединение		Закаленный и естественно состаренный	41—41,8	—	—		—	—
		Основной металл			41,4	—	—		—	

Продолжение табл. 64

Система	Марка материала	Характеристика образцов	Толщина в мм	Состояние образцов		Предел прочности σ_b в кг/мм ²				Угол загиба α°
				до сварки	после сварки	Температура испытаний в град.				
						20	200	250		
Al—Cu—Mg	Л16АТ11	Сварное соединение	1,5	Закаленный, естественно состаренный и нагретый	Исходное	29,6—41,7 36,3				—
						Основной металл	43,5			
		Сварное соединение		Закаленный и естественно состаренный	Исходное		30,6—39,6 36,4			
						Сварной шов	29,3—31,2 30,7			
	Л19АТ	Сварное соединение	Закаленный и естественно состаренный	Закаленный и естественно состаренный	26,5—30,5 28,7				—	
					Сварной шов	43,2—46,6 45,0				60—81 69
		Сварное соединение	Закаленный и естественно состаренный	Закаленный и естественно состаренный		33,8—37,4 35,4				
					Сварной шов	27,6—38,5 33,6				—
		Основной металл	Закаленный и естественно состаренный	Закаленный и естественно состаренный		44,9—47,3 45,9				
					Сварной шов	31,8—36,3 34,3				—

Продолжение табл. 64

Система	Марка материала	Характеристика образцов	Толщина в мм	Состояние образцов		Предел прочности σ_b в кг/мм ²			Угол загиба α°
				до сварки	после сварки	Температура испытаний в град.			
						20	200	250	
Al—Mg—Zn	В92АТ	Сварное соединение	2,0	Закаленный и естественно состаренный в течение 30 суток	Естественно состаренный в течение 30 суток	$36,5-39,0$	$17-19,5$	$12-13,5$	$87-114$
						$37,3$	$18,2$	$12,6$	97
		Сварной шов		Закаленный и естественно состаренный в течение 30 суток	$24,3-25,5$	—	—	—	
					25	—	—	—	
Al—Mg—Si	АД31АТ1	Основной металл	2,0	Закаленный и естественно состаренный в течение 30 суток	Закаленный и естественно состаренный в течение 30 суток	$39-39$	$19-19$	$10-14,5$	$106-108$
						39	19	13	107
		Сварное соединение		Закаленный и искусственно состаренный	Исходное	$17,0-18,0$	—	—	$42-91$
						$17,8$	—	—	67
Основной металл	Закаленный и искусственно состаренный	Закаленный и искусственно состаренный	$26-28$	—	—	$45-77$			
			$26,6$	—	—	62			
Сварное соединение	Закаленный и искусственно состаренный	Закаленный и искусственно состаренный	$22-25$	—	—	—			
			$23,5$	—	—	—			

Продолжение табл. 64

Система	Марка материала	Характеристика образцов	Толщина в мм	Состояние образцов		Предел прочности σ_b в кг/мм ²			Угол заги-ба α°
						Температура испытаний в град.			
				до сварки	после сварки	20	200	250	
Al—Mg— Si—Cu	АД3ЗАМ	Сварное соединение	2,0	Отожженный	Исходное	$\frac{14-15}{14,5}$	—	—	$\frac{82-87}{85}$
		Отожженный		$\frac{14-15}{14,5}$	—	—	—		
		Закаленный и естественно состаренный		Исходное	$\frac{22,5-23,0}{22,8}$	—	—	$\frac{61-77}{69}$	
	Закаленный и естественно состаренный			$\frac{29-29}{29}$	—	—	$\frac{20-30}{26}$		
				Закаленный и искусственно состаренный	$\frac{35-36,6}{35,8}$	—	—	$\frac{39-44}{42}$	
	Основной металл			Закаленный и естественно состаренный		24,0	—	—	—

Продолжение табл. 64

Система	Марка материала	Характеристика образцов	Толщина в мм	Состояние образцов		Предел прочности σ_b в кг/мм ²			Угол заги-ба α°
				до сварки	после сварки	Температура испытаний в град.			
Al—Mg— Si—Cu	АД3ЗАТ1	Сварное соединение	2,0	Закаленный и искусственно состаренный	Исходное	$\frac{20,0-20,0}{20,0}$	—	—	$\frac{64-66}{65}$
					Искусственно состаренный	$\frac{25,5-27,0}{26,0}$	—	—	$\frac{30-34}{31}$
					Закаленный и искусственно состаренный	$\frac{33,0-33,0}{33,0}$	$\frac{24,5-25,5}{25,0}$	$\frac{20-24}{22,6}$	$\frac{29-39}{33}$
	Закаленный и искусственно состаренный	$\frac{30,2-30,4}{30,2}$		$\frac{21,5-22,6}{22,4}$	$\frac{15,9-17,1}{16,5}$	$\frac{78-94}{89}$			
	АВ4Т	Сварное соединение		Закаленный и искусственно состаренный	Исходное	$\frac{16-18}{16,7}$	—	—	—
					Закаленный и естественно состаренный	$\frac{20-21}{21}$	—	—	—

Примечания: 1. Испытания сварных соединений проводились на образцах с усилением по ГОСТу 6996-54; испытания швов — на образцах типа ХУШ по тому же ГОСТу.
 2. Материал АМг6АТ нагарован на 10%, АМг6АН — на 20%.
 3. Образцы из алюминия и сплава АМц сваривались вручную, из всех других сплавов — автоматической сваркой вольфрамовым электродом.
 4. Сплавы АД3А, АД3ЗА, АД3ЗАА, АД3ЗААА и АД3ЗАААА сваривались с присадочной проволокой АК, сплав АМгЗААА — с проволокой АМгЗ, все остальные сплавы — с проволокой состава основного металла.
 5. Основной металл сплавов АД3А и АД3ЗА закаливался в листах на металлургическом заводе. Закалка сварных образцов из этих сплавов производилась в лабораторных условиях.

65. Механические свойства стыковых сварных соединений из магния

Марка сплава	Толщина листа в мм	Марка присадочной проволоки	Сварка неплавящимся электродом			Сварка плавящимся электродом				
			Ручная			полуавтоматическая		автоматическая		
			σ_b в кг/мм ²	образцы с усилением	Угол загиба α°	σ_b в кг/мм ²	образцы с усилением	σ_b в кг/мм ²	образцы с усилением	Угол загиба α°
AMг6AM	8	AMг6	$\frac{32-33}{33}$	—	$\frac{70-180}{135}$	$\frac{30-32}{31}$	—	—	—	—
		AMг5B	—	—	$\frac{140-180}{155}$	$\frac{30-32}{31}$	—	—	—	—
	10	AMг5	—	—	—	$\frac{30-32}{31}$	$\frac{28-33}{34}$	$\frac{26-30}{28}$	—	$\frac{35-50}{40}$
		AMг5	—	—	—	$\frac{31-32}{32}$	$\frac{27-34}{31}$	—	—	—
AMг5BA г/к	15	AMг6	—	—	$\frac{25-34}{33}$	—	$\frac{28-33}{30}$	—	$\frac{26-33}{29}$	$\frac{28-40}{33}$
	40	AMг5	—	—	—	—	$\frac{26-31}{28}$	—	—	—
		AMг6	$\frac{28-29}{29}$	—	$\frac{75-180}{160}$	—	—	—	—	—
	8	AMг5B	$\frac{29-29}{29}$	—	$\frac{105-180}{150}$	—	—	—	—	—

Продолжение табл. 65

Марка сплава	Толщина листа в мм	Марка присадочной проволоки	Сварка неплавящимся электродом			Сварка плавящимся электродом				
			Ручная			полуавтоматическая		автоматическая		
			σ_b в кг/мм ²	образцы с усилением	Угол загиба α°	σ_b в кг/мм ²	образцы с усилением	σ_b в кг/мм ²	образцы с усилением	Угол загиба α°
AMг5BA г/к	10	AMг6	—	—	—	$\frac{28-29}{28}$	—	—	—	—
	30	AMг5B	—	—	—	$\frac{28-29}{28}$	$\frac{27-29}{28}$	—	—	—
AMг3Ag/к	8	AMг5B	$\frac{19-20}{20}$	$\frac{17-20}{19}$	$\frac{50-180}{122}$	—	—	—	—	—
		AMг3	$\frac{49-21}{20}$	$\frac{48-21}{20}$	180	—	—	—	—	—
	20	AMг5B	$\frac{18-20}{20}$	$\frac{18-19}{19}$	180	—	—	—	—	—
		AMг	$\frac{47-20}{18}$	$\frac{19-19}{19}$	180	—	—	—	—	—
AMгAg/к	20	AMг	—	—	—	—	$\frac{11-20}{18}$	—	—	—
		AK	—	—	—	—	$\frac{15-18}{16}$	—	—	—

Примечания: 1. Определение угла загиба производилось на оправке $D = 4$ д.
2. Значения предела прочности округлены до целых чисел.

66. Механические свойства стыковых сварных соединений с усилением из сплава М40 в исходном состоянии после сварки

Марка сплава	Толщина материала в мм	Марка присадочной проволоки	Состояние материала до сварки	Сварка плавящимся электродом				Автоматическая сварка неплавящимся электродом	
				полуавтоматическая		автоматическая		σ_{θ} в кг/мм ²	α°
				σ_{θ} в кг/мм ²	α°	σ_{θ} в кг/мм ²	α°		
M40AM	5	M40	Отожженный	$\frac{13-16}{15}$	$\frac{6-7}{7}$	$\frac{12-14}{14}$	$\frac{20-35}{26}$	$\frac{29-30}{29}$	$\frac{20-40}{35}$
M40AT			Закаленный и естественно состаренный	$\frac{11-15}{13}$	$\frac{8-22}{13}$	$\frac{18-24}{22}$	$\frac{9-15}{12}$	$\frac{29-32}{31}$	$\frac{24-45}{35}$
	10	AMr6		—	—	$\frac{24-25}{25}$	$\frac{10-15}{12}$	—	—
			—	—	$\frac{18-21}{20}$	$\frac{8-15}{12}$	—	—	

Примечания: 1. Определение угла загиба производилось на оправке $D = 2 \delta$.
2. Значения предела прочности округлены до целых чисел.

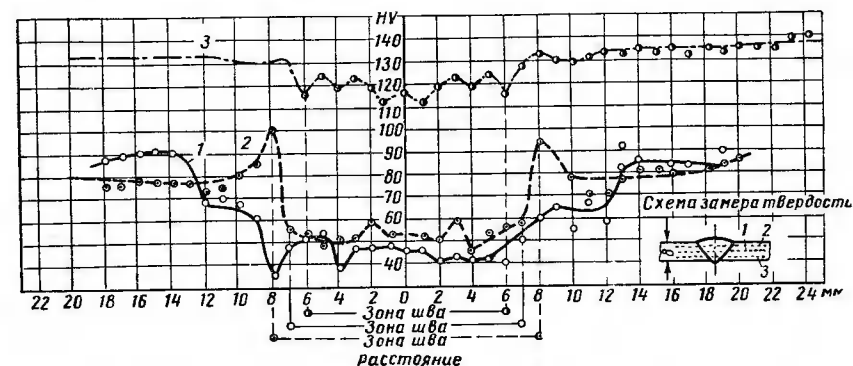
67. Механические свойства сварных соединений из сплава Д20, выполненных автоматической сваркой плавящимся электродом с присадочной проволокой марки Д20 (состояние образцов после сварки — исходное)

Марка сплава	Толщина листа в мм	Состояние материала до сварки	σ_B в кг/мм ²	α°
Д20АТ1	8	Закаленный и искусственно состаренный	35—39 36	25—36 29
	15		35—36 35	13—34 20

Примечания: 1. Определение угла загиба производилось на оправке $D = 2\delta$.
2. Значения предела прочности округлены до целых чисел.

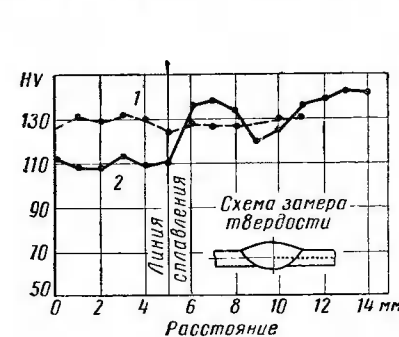
Предел прочности и угол загиба сварных соединений из сплава М40 толщиной 5—10 мм даны в табл. 66.

В табл. 67 приведены механические свойства сварных соединений из сплава Д20 толщиной 8 и 15 мм.

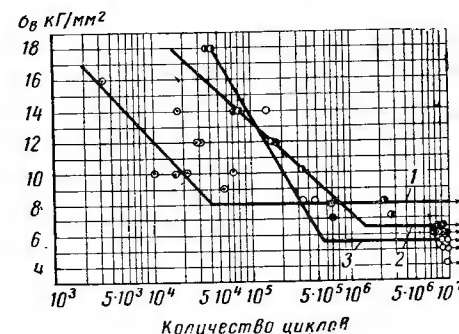


Фиг. 158. Распределение твердости поперек сварного соединения из сплава Д20 толщиной 8 мм, выполненного автоматической сваркой плавящимся электродом: 1 — после сварки без термообработки; 2 — после сварки — старение; 3 — после сварки — закалка и старение. Перед сваркой материал закален и состарен.

Предел прочности и угол загиба основного металла и сварного соединения при полуавтоматической и автоматической сварке плавящимся электродом для авиала толщиной 5—60 мм приведены в табл. 68.



Фиг. 159. Распределение твердости поперек сварного соединения из сплава Д19 толщиной 2 мм, выполненного автоматической сваркой вольфрамовым электродом с подачей присадочной проволоки: 1 — после сварки — закалка со старением; 2 — после сварки без термообработки.



Фиг. 160. Кривые усталости при изгибе сварных соединений (со снятым усилением) сплава Д20 толщиной 2 мм в разном состоянии после сварки: 1 — после сварки без термической обработки; 2 — после старения; 3 — после закалки и старения.

Механические свойства металла шва на авиале при сварке с присадочной проволокой АВ и АК показаны в табл. 69.

На фиг. 158—159 приведены графики, показывающие распределение твердости в сечении сварного соединения из сплавов Д20 и Д19, упрочняемых термической обработкой.

68. Механические свойства основного металла и стыковых сварных соединений из алюминия, выполненных плавающим электродом (состояние образцов после сварки — исходное)

Марка сплава	Толщина листа в мм	Присадочная проволока	Состояние образцов	Образцы из основного металла	Способ сварки					
					полуавтоматическая		автоматический			
					σ_{θ} в кг/мм ²	α°	σ_{θ} в кг/мм ²	образцы с усилением	образцы со сжатием	α°
АВАТ	5	АВ	Закаленный и естественно состаренный	$\frac{19-21}{20}$	—	—	—	$\frac{9-10}{10}$	—	$\frac{13-42}{21}$
АВАМ	20	АК	Отожженный	$\frac{12-13}{13}$	—	$\frac{9-13}{12}$	—	$\frac{9-13}{11}$	$\frac{13-161}{59}$	
		—		$\frac{12-15}{13}$	—	$\frac{10-12}{10}$	$\frac{27-82}{37}$			
АВАТ	30	АВ	Закаленный и естественно состаренный	$\frac{24-25}{25}$	180					
		АК								
	60	АВ		$\frac{25-26}{26}$						
		АК								

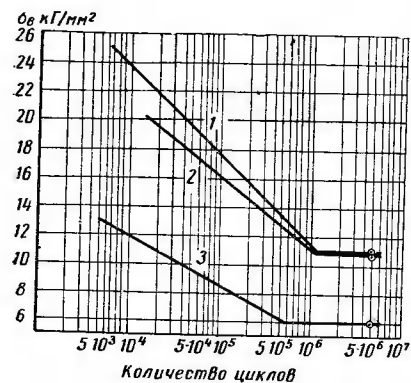
Примечания: 1. Значения предела прочности округлены до целых чисел.
2. Содержание меди и цинка в основном и присадочном сплавах АВА было менее 0,1% каждого.

Примечания: 1. Значения предела прочности округлены до целых чисел.
2. Содержание меди и цинка в основном и присадочном сплавах АВА было менее 0,1% каждого.

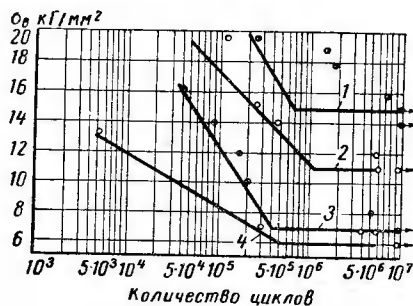
69. Механические свойства металла шва на алюминии, выполненного плавающим электродом (состояние образцов после сварки — исходное)

Марка сплава	Толщина листов в мм	Присадочная проволока	Способ сварки					
			полуавтоматический		автоматический			
			σ_{θ} в кг/мм ²	$\delta\%$	σ_{θ} в кг/мм ²	$\delta\%$	$\psi\%$	σ_{θ} в кг/мм/см ²
АВАМ	20	АВ	$\frac{11-21}{16}$	$\frac{4-18}{11}$	$\frac{10-18}{14}$	—	—	$\frac{4-16}{8}$
		АК	$\frac{11-19}{17}$	$\frac{6-16}{11}$	$\frac{9-16}{14}$	—	—	
АВАТ	30	АВ	—	—	$\frac{11-19}{16}$	$\frac{0,5-6}{3}$	$\frac{5-19}{9}$	$\frac{0,4-0,9}{0,7}$
		АК	—	—	$\frac{12-22}{18}$	$\frac{2-16}{10}$	$\frac{7-30}{18}$	$\frac{0,5-4,5}{0,9}$

Примечания: 1. Значения σ_{θ} округлены до одной десятой, значения механических свойств — до целых чисел.
2. Содержание меди и цинка в основном и присадочном сплавах АВА было менее 0,1% каждого.
3. Испытания проводились на образцах Гагарина, изготовленных из металла шва.



Фиг. 161. Кривые усталости при повторно-статическом растяжении сварных соединений и основного металла. Сплав AMg6, толщина листа 2 мм: 1 — основной металл; 2 — сварное соединение со снятым усилением; 3 — сварное соединение с усилением



Фиг. 162. Кривые усталости при повторно-статическом растяжении основного металла и сварных соединений AMg6 и B92 (после 30 суток естественного старения): 1 — B92 (основной металл); 2 — AMg6 (основной металл); 3 — B92 (сварное соединение); 4 — AMg6 (сварное соединение).

На фиг. 160—161 представлены графики усталостной прочности сварных соединений из сплавов Д20 и AMg6, а на фиг. 162 — сопоставление предела усталости сварных соединений (с усилением) из сплавов AMg6 и B92.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лашко Н. Ф., Лашко-Авакян С. В., Металловедение сварки. Машгиз, 1954.
2. Лашко Н. Ф., Лашко-Авакян С. В., Свариваемые легкие сплавы, Судпромгиз, 1960.
3. Байков Д. И., Золоторевский Ю. С., Руссо В. Л., Ряская Т. К., Свариваемые алюминиевые сплавы, Судпромгиз, 1959.
4. Пухов Г. А., Сварка легких металлов и их сплавов, Машгиз, 1959.
5. Алов А. А. и Бобров Г. В., «Сварочное производство» № 6, 1959.
6. Перельман, Краткий справочник химика, Госхимиздат, 1954.
7. Humphrey W. J. and West E. G., «British Welding Journal», 1957, v. 4, № 7, p. 297.
8. Lancaster J. T., «Welding and Metal Fabrication», 1958, № 12, p. 455.
9. Moen and Gibson, «Welding Journal», 1952, № 3.
10. Burgess N. T., Metallurgia, March, 1958.
11. Smith A. A., «Welding and Metal Fabrication», 1958, v. 26, № 9, p. 312.
12. Collins F. R., «Welding Journal», 1958, № 6.
13. Kaiser's 3 new Mig techniques for Welding aluminium. «Welding Engineer», 1958, v. 43, № 3.
14. Kasen B. and Pfluger A. R., «The Welding Journal», 1958, v. 37, № 6, p. 268.
15. Tomlinson J. E. and King A. J., «Welding and Metal Fabrication», 1958, № 12, p. 455.

Сварка магниевых сплавов

Магниевые сплавы хорошо свариваются неплавящимся электродом. Наиболее распространена ручная сварка, так как проволока относительно малых диаметров (1—3 мм), необходимая для автоматической сварки, промышленностью не выпускается. По этой же причине не получила распространения сварка плавящимся электродом в защитных газах. При ручной сварке в качестве присадочного материала используются полоски, нарезанные из основного металла, или прутки, поставляемые по специальным ТУ.

Особенности сварки магниевых сплавов

Сплавы на основе Mg активно окисляются кислородом воздуха. В отличие от алюминиевых сплавов окисная пленка на поверхности магниевых сплавов не защищает металл от дальнейшего окисления. Поэтому листы и другой сорта-

мент из магниевых сплавов покрывают защитной пленкой из солей хромовой кислоты, а также слоем смазки.

Как и при сварке алюминиевых сплавов, с обратной стороны шва должен быть развит достаточный проплав, в который выводится не расплавляемая в процессе сварки окисная пленка.

Сплавы Mg с алюминием и цинком (Мл4, Мл5), кристаллизующиеся в широком интервале температур, при сварке проявляют склонность к образованию пор в металле шва и околошовной зоне, а также к образованию горячих трещин.

Двойные сплавы (Mg—Mn) склонны к значительному росту зерна в околошовной зоне. При сварке этих сплавов следует избегать перегрева.

Для магниевых сплавов характерно низкое значение теплоты плавления (68 кал/дм^3) и удельной теплоемкости ($0,34 \text{ кал/дм}^3$), вследствие чего нагрев при сварке оказывается весьма концентрированным. Эта особенность наряду с низкой температурой плавления создает предпосылки к локальным перегревам и прожогам.

Магний обладает высоким коэффициентом линейного расширения ($\alpha = 29 \cdot 10^{-6}$). Поэтому сварка сплавов на его основе осложняется большой склонностью свариваемых узлов к короблению.

Поверхность готовых сварных узлов и конструкций необходимо защищать от атмосферной коррозии. Поэтому в сварных соединениях не должно оставаться капилляров, задерживающих в процессе окислирования электролит, во избежание последующей коррозии.

Магниевые сплавы, применяемые в сварных конструкциях

Изготавливаемые в виде листов и плит деформируемые сплавы МА1, МА2-1, МА8 незначительно упрочняются посредством нагартовки. Термической обработкой эти сплавы не упрочняются.

Сплав МА1 (система Mg—Mn) характерен весьма узким интервалом кристаллизации (5°C). Сварка его должна производиться с возможно большей скоростью при строгом соблюдении отработанного режима во избежание прожогов. Сплав МА1 меньше, чем другие деформируемые сплавы, склонен к образованию трещин при сварке. Применяется для средненагруженных конструкций.

Сплав МА8 (система Mg—Mn—Ce) более прочен и пластичен, чем МА1. Для него характерна мелкозернистая структура, что объясняется присутствием церия. В то же время при сварке сплав МА8 более склонен к образованию трещин, чем МА1. Сплав применяется в сварных конструкциях емкостей, корпусов приборов и других ответственных изделий.

Сплав МА2-1 (система Mg—Al—Zn—Mn) прочный, термической обработкой не упрочняется. По сравнению со всеми другими магниевыми сплавами обладает наилучшей свариваемостью. Применяется в сварных конструкциях герметичных емкостей, в узлах летательных аппаратов и других ответственных изделий.

Литейные сплавы (Мл4, Мл5 и др.) подвергаются сварке в случае необходимости исправления дефектов литья. Их общим свойством является повышенная склонность к образованию горячих трещин и пор при наплавке участков литья с усадочной рыхлотой.

Подготовка поверхности к сварке

С поверхности деталей должны быть удалены защитная смазка, маркировочная краска и прочие загрязнения, а также окисная пленка.

Примерная технологическая схема подготовки поверхности представлена в табл. 70.

Оксидную пленку после обезжиривания деталей можно удалять также и механическим способом.

Перед сваркой детали могут храниться не более 3 час. при механической зачистке кромок и не более 5 суток после химической подготовки по схеме, приведенной в табл. 70.

70. Химический способ очистки поверхности заготовок из магниевых сплавов перед сваркой

Технологические операции			Оборудование и инструмент	Зона очистки	Состав раствора			Режим работы		Примечание
№ операции	Наименование операции	Назначение			Наименование	Формула	Соотношение в г/л	Температура в °С	Время в мин.	
1	Обезжиривание	Удаление смазки и маркировочной краски методом растворения	Вентиляционная установка для отсоса паров растворителя	Торец листов и поверхность свариваемых кромок с двух сторон на ширине не менее 30 мм или вся заготовка	Растворитель органический: ацетон, растворитель РД, бензин или четыреххлористый углерод	—	—	Комнатная	—	Ванну систематически очищают при помощи сетки (сачка) от налипающих на поверхность раствора жиров и других загрязнений
2	То же	То же, методом химического разрушения	Ванна; сетка (сачок)	То же	1. Едкий натр 2. Азотистокислый натрий 3. Азотнокислый натрий 4. Вода	NaOH NaNO ₂ NaNO ₃	300—600 150—200 40—70	70—100	5—60 сек.	
3	Промывка	Удаление остатков после обезжиривания	Ванна для промывания, волосяные щетки, ветошь	»	Вода	—	—	30—50	1—2	—
4	То же	То же	Ванна с проточной водой	»	Вода	—	—	Комнатная	1—2	—

Продолжение табл. 70

Технологические операции			Оборудование и инструмент	Зона очистки	Состав раствора			Режим работы		Примечание
№ операции	Наименование операции	Назначение			Наименование	Формула	Соотношение в г/л	Температура в °С	Время в мин.	
5	Травление	Удаление защитной оксидной пленки	Травильная ванна; устройство для подвешивания деталей	Торец листов и поверхность свариваемых кромок с двух сторон на ширине не менее 30 мм или вся заготовка	1. Хромовый ангидрид 2. Вода	CrO ₃ —	150—200	Комнатная	7—15	Ванну контролируют на содержание ионов SO ₄ . Допускается содержание SO ₄ не более 0,2%
6	Промывка	Удаление остатков после травления	Ванна для промывания	То же	Вода	—	—	50	2—3	—
7	То же	То же	Ванна с проточной водой	»	Вода	—	—	Комнатная	2—3	—
8	Сушка	»	Сушильный шкаф	»	Воздух	—	—	50—60	До полного удаления влаги	—

Подготовка кромок

В деталях и узлах из магниевых сплавов применяются все основные виды подготовки кромок и типы соединений, принятые при сварке алюминиевых сплавов.

Исключение составляют бортовые соединения и соединения в стык с отбортовкой кромок. При отбортовке кромок на деталях из магниевых сплавов необходим подогрев; кроме того, радиус оправки должен быть примерно в 2 раза больше толщины материала для предупреждения трещин. Последнее обстоятельство вызывает образование так называемых «карманов» с обратной стороны соединения, что является отрицательным фактором при нанесении защитных покрытий. При подготовке стыковых соединений свариваемые кромки следует фрезеровать, так как при этом получается наиболее плотное прилегание. То же относится к подготовке угловых и тавровых соединений. Для многослойных стыковых соединений рекомендуется применять U-образную разделку.

Технология сварки

Требования к источнику тока и техника сварки магниевых сплавов те же, что при сварке алюминиевых сплавов, т. е. сварка вольфрамовым электродом производится на переменном токе, а плавящимся — на постоянном токе обратной полярности.

Некоторые особенности технологии сварки магниевых сплавов заключаются в следующем.

При многослойной сварке во избежание перегрева необходимо применять промежуточное охлаждение. То же относится к однослойной сварке в случае близкого расположения швов.

Для ограничения высоты местных сквозных проплавлений, а также для защиты обратной стороны шва от окисления, сварку магниевых сплавов целесообразно производить в приспособлениях с подкладками из нержавеющей стали.

Размеры канавки в подкладке (ширина 6—8 мм и глубина около 1 мм) уточняются в зависимости от толщины свариваемого материала.

Поверхность шва при правильно выбранном режиме сварки обычно блестящая с мелкочешуйчатым ровным и плотным проплавом.

При сварке нахлесточных, угловых и тавровых соединений практически не удается избежать местных проплавлений, высота которых обычно ограничивается.

Допустимые значения высоты проплавления, установленные опытом, приведены в табл. 71.

Длина участков шва со сквозными проплавлениями обычно уточняется в технических требованиях к свариваемым узлам и изделиям.

Сварку магниевых сплавов следует производить с наибольшей возможной скоростью при наименьшей длине дуги (1—2 мм при ручной и автоматической сварке с присадочным материалом). В табл. 72 и 73 представлены соответственно ориентировочные режимы ручной и автоматической сварки магниевых сплавов вольфрамовым электродом.

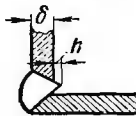
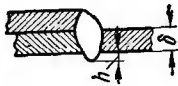
В табл. 74 приведены рекомендуемые присадочные материалы для сварки некоторых магниевых сплавов.

Свойства сварных соединений

Деформируемые магниевые сплавы чувствительны к перегреву. Как следствие колебаний скорости сварки, прочность сварного соединения по длине шва может колебаться в довольно широких пределах. Прочность снижается в местах повторного нагрева (подварки), в местах переплавленных прихваток и чрезмерно высоких проплавлений.

Механические свойства сварных соединений приведены в табл. 75—77.

71. Допустимые размеры проплавления при сварке магниевых сплавов

Виды соединений	Толщина материала δ в мм	Допускаемая величина проплавления h в мм
Стыковое 	До 1,5 1,6—3,0	2 δ 1,5 δ
Угловое 		
Тавровое 	До 2,0 2,1—3,0	2 мм 2,5 »
Нахлесточное 		

72. Ориентировочные режимы ручной сварки сплавов МА1 и МА8

Толщина материала в мм	В стык с присадкой			Внахлестку с проплавлением			В стык без присадки		
	Ток в а	Диаметр электрода в мм	Расход аргона в л/мин	Ток в а	Диаметр электрода в мм	Расход аргона в л/мин	Ток в а	Диаметр электрода в мм	Расход аргона в л/мин
1,0	85—90	2,0	6—8	70—75	2—3	7—9	—	—	—
1,2	85—100	2,0	6—8	70—75	2—3	7—9	—	—	—
1,5	105—110	2,0	8—9	85—90	2—3	7—9	95—100	3,0	10
2,0	130—140	3,0	9—12	—	—	—	—	—	—
5,0	220—240	4,0	20—25	—	—	—	—	—	—
6,0	250—260	4,0	25—30	—	—	—	—	—	—

Примечание. Режимы указаны для сварки в приспособлении на подкладке из нержавеющей стали.

73. Ориентированные режимы автоматической сварки магниевых сплавов вольфрамовым электродом (Ток переменный)

Марка материала	Толщина материала в мм	В стык с присадкой					В стык без присадки				
		Ток в а	Диаметр электрода в мм	Скорость сварки в м/час	Скорость перемещения присадочной проволоки в м/час	Расход аргона в л/мин	Ток в а	Диаметр электрода в мм	Скорость сварки в м/час	Расход аргона в л/мин	Марка материала
МА1	0,8	80—95	2,0	50—60	50—70	6—7	70—90	2,0	70—85	6—7	МА8
	1,0	85—105	3,0	45—55	40—60	7—8	80—100	2,0	50—70	7—8	
	1,5	100—150	3,0	30—45	30—50	8—9	90—140	3,0	30—50	8—9	
	2,0	140—200	4,0	20—40	30—40	9—10	140—180	4,0	20—50	9—10	
	2,5	200—240	5,0	15—30	30—40	9—10	170—210	4,0	20—40	9—10	
	3,0	230—260	5,0	15—25	25—40	9—11	200—240	5,0	15—20	9—11	
МА8	0,8	60—70	2,0	50—70	60—70	6—7	60—70	2,0	70—85	6—7	МА8
	1,0	70—100	3,0	50—60	50—70	7—8	70—85	3,0	60—80	7—8	
	1,5	90—140	3,0	30—50	30—50	8—9	80—120	3,0	30—60	8—9	
	2,0	130—180	4,0	25—50	25—40	9—10	120—160	4,0	30—50	9—10	
	2,5	170—220	5,0	20—30	20—30	9—10	140—200	4,0	20—40	9—10	
	3,0	200—250	5,0	15—30	20—30	9—11	180—230	5,0	20—30	9—11	

74. Присадочные материалы, применяемые при сварке магниевых сплавов

Марка основного материала	Толщина свариваемых листов в мм	Марка присадочного материала	Диаметр проволоки или прутка в мм	Размеры присадочных полосок * в мм
МА1	0,8—1,5 1,5—3,0	МА1	1,5 1,5—2,0	1,5×2 1,5×2
МА8	0,8—1,5 1,5—3,0 5,0 и более	МА8 МА8 МА2-1 **	1,5 1,5—2 4—6	1,5×2 1,5×2 —
Мл5	5,0 и более	Мл5 **	4—6	—

* Полоски из листового материала должны быть чисто обработаны, так как неровности, шероховатость и заусенцы способствуют окислению ванны шва.
** Прутки, прессованные по СТУ.

75. Предел прочности основного металла и стыковых сварных соединений сплава МА1 (Ручная сварка с присадкой МА1)

Толщина материала в мм	Предел прочности основного металла в кг/мм ²	Предел прочности сварного соединения	
		в кг/мм ²	в % к основному металлу
1,0	$\frac{24,7-24,1}{23,0}$	$\frac{11,2-18,9}{14,5}$	63
1,5	$\frac{20,1-24,0}{20,6}$	$\frac{13,2-14,0}{13,7}$	66

76. Механические свойства основного металла и стыковых сварных соединений из сплава МА8 (средние значения)
(Автоматическая сварка вольфрамовым электродом; проволока МА8)

Толщина свариваемого материала в мм	Основной металл		Сварные соединения		
	Предел прочности в кг/мм ²	Угол загиба в град	с усилением	со снятым усилением	Угол загиба в град
			Предел прочности в кг/мм ²		
0,8	27,5	95	17,6	16,4	90
1,0	25,5	90	17,4	15,1	95
1,5	26,5	70	19,0	12,6	75
2,0	26,3	40	16,5	9,0	30

77. Предел прочности сварных стыковых соединений из листового сплава МА5 толщиной 5 мм при ручной и автоматической сварке. Разделка кромок V-образная с углом раскрытия 60°

Способ сварки	Марка присадочных прутков	Предел прочности в кг/мм ²	
		Основной металл	Сварное соединение
Автоматическая сварка плавящимся электродом	МА5	23,7—23,8 23,7	16—18 17,4
		23,1—23,5 23,3	13,1—22,6 18,2
Ручная сварка вольфрамовым электродом	МА5	23,1—23,5 23,3	14,5—23,6 17,2
	МА2-1	23,1—23,5 23,3	14,5—23,6 17,2

Заварка дефектов лития

Сваркой в защитной среде инертных газов исправляются дефекты поверхности, образованные при механической обработке, места вырыва при удалении приливов, газовые пузыри, поверхностные раковины, трещины и другие дефекты отливок.

Полное исправление дефектов подваркой достигается только при расположении их на плотном участке металла отливки, либо при разделке дефекта до полного удаления окружающей неплотности. В противном случае при наплавке развивается пористость и образуются трещины как в металле наплавки, так и в зоне термического влияния.

Подготовленные к подварке отливки подогреваются в печах до 250—300° С. Отливки тонкостенные и напряженные подогреваются до 340—350° С, а для массивных ненапряженных отливок можно ограничиться местным подогревом до температуры 250—270° С. При незначительных размерах дефектов в отдельных случаях можно производить подварку без предварительного подогрева. После подварки обязательна повторная термическая обработка, за исключением тех случаев, когда подварка производится без подогрева.

Перед разделкой дефектных участков отливки тщательно очищаются от литейной корки, окислов, черноты и других загрязнений. Разделка выполняется с уклоном 45° от основания к поверхности изделия; угол у основания сквозного отверстия скругляется ($R \approx 25$ мм), основание сквозного отверстия выполняется с притушением 1,5—2 мм. Разделка дефектов вблизи кромки выполняется с выходом на кромку; трещины засверливаются по концам и затем разделяются с одной стороны. Подварка сквозных отверстий выполняется на подкладке из асбеста, алюминия или магния. При подварке употребляется присадка одинакового состава с основным металлом. Как и при сварке, следует избегать перегрева.

Сварка циркония, тантала, ниобия и молибдена

Общие сведения

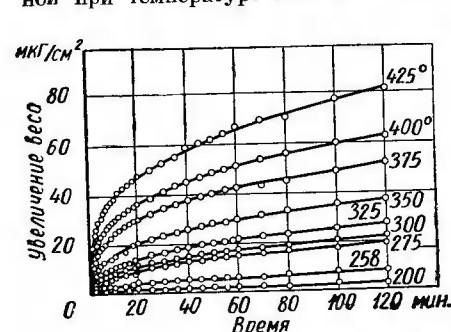
Цирконий

Цирконий — пластичный металл, обладающий хорошей свариваемостью и жидкотекучестью; хорошо растворяет свои окислы, имеет низкий коэффициент расширения, благодаря чему коробление его при сварке незначительно. Цирконий обладает высокой коррозионной стойкостью в кислотах, а также

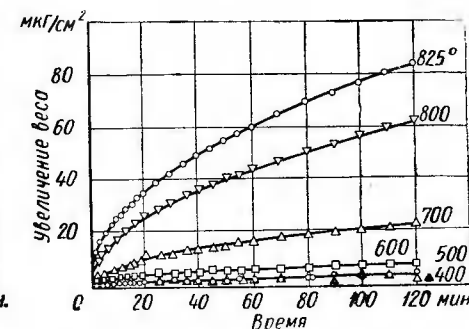
в воде, под большим давлением и при высоких температурах. Особенно ценным свойством циркония является низкое эффективное поперечное сечение захвата на тепловых нейтронах. Указанные свойства позволяют применять цирконий как конструкционный материал в реакторостроении.

При температурах ниже 200° С цирконий не реагирует с газами атмосферного воздуха. При нагревании до 400—600° он покрывается окисной пленкой, затрудняющей дальнейшее окисление металла. При более высокой температуре одновременно с увеличением скорости окисления наблюдается растворение кислорода в цирконии, что сильно понижает его пластичность. При нагреве он активно соединяется с азотом, образуя нитриды. Металлический цирконий энергично поглощает водород.

Как показано на фиг. 163, скорость окисления циркония становится заметной при температуре 200° С.



Фиг. 163. Влияние температуры на взаимодействие циркония с кислородом [1].



Фиг. 164. Влияние температуры на взаимодействие циркония с чистым азотом [1].

Заметное взаимодействие азота с иодидным цирконием начинается при температуре около 400° С. Как показано на фиг. 164, в интервале температур 400—600° С реакция протекает сравнительно медленно, но при 700—800° С она быстро развивается.

Насыщение циркония азотом снижает пластические свойства металла и его коррозионную стойкость. На фиг. 165 представлено совместное влияние кислорода и азота на механические свойства металла¹.

В промышленности применяются сплавы цирконий-олово, цирконий-ниобий и другие. Диаграмма состояния системы цирконий — ниобий представлена на фиг. 166.

Цирконий и его сплавы применяются в отожженном (мягком) и нагартованном (обжатие до 50%) состояниях.

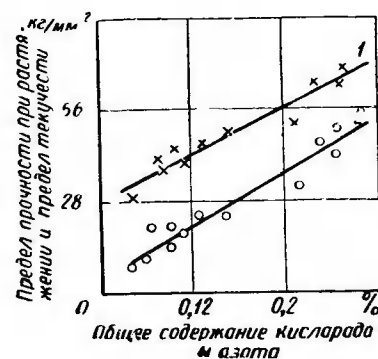
Высокая активность циркония и его сплавов при повышенных температурах существенно сказывается на сварочных процессах, сопровождающихся изменением температуры металла шва и околосшовной зоны в широких пределах.

Химический состав циркония и его сплавов приведены в табл. 78. Основные физические и механические свойства представлены в табл. 79 и 80.

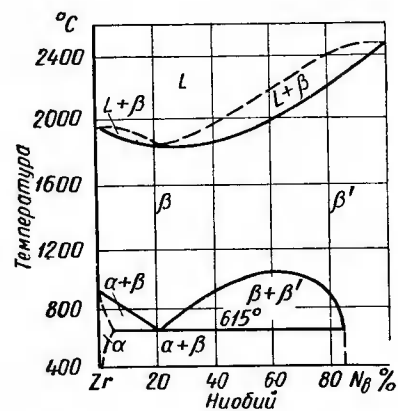
Тантал

Тантал является пластичным металлом, обладающим хорошей свариваемостью. Характерными свойствами его являются высокая температура плавления (2996° С), высокая устойчивость против коррозии и высокая химическая активность при повышенных температурах.

¹ Кристаллическая структура циркония бывает двух модификаций — равновесная α-модификация с гексагональной решеткой, устойчивая при температурах ниже 862° С, и β-модификация с кубической объемноцентрированной решеткой, устойчивая при температурах выше 862° С.



Фиг. 165. Совместное влияние кислорода и азота на предел прочности и предел текучести циркония [1]: 1 — предел прочности; 2 — предел текучести.



Фиг. 166. Диаграмма состояния системы цирконий — ниобий [4].

28. Химический состав циркония и его сплавов [1], [2], [3], [5]

Марка материала	Содержание в %											
	Zr	Fe	Ca	Si	C	Mg	Mo	Ni	Cr	Cu	Nb	Sn
Цирконий, полученный иодидным процессом	99,5	0,1	0,1	0,15	0,1	0,1	0,03	0,03	0,05	Следы	—	—
Сплав цирконий-олово (циркслей-2)	98,2	0,13	—	—	—	—	—	0,05	0,09	—	—	1,5
Сплав цирконий-ниобий	97,5	0,03	Следы	0,01	0,05	—	0,01	Следы	Следы	—	2,5	—

При нормальных температурах тантал практически не поддается действию кислот за исключением плавиковой. Отсутствует склонность к точечной коррозии.

При температурах свыше 400° С тантал энергично реагирует с кислородом. При более высоких температурах поверхностная окисная пленка растворяется в металле, в результате чего резко повышаются твердость и хрупкость.

В интервале температур 500—1000° С происходит поглощение водорода с образованием хрупких гидридов. При нагревании в вакууме выше 600° С водород выделяется и восстанавливается прежняя пластичность металла. Поглощение азота наблюдается при температуре 600° С; при дальнейшем повышении температуры образуются нитриды, что приводит к резкому снижению пластических свойств тантала.

79. Основные физические и механические свойства циркония и его сплавов, молибдена, тантала и ниобия [1], [2], [5]

Марка материала (лист $\delta = 0,6 \div 2$ мм)	Удельный вес в г/см ³	Температура в °C		$\sigma_{\text{в}}$ в кг/мм ²	$\sigma_{\text{с}}$ в кг/мм ²	δ в %	E в кг/мм ²
		плавления	капеле-ния				
Цирконий, полученный иодидным процессом	6,5	1860	3577	Отожженный 25—29 16—20 16—40 Нагартованный 53—75 42—51 0,5—6,0		7000—10 220 7000—9450	
Сплав цирконий-олово, отожженный	6,5	—	—	50,0	30,0	20,0	—
Сплав цирконий-ни- обий, отожженный	6,5	—	—	42,0	35,0	22,0	—
Молибден литой	10,3	2622	4800	54,1	37,2	8	—
Тантал отожженный	16,6	2996	5300	35—50	—	25—40	19 000
Ниобий отожженный	8,57	2415	3700	30—40	—	10	—

80. Прочность циркония при повышенных температурах [5]

Температура в °C	Предел прочности $\sigma_{\text{в}}$ в кг/мм ²	Предел текучести $\sigma_{\text{с}}$ в кг/мм ²	Относительное удлинение δ в %
20	34,4	20,5	34,0
100	29,8	16,7	44,5
200	18,2	10,7	52,0
300	14,2	6,9	52,0
400	11,0	5,4	56,0
500	7,9	5,3	100,0

Для сварных конструкций тантал применяется в отожженном состоянии в виде листов и труб с толщиной стенки от 0,3 мм и выше. Тантал используется преимущественно в электровакуумной технике и химической промышленности. Основные физико-механические свойства тантала представлены в табл. 79.

Ниобий

Ниобий в чистом виде отличается высокой пластичностью и хорошей свариваемостью. По механическим свойствам ниобий близок к танталу (см. табл. 79). Ниобий, как и тантал, обладает высокой стойкостью

против коррозии и при повышенных температурах весьма активно реагирует с атмосферными газами (кислородом, азотом и водородом); с воздухом он реагирует уже при температуре 200° С. При повышенных температурах ниобий реагирует с парами воды, углекислым газом и оксидом углерода. Отличительной особенностью ниобия является высокое сопротивление ползучести при повышенных температурах.

Стойкость ниобия в серной и соляной кислотах несколько ниже, чем у тантала. Однако сочетание таких свойств, как устойчивость против коррозии и высокое сопротивление ползучести при повышенных температурах, повышает эффективность применения ниобия как конструкционного металла.

Молибден

Молибден и его сплавы обладают высокой прочностью и пластичностью при повышенных температурах и склонностью к хрупкому разрушению при комнатной температуре.

Высокие значения сопротивления ползучести и длительной прочности, особенно при температуре выше 900° С, обеспечивают широкое использование молибдена как конструкционного материала в изделиях, работающих при повышенных температурах. Хрупкость металла при комнатных и минусовых температурах приводит к хрупкому разрушению сварных соединений, что составляет главную трудность в изготовлении сварных конструкций из молибдена и его сплавов.

Основной причиной хрупкости молибдена при комнатной температуре является присутствие субмикроскопических пленок окислов на границах отдельных зерен. Карбиды и нитриды, располагающиеся обычно на границах зерен, также повышают хрупкость металла. Для улучшения пластических свойств в молибден вводят легирующие элементы (Ti, Zr, Al), которые нейтрализуют вредное влияние примесей путем образования стойких окислов или нитридов, а также способствуют измельчению зерна.

При комнатной температуре молибден имеет объемноцентрированную кубическую решетку. Металлографический анализ не обнаруживает существования аллотропических превращений.

Молибден легко окисляется на воздухе, образуя тонкую пленку MoO_3 при нагреве > 300° С и двуокись молибдена MoO_2 при дальнейшем нагреве выше 400° С. Окислы MoO_3 и MoO_2 образуют эвтектику с температурой плавления 777° С. Температура рекристаллизации около 1150° С [8].

Основные физические и механические свойства молибдена приведены в табл. 79.

Сварка циркония, тантала и ниобия в среде инертных газов

Технологические особенности сварки циркония, тантала и ниобия являются общими. (Эти металлы имеют высокую температуру плавления). Необходимость защиты металла шва и околошовной зоны в процессе сварки от влияния атмосферных газов составляет основную трудность получения сварных швов, равноценных основному металлу по физическим и механическим свойствам.

При изготовлении конструкций из циркония, тантала и ниобия наибольшее распространение получила сварка в среде инертных газов.

При одинаковой чистоте газов аргон (как более плотный) обеспечивает несколько лучшую защиту, чем гелий.

На фиг. 167 показано изменение твердости металла шва на цирконии в зависимости от содержания в аргоне кислорода и азота. Для обеспечения пластичности и коррозионной стойкости металла шва, близких к этим же свойствам основного металла, следует применять аргон чистотой 99,95% (содержание кислорода не более 0,01%, азота не более 0,01% и влаги не более 0,07 г/м³).

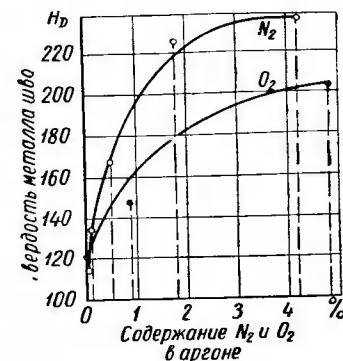
Кроме чистоты защитного газа, существенное влияние на степень насыщения сварного шва газами имеет термический цикл металла шва и околошовной зоны. Изменение термического цикла в зоне сварки может быть осуществлено путем

изменения погонной энергии дуги или путем охлаждения металла в околошовной зоне в процессе сварки. Первый путь мало эффективен, так как при сварке тонколистовых материалов изменить величину погонной энергии дуги в широких пределах не удается. Охлаждение околошовной зоны в процессе сварки осуществляется посредством теплоотводящих накладок из материала с высокой теплопроводностью или накладок с жидкостным охлаждением.

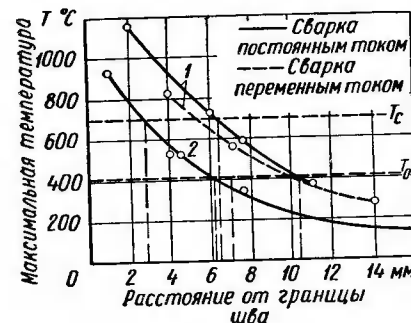
На фиг. 168—169 представлен график изменения термического цикла в точках, расположенных на различном расстоянии от границы шва и границ максимальных температур в отдельных точках зоны термического влияния при автоматической сварке циркония.

За счет применения теплоотводящих устройств размер зоны термического влияния и степень поглощения металлом азота и кислорода могут быть сокращены примерно на 50% по сравнению с процессом сварки на весу.

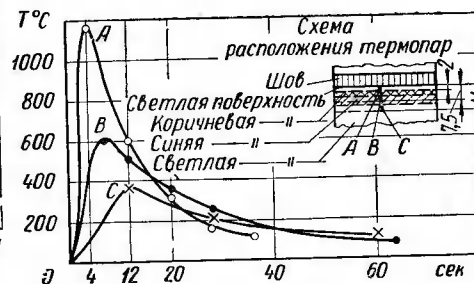
Механические свойства сварных швов и устойчивость их против коррозии в значительной степени зависят от чистоты поверхности свариваемого металла. Поэтому перед сваркой кромки металла обезжириваются и зачищаются механическим способом до удаления окисной пленки;



Фиг. 167. Зависимость между содержанием азота и кислорода в аргоне и твердостью металла шва.



Фиг. 168. Распределение максимальных температур в различных точках зоны термического влияния при автоматической аргоно-дуговой сварке с подкладками; 1 — сварка на весу; 2 — сварка с охлаждающими подкладками; T_c — температура начала структурных изменений; T_o — температура начала окисления.



Фиг. 169. Изменение температуры в зоне термического влияния в процессе автоматической аргоно-дуговой сварки (сварка листов из сплава Zr + Nb толщиной 1 мм).

затем детали подвергаются травлению с последующей промывкой в горячей воде. Рецептура реактивов для травления представлена в табл. 81.

После сварки детали подвергаются травлению с последующей промывкой и сушкой.

Сварка циркония, тантала и ниобия может производиться на постоянном и переменном токе, вольфрамовым или плавящимся электродом. Лучшие результаты получаются при сварке вольфрамовым электродом постоянным током прямой полярности.

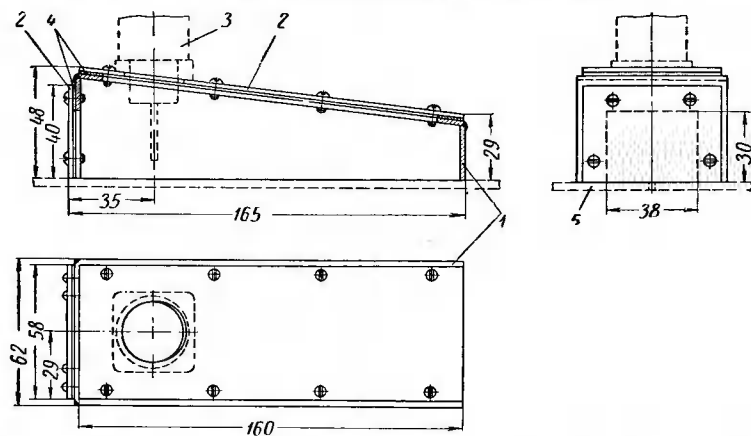
Ориентировочные режимы сварки приведены в табл. 82.

81. Варианты состава растворов для травления

Материал	Состав раствора в % (по объему)					Время травления в сек.
	HF	HNO ₃	NH ₄ F	HCl	Вода дистиллированная	
Цирконий	6—8	25	—	—	Остальное	30—40
	—	25	8	—	То же	30—40
	10	45	—	—	»	20—30
Тантал	1—3	20	—	—	»	40
	3—5	—	—	15	»	30

При сварке в стык без присадочного металла листов толщиной от 0,3 до 2,0 мм зазор в стыке должен быть не более 15% толщины.

Сварка циркония, тантала и ниобия может производиться с местной защитой при помощи микрокамер (фиг. 170, 171) или с общей защитой в герметических камерах с контролируемой атмосферой (фиг. 172—174).



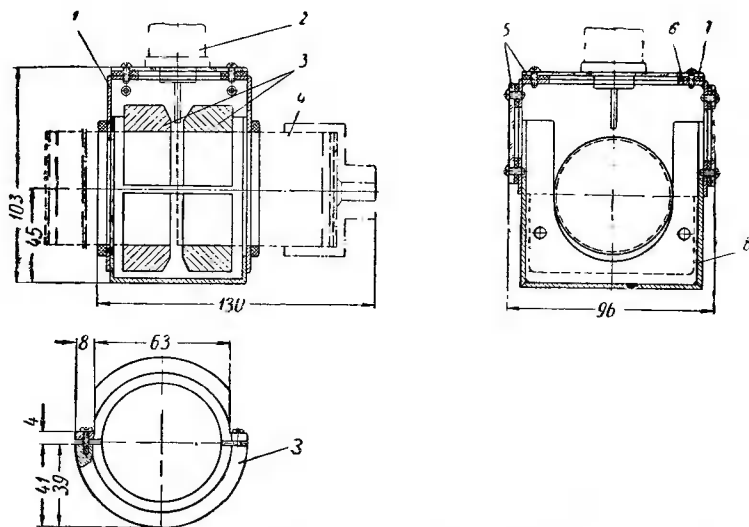
Фиг. 170. Передвижная микрокамера: 1 — корпус; 2 — крышка из органического стекла; 3 — наконечник горелки; 4 — резиновые прокладки; 5 — свариваемые листы.

При сварке в микрокамере для предупреждения подсоса воздуха подача аргона или гелия должна осуществляться с минимальной скоростью, обеспечивающей заполнение камеры с незначительным избыточным давлением. Обратная сторона шва защищается струей инертного газа, который подводится к металлу шва через отверстия технологической подкладки. Размеры микрокамеры подбираются из расчета защиты инертным газом металла, нагреваемого до температуры выше 400° С.

82. Ориентировочные режимы аргоно-дуговой сварки циркония, тантала и ниобия (сварка в стык)

Вид сварки	Толщина ме- талла в мм	Диаметр приса- дочной прово- локи в мм	Диаметр волн- фрамового элек- трода в мм	Длина дуги в мм	Режим сварки		Расход газа в л/мин	
					I в а	v _с в м/час	в горел- ке	с обрат- ной сто- роны шва
Ручная, с при- садкой; на медной подкладке	1,5	1,2	3	—	50	—	7,5	2,3
	2,0	2,0			60	—		
	3,0				100	—		
Автоматическая, без присадки, с пе- редвижной микро- камерой; на мед- ной подкладке	0,3	—	1,6	1,0	40—50	30—32	5,6	2,3
	0,5	—	2,0	1,2	60—80		6,5	
	0,7	—			80—100			
	1,0	—		1,5	80—120		7,5	
	1,5	—	100—160					
	2,0	—	160—190					
Автоматическая, без присадки; в ка- мере, наполнен- ной аргоном; без подкладки	1,0	—	2,0	1,2	70—100	30—35	В камере избыточное давление аргона 0,1 ати	—
	1,5	—	3,0	1,5	100—130			
	2,0	—			140—160			

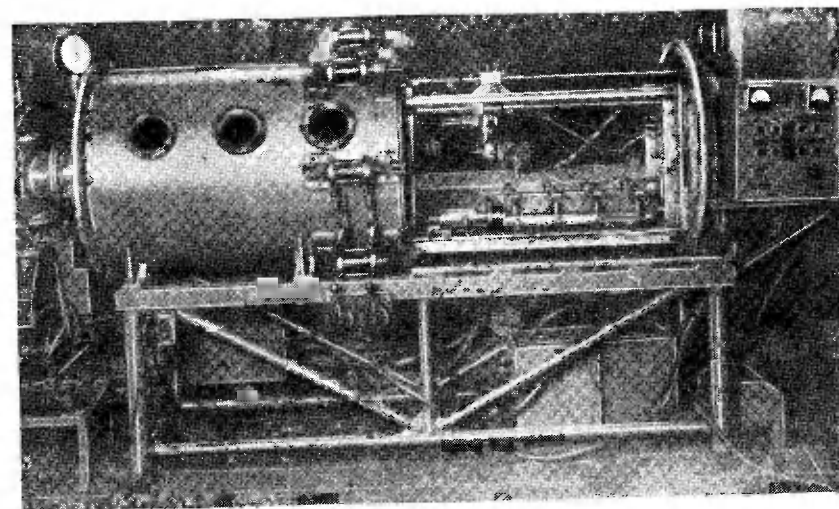
Лучшим способом защиты металла шва и околошовной зоны от насыщения газами является общая защита инертным газом, находящимся в спокойном состоянии. Для сварки с общей защитой применяются герметические камеры, обеспечивающие получение вакуума до 10^{-4} мм рт. ст. После создания такого вакуума камера наполняется аргоном или гелием до атмосферного давления с точностью $\pm 0,2$ ат. Сварка в камере производится без подачи инертного газа. Сварные швы, выполненные в герметической камере, наполненной инертным газом, по устойчивости против коррозии не уступают основному металлу.



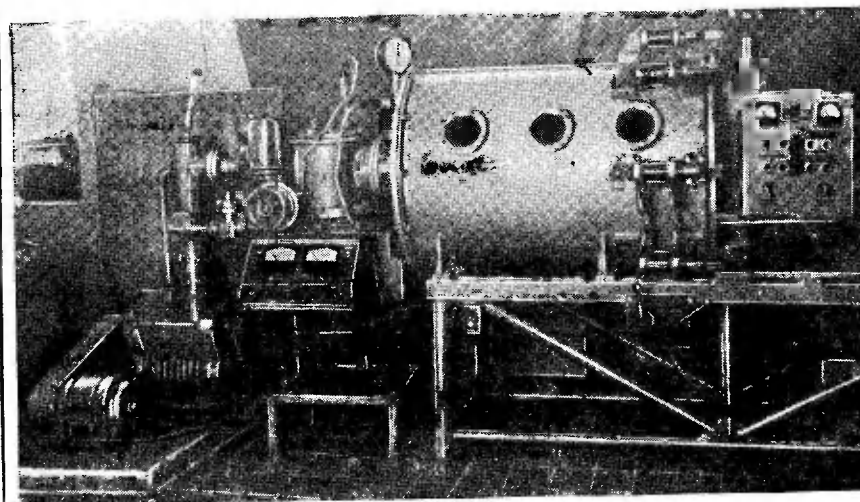
Фиг. 171. Микрокамера для сварки кольцевых швов: 1 — корпус; 2 — наконечник горелки; 3 — медные кольца для отвода тепла; 4 — свариваемая труба; 5 — органическое стекло; 6 — верхняя часть корпуса; 7 — резиновые прокладки; 8 — нижняя часть корпуса.



Фиг. 172. Камера с контролируемой атмосферой для ручной сварки.



Фиг. 173. Установка для автоматической сварки в контролируемой атмосфере (в момент установки детали перед сваркой).



Фиг. 174. Установка для автоматической сварки в контролируемой атмосфере.

83. Механические свойства сварных соединений*
(сварка в стык без присадки в камере с аргоном) [2], [5], [6]

Материал (отожженный)		Предел прочности σ_b в кг/мм ²	Минимальный радиус загиба	Относительное удлинение δ_b в %
Цирконий нидидный	Основной металл	34,0	2,5 s^1	34
	Сварное соединение	40,0	2,5 s	27
Сплав цирконий-олово (Sn = 1,5%)	Основной металл	48,0	2,5 s	25
	Сварное соединение	51,0	2,5 s	15
Сплав цирконий-ниобий (Nb = 2,5%)	Основной металл	40,0	2,5 s	22
	Сварное соединение	44,0	2,5 s	20
Тантал	Основной металл	40	—	30
	Сварное соединение	41	—	25
Ниобий	Основной металл	30,0	—	10
	Сварное соединение	27,0	—	—

¹ s — толщина металла

Сварка молибдена

Особенности сварки молибдена определяются его свойствами. Большая склонность к образованию при повышенных температурах окислов и нитридов, снижающих пластичность металла, предопределяет выбор метода сварки. Для образования сварного соединения методом расплавления металла могут быть рекомендованы два основных способа: сварка электронным лучем в глубоком вакууме (см. гл. XIII) и дуговая сварка в среде инертных газов, в аргоне или гелие.

При выборе технологии сварки листового молибдена основное внимание должно быть уделено обеспечению пластичности сварного соединения. Для рассмотрения причин, вызывающих хрупкость сварных соединений при комнатных температурах, необходимо проанализировать состояние материала в различных зонах сварного соединения, имеющих различную температуру и различную продолжительность нагрева в процессе сварки (табл. 84).

Нагрев оказывает большое влияние на пластичность. Наиболее опасными зонами нагрева являются зоны II и IV, где молибден нагревается до темпера-

84. Зоны нагрева при сварке плавлением [8]

Зоны	Температура нагрева в °C	Состояние материала
I	2622	Плавление
II	2100—2622	Образование эвтектики
III	1950—2100	Сфероидизация
IV	1250—1950	Рост зерна
V	950—1250	Рекристаллизация
VI	До 950	Снятие напряжений

тур, при которых хрупкость может развиваться в течение времени, исчисляемого секундами и даже долями секунды. Чтобы обеспечить пластичность сварного соединения, необходима пластичность металла в каждой зоне. На пластичность металла шва (зона I) влияет состав основного, а также присадочного материала, атмосфера, в которой происходит сварка, и техника сварки. На пластичность околосшовной зоны (II—IV) оказывает влияние состав и состояние основного металла, состав защитной атмосферы и изменение температуры нагрева.

Загрязнение металла шва кислородом, азотом и углеродом вызывает образование по границам зерен окислов, нитридов и карбидов, которые располагаются либо в виде сплошных пленок, что повышает хрупкость металла, либо прерывисто, в зависимости от содержания примесей в металле.

Примеси в металле шва кислорода до 0,0001% резко снижают пластичность. Источником загрязнения металла шва кислородом может являться недостаточно чистый аргон, например: при содержании кислорода в аргоне в количестве 0,02 и 0,1% содержание его в металле шва повышается с 0,0018% до 0,004% и до 0,008% соответственно.

При содержании азота в металле более 0,001% наблюдается повышение хрупкости при комнатной температуре. При содержании 0,1% азота в аргоне содержание его в сварном шве увеличивается с 0,002 до 0,055% [8].

Вследствие большой чувствительности молибдена к окружающей атмосфере при сварке, а также чрезвычайной склонности его к росту зерна при нагреве, для сварки молибдена следует рекомендовать защитные инертные газы, аргон или гелий, чистотой 99,98% и источник нагрева с высокой концентрацией тепла. Этим условиям в большей степени удовлетворяет автоматическая сварка вольфрамовым электродом постоянным током прямой полярности в камерах с контролируемой атмосферой. По литературным данным для сварки молибдена допускается применение ручных процессов дуговой сварки в среде инертных газов, а также сварка плавящимся электродом [4, 8].

Перед сваркой поверхность металла необходимо тщательно очистить от окисных пленок путем травления.

Для автоматической сварки в стык листового молибдена толщиной 1,5 мм ориентировочно можно рекомендовать следующий режим: постоянный ток 120 а, напряжение дуги 16—20 в, скорость сварки 18—20 м/час, диаметр вольфрамового электрода 3 мм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Миллер Г. Л., Цирконий, Изд-во иностранной литературы, 1956.
2. Днестровский Н. З., Померанцев С. М., Краткий справочник по обработке цветных металлов и сплавов, Изд-во литературы по черной и цветной металлургии, 1958.
3. Киселев А. А., Иванов О. С., Труды второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии, том 3, Атомиздат, 1959.
4. Justman and Rege, the Metallurgy of Zirconium, 1956.
5. Cox F. G., Zirconium, «Welding and Metal Fabrication», 1958, № 10.
6. «Welding and Metal Fabrication», 1957, № 11, p. 417.
7. Yntema F., Welding the Refractory Metals, Metal Progress», 1958, № 3.
8. Молибден, Сборник под редакцией А. Р. Натансона, 1959.

Сварка титана и его сплавов

Общие сведения о титане и его сплавах

Полиморфизм титана и хорошая растворимость в нем многих элементов позволяют получать на основе титана большое количество сплавов с разнообразной структурой и свойствами. Все легирующие добавки, применяемые для получения титановых сплавов, можно разделить на три группы: 1) элементы, стабилизирующие α -модификацию титана, называемые « α -стабилизаторами»; из металлов к числу « α -стабилизаторов» относятся алюминий; 2) элементы, стабилизирующие β -модификацию титана или « β -стабилизаторы» — железо, хром, марганец, молибден, ванадий и некоторые другие металлы; 3) элементы, мало влияющие на фазовый состав титановых сплавов, — олово, цирконий.

В СССР разработано довольно большое количество разнообразных по составу промышленных и опытных титановых сплавов. По структуре они могут быть разделены на три группы.

1. Сплавы с α -структурой, к которым относится технический титан ВТ1 и серийные титановые сплавы: ВТ5 (титан-алюминий) и ВТ5-1 (титан-алюминий-олово). Сплавы с α -структурой хорошо свариваются.

2. Сплавы со структурой $\alpha + \beta$. К этой группе относятся сплавы мартенситного типа, где β -фаза существует только при повышенных температурах, и двухфазные сплавы, где β -фаза может в определенных количествах сохраняться и при комнатной температуре.

Сплавы мартенситного типа содержат алюминий как преобладающую легирующую добавку и небольшое количество « β -стабилизатора». Например, серийные сплавы ОТ4-1, ОТ4 и ВТ4 содержат 1,5% марганца и соответственно 2; 3 и 5% алюминия, что позволяет получить предел прочности соответственно 60, 70 и 80 кг/мм². Эти сплавы хорошо свариваются. Благодаря появлению пластичной β -фазы при сравнительно невысоких температурах сплавы мартенситного типа более технологичны и лучше обрабатываются давлением, чем сплавы с α -структурой.

Сплавы ОТ4 и ОТ4-1 в настоящее время наиболее широко распространены как листовые материалы.

При дальнейшем увеличении содержания « β -стабилизаторов» получаются двухфазные сплавы, имеющие более высокую прочность, но сваривающиеся хуже, чем сплавы мартенситного типа или сплавы с α -структурой. Из серийных сплавов к группе двухфазных относятся сплавы ВТ3, ВТ3-1, ВТ6 и ВТ8, выпускаемые преимущественно в виде полуфабрикатов для объемной штамповки. Сплав ВТ6 выпускается также в виде листов.

Из перечисленных двухфазных сплавов только ВТ6 пригоден для сварных конструкций. Двухфазные сплавы могут упрочняться закалкой и старением.

3. Сплавы с β -структурой. К этой группе относятся титановые сплавы, легированные « β -стабилизаторами» в такой степени, что после закалки или даже после отжига их структура целиком состоит из β -фазы. Представителями этой группы сплавов являются опытные сплавы ВТ14 и ВТ15, особо рекомендуемые для проката листов. Сплавы с β -структурой являются весьма перспективными, так как сочетают хорошую технологическую пластичность с высокой прочностью и хорошей свариваемостью.

Наиболее изученной является сварка технического титана ВТ1, сплавов с α -структурой и сплавов мартенситного типа.

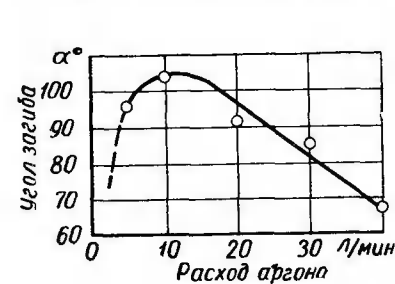
Способы сварки и защита от взаимодействия с атмосферными газами

Титан обладает высокой химической активностью, зависящей от температуры, — при высоких температурах он взаимодействует с атмосферными газами, загрязняется ими и становится хрупким. Поэтому при сварке плавлением, больше чем в каком-либо другом случае, необходимо соблюдение особых мер предосторожности для предупреждения загрязнения титана атмосферными газами. Для соединения титана нельзя применять газовую и атомно-водородную сварку

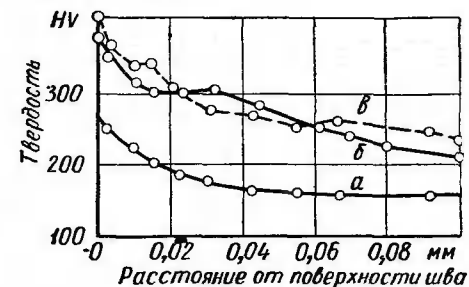
или сварку покрытыми электродами. Дуговая сварка титана выполняется в защитной среде инертных газов или под слоем специального флюса. При сварке титана в среде инертных газов защита, кроме зоны сварки, должна распространяться также на участки металла, нагреваемые в процессе сварки до температур выше 300—400°. Это требование одинаково относится к лицевой и обратной поверхности соединения, к участку остывающего шва за дугой и к присадочному материалу.

Если материал выбран правильно, то при условии надежной защиты можно получить качественные сварные соединения, обладающие достаточной прочностью и пластичностью.

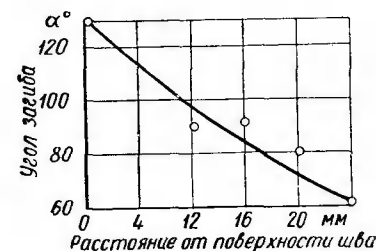
Эффективность защиты зависит от конструкции соединения, чистоты газа и его расхода, расстояния между соплом горелки и поверхностью изделия, от конструкции защитных устройств и от скорости сварки.



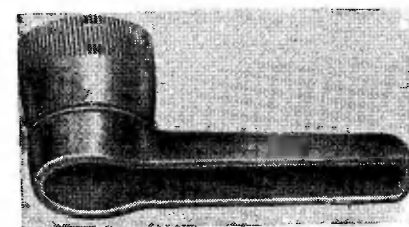
Фиг. 175. Влияние расхода аргона на угол загиба шва. Толщина листа 2 мм.



Фиг. 176. Влияние расстояния между соплом и поверхностью изделия на распределение твердости по сечению. Толщина листа 2 мм. Расстояние в мм: а — 4; б — 12; в — 20.



Фиг. 177. Влияние расстояния между соплом и поверхностью изделия на угол загиба шва. Толщина листа 2 мм.



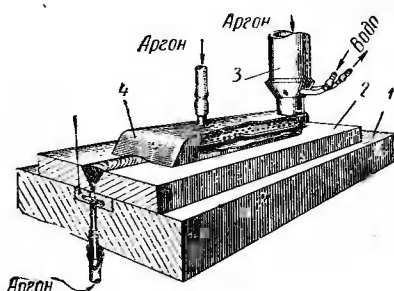
Фиг. 178. Удлиненное сопло.

О влиянии расхода газа можно судить по изменению угла загиба шва (фиг. 175), максимальные значения которого имеют место при оптимальном расходе газа (механизированная аргоно-дуговая сварка).

Увеличение расстояния между соплом горелки и поверхностью изделия ухудшает защиту, что приводит к повышению твердости шва (фиг. 176).

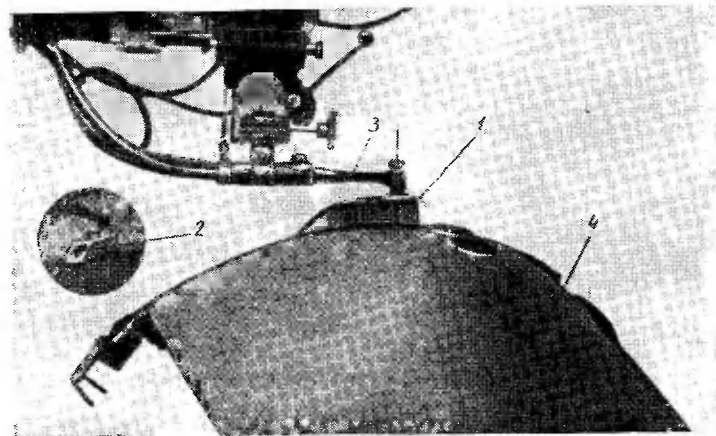
Характер кривых показывает, что газонасыщение шва имеет место главным образом у поверхности. Об ухудшении защиты с увеличением расстояния от сопла горелки до изделия также свидетельствует снижение пластичности шва при загибе (фиг. 177).

Защита металла в зоне сварки и еще не остывшего участка шва за дугой с лицевой стороны шва достигается применением горелок с увеличенными против обычных диаметрами сопел, удлиненных сопел (фиг. 178) и специальных приставок или колпаков (фиг. 179 и 180).



Фиг. 179. Схема защиты с применением приставки (прижимные приспособления не показаны): 1 — основание приспособления; 2 — свариваемые листы; 3 — сопло горелки; 4 — приставка; 5 — сменная подкладка с канавкой для поддува аргона.

Приведенные методы защиты удобно применять при автоматической сварке. При ручной сварке осуществление эффективных методов местной защиты затруднительно, особенно на деталях сложной конфигурации. Сварку таких деталей целесообразно выполнять в герметических камерах с контролируемой атмосферой.



Фиг. 180. Пример сварки под защитным колпаком: 1 — защитный колпак; 2 — смотровое стекло в защитном колпаке; 3 — сварочная горелка, шарнирно укрепленная на автомате; 4 — изделие.

Об эффективности защиты шва можно судить также по цвету его поверхности. Зеркальная или серебристая поверхность шва свидетельствует о весьма незначительном взаимодействии титана с воздухом.

Сильно окисленная поверхность шва имеет серый цвет с белым налетом. Взаимодействие титана с азотом сопровождается образованием на поверхности металла желто-коричневой нитридной пленки. Присутствие водорода в сварочной зоне приводит к потускнению шва.

В табл. 85 приведены углы загиба сварного соединения в зависимости от степени окисленности шва, характеризующейся цветом его поверхности.

О влиянии размеров сопел и приставок можно судить по изменению твердости (фиг. 181). Для защиты обратной стороны соединения газ подается в канавку стальной или медной подкладки (см. фиг. 179). При сварке емкостей и трубопроводов внутреннюю полость можно целиком заполнять газом. Плотной прилегающей металлической подкладкой (остающаяся или временная) также может в достаточной мере защитить обратную сторону шва от взаимодействия с воздухом. Для сокращения времени взаимодействия нагретого металла с воздухом можно усиливать теплоотвод с помощью массивных прижимов. Об эффективности различных способов защиты судят по их влиянию на пластичность шва (фиг. 182).

85. Зависимость углов загиба сварного соединения из технического титана от степени окисленности шва, характеризующейся цветом его поверхности

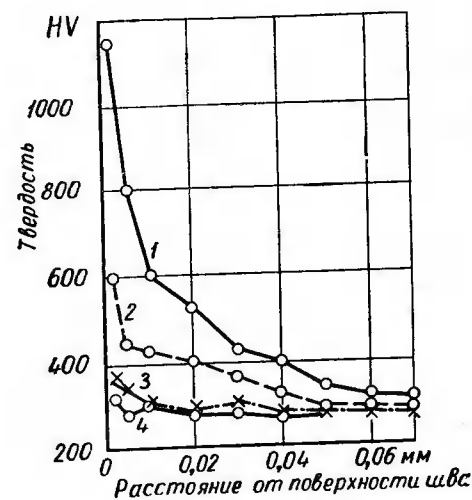
Цвет поверхности шва	Угол загиба в град.	
	поперек шва	вдоль шва
Серебристый	109	105
Светло-синий	106	—
Серый (шероховатая поверхность) . .	31	—
Фиолетовый	—	89
Вишневый	—	75
Фиолетово-зеленый	—	55
Серебристый	115 *	—
Светло-желтый	88 *	—
Темно-желтый	74 *	—
Светло-голубой	66 *	—
Темно-голубой	24 *	—
Серо-голубой	0 *	—

* По данным «Welding I», 1955, V. 34, № 5.

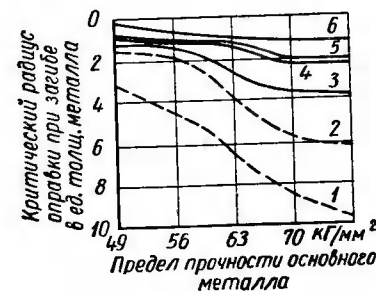
После удаления поверхностного слоя (например, травлением) угол загиба повышается.

Сварка титана в защитной среде инертных газов выполняется вольфрамовым электродом как вручную, так и механизированными способами. И в том и в другом случае ее можно осуществить с применением присадочного материала или без него. Сварку ведут постоянным током прямой полярности от стандартных источников тока.

Установлена возможность сварки титана в среде защитных газов плавящимся электродом, но процесс промышленного применения пока не имеет.



Фиг. 181. Влияние диаметра сопла горелки и длины приставки на распределение твердости по сечению шва (толщина листа 4 мм): 1 и 2 — диаметры сопла 8 и 25 мм соответственно; 3 — с приставкой длиной 100 мм, 4 — с приставками длиной 100 и 150 мм.



Фиг. 182. Влияние способов защиты на пластичность шва: 1 — обычная аргонно-дуговая сварка; 2 — сварка с поддувом аргона; 3 — сварка с поддувом соплом увеличенного размера; 4 — сварка с поддувом соплом увеличенного размера с охлаждением; 5 — сварка в герметической камере; 6 — основной металл.

Подготовка поверхности и сборка деталей

Листы титана и его сплавов, предназначенные для изготовления сварных конструкций, должны поступать в отожженном состоянии с травленной поверхностью. Наличие окалины и загрязненного газами слоя не допускается.

Подготовка деталей под сварку зависит от характера их предыдущей обработки. Если детали не подвергались до сварки нагреву или сильному наклепу, то в подготовку входит фрезерование кромок и промывка поверхности растворителями. Это относится к листовым заготовкам и деталям простой формы, изготовленным холодной штамповкой (лентам, крышкам люков, обшивкам с одинарной кривизной и т. п.).

Детали, изготовленные горячей штамповкой или детали сложной формы, изготовленные холодной штамповкой, должны подвергаться отжигу с последующим травлением. В дальнейшую подготовку входит фрезерование кромок и промывка деталей растворителями.

Для удаления слабого слоя окалины с поверхности деталей из сплавов типа ВТ1, ВТ5, ОТ4 производится травление в реактиве следующего состава:

HCl (уд. вес 1,19)	340-350 мл/л
HNO ₃ (уд. вес 1,40)	55-60 мл/л
NaF	50 г/л
Вода	Остальное до 1 л

Для удаления плотного слоя окалины необходимо предварительно разбить его (обдуть дробью), а затем произвести травление в кислотном реактиве указанного выше состава.

Сборка деталей должна осуществляться с минимальными зазорами.

Прихватку следует выполнять с соблюдением тех же требований в отношении защиты металла инертным газом, что и при сварке. Поверхность прихваток следует защищать стальной щеткой.

Типы соединений

Наиболее рациональным типом соединения является стыковое. Способы защиты его от воздуха наиболее просты и удобны. Механизированная сварка в стык без присадки характеризуется более благоприятными условиями защиты, так как швы в этом случае получаются более чистыми от примесей газов.

В табл. 86 приведены рекомендуемые основные типы соединений и области их применения. На фиг. 183—185 показаны схемы защиты этих соединений при механизированной или автоматической сварке.

Материалы

Для сварки титана и его сплавов следует применять только чистые газы — аргон или гелий. Для механизированной сварки желательно применять торированные вольфрамовые электроды марки ВТ15 по НИО-021-612. Из присадочных материалов наиболее распространенной является проволока из ВТ1 по АМТУ 449-59.

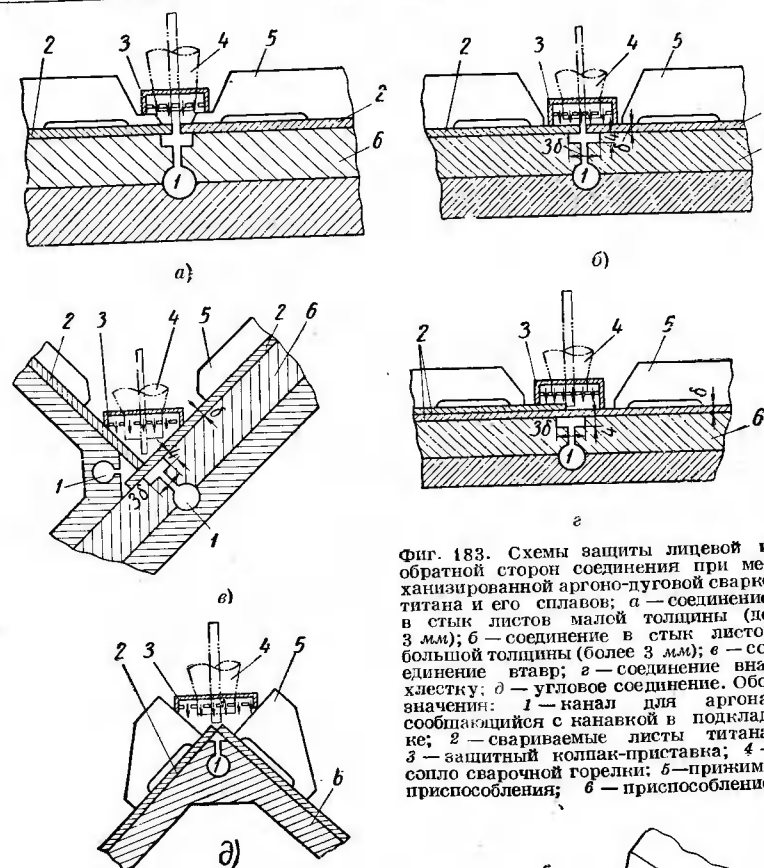
В зависимости от характера и условий работы изделий требования к применяемым материалам могут быть повышены. Например, для ручной сварки напряженных узлов необходимо применять только дегазированную присадочную проволоку с нижним пределом прочности.

Режимы сварки

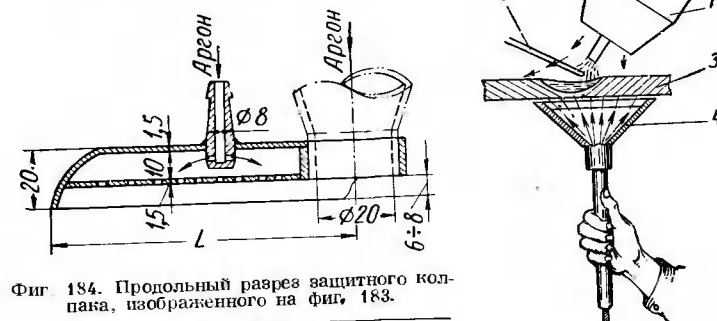
Удовлетворительно подобранным можно считать режим, обеспечивающий получение швов серебристого цвета, а также швов с поверхностью соломенного, голубого и светлого-синего оттенков.

При наличии цветов побежалости зачистка поверхностного слоя шва способствует повышению его пластических свойств.

В табл. 87—89 приведены ориентировочные режимы ручной и механизированной сварки титана и его сплавов.



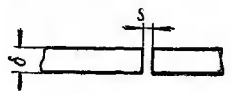
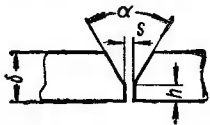
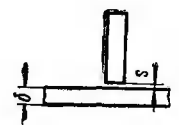
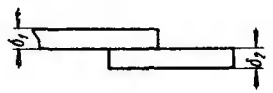
Фиг. 183. Схемы защиты лицевой и обратной сторон соединения при механизированной аргоно-дуговой сварке титана и его сплавов: а — соединение в стык листов малой толщины (до 3 мм); б — соединение в стык листов большой толщины (более 3 мм); в — соединение втавр; г — соединение внахлестку; д — угловое соединение. Обозначения: 1 — канал для аргона, сообщаящийся с канавкой в подкладке; 2 — свариваемые листы; 3 — защитный коппак-приставка; 4 — сопло сварочной горелки; 5 — принимаемое приспособление; 6 — приспособление.



Фиг. 184. Продольный разрез защитного колпачка, изображенного на фиг. 183.

Фиг. 185. Простейшая схема защиты обратной стороны шва при ручной аргоно-дуговой сварке (например, при необходимости заварки дефекта шва в готовой конструкции): 1 — сопло горелки; 2 — присадочная проволока; 3 — изделие; 4 — приспособление для защиты обратной стороны соединения.

86. Типы соединений и подготовка кромок при аргоно-дуговой сварке титана вольфрамовым электродом

Тип соединения и подготовка кромок	Толщина δ в мм	Способ сварки
В стык без скоса кромок 	До 3	Механизированная без присадки (s — до 0,15 мм) Ручная с присадкой (s — до 1,0 мм)
В стык с V-образной разделкой 	Свыше 3 до 10	Механизированная и ручная с присадкой ($\alpha = 60^\circ \div 90^\circ$; $h = 0,5 \div 2,5$ мм; s — до 1,5 мм)
Втавр 	1,5 и более	Ручная и механизированная сварка с присадкой (s — до 0,2 мм)
Внахлестку 	1,5 и более $\delta_1 < \delta_2$	Ручная и механизированная сварка с присадкой
Угловое 	1,0 и более	Ручная и механизированная сварка с присадкой $s = 0,2 \delta$

87. Ориентировочные режимы ручной аргоно-дуговой сварки титана и его сплавов

Толщина материала мм	Диаметр вольфрамо- вого электрода в мм	Диаметр присалочной проволоки в мм	Свароч- ный ток в а	Расход аргона в л/мин		Число проходов
				для защиты дуги	для защиты обратной стороны шва	
0,5	1,5	1,0—1,5	15—20	6—8	2—3	
0,8			30—50			
1,0	40—60					
1,2	50—60					
1,5	1,5—2,0		60—80	8—10	2—4	
1,8			70—100			
2,0			100—130	10—12		
2,5			120—160			
3,0	130—140					
4,0	140—150					
5,0	150—170					
6,0						2
7,0						2—3
10,0						2—4
				4—5		
				11—15		

88. Ориентировочные режимы механизированной аргоно-дуговой сварки неплавящимся (вольфрамовым) электродом без присадочного материала стыковых соединений титана и его сплавов

Толщина материала в мм	Диаметр вольфрамового электрода в мм	Сварочный ток в а	Скорость сварки в м/час	Установочная длина дуги в мм	Расход аргона в л/мин		
					для защиты дуги	для защиты остывающего шва 1	для защиты обратной стороны шва
0,8	1,5	40—80	20—40	1,0—1,2	6—8	3—5	2—3
1,0		65—100					
1,2	1,5—2,0	70—120	25—40				
1,5		70—140					
1,8		80—140					
2,0	2,0—2,5	100—150	1,2—1,5	6—9			
2,5		140—200					
3,0	2,5—3,0	180—200	25—30	1,5—2,0	7—10	5—7	3—4

¹ В зависимости от условий производства при сварке листов толщиной до 1,5 мм дополнительную подачу газа в приставку можно не применять.

89. Операция

1 В зависимости от условий производства при сварке листов толщиной до 1,5 мм дополнительную подачу газа в приставку можно не применять.

89. Ориентировочные режимы механизированной аргоно-дуговой сварки неплавящимся (вольфрамовым) электродом с подачей присадочного материала стыковых соединений титана и его сплавов

титана и его сплавов									
Толщина листов в мм	Диаметр вольфрамового электрода в мм	Диаметр присадочной проволоки в мм	Сварочный ток в а	Скорость сварки в м/час	Установочная длина дуги в мм	Расход аргона в л/мин			
						для защиты дуги	для защиты остывающего шва 1	для защиты обратной стороны	число проходов
1,0	1,5—2,0	1,5	80—120	25—40	1,5—1,7	5—8	3—5	2—3	1
1,2			100—140		1,7—2,0				
1,5			140—180						
2,0	2,0—2,5	1,5—2,0	180—200	25—28	2,0—2,2	7—10	5—7		
3,0	2,5—3,0		200—260	22—25					
4,0				15—20					
10,0									

¹ В зависимости от условий производства при сварке листов толщиной до 1,5 мм дополнительную подачу газа в приставку можно не применять.

1 В зависимости от условий производства при сварке листов толщиной до 1,5 мм дополнительную подачу газа в приставку можно не применять.

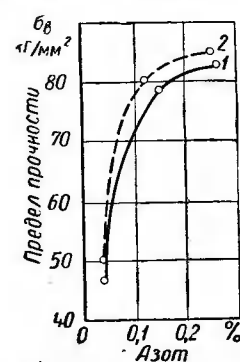
При ручной сварке диаметр сопла горелки следует выбирать в зависимости от толщины свариваемого материала. Так, например, для толщин до 1,5—2,0 мм диаметр сопла должен быть равен 12—15 мм, для больших толщин — до 20 мм.

Термическая обработка сварных деталей

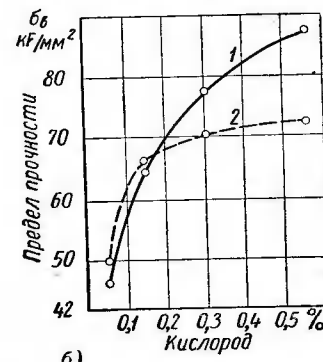
Термическая обработка сварных деталей из технического титана ВТ1 и сплавов титана с однофазной α -структурой обычно не требуется. В ряде случаев для снятия внутренних напряжений производится отжиг при температуре 550—650° с выдержкой 25—45 мин. в обычных печах сразу же после сварки. Охлаждение после отжига производится на воздухе.

Прочность сварных соединений

Механические свойства сварных соединений титана зависят не только от технологии сварки, но в значительной степени и от чистоты основного и присадочного материала. Примеси азота и кислорода в титане резко повышают проч.

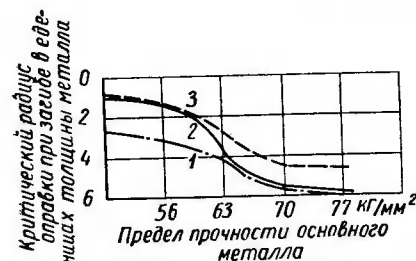


а)

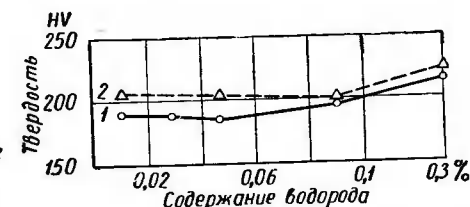


б)

Фиг. 186. Зависимость прочности сварного соединения из технического титана от содержания азота (а) и кислорода (б) в основном металле: 1 — основной металл; 2 — шов.



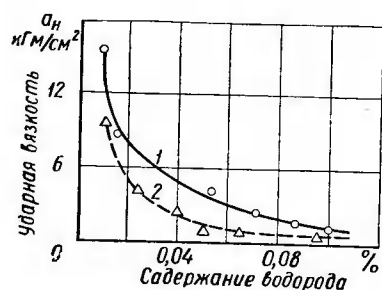
Фиг. 187. Зависимость пластичности шва от прочности основного металла и присадочной проволоки (технический титан). Швы выполнены: 1 — присадочной проволокой с $\sigma_{\text{в}} = 70$ кг/мм²; 2 — присадкой из основного металла; 3 — присадочной проволокой с $\sigma_{\text{в}} = 55$ кг/мм².



Фиг. 188. Влияние водорода на твердость основного металла (1) и шва (2). Механизированная аргоно-дуговая сварка без присадки. Технический титан ВТ1, лист толщиной 2,5 мм.

ность шва (фиг. 186). При снижении прочности основного металла и присадочной проволоки повышаются пластические свойства шва (фиг. 187). Водород не оказывает заметного влияния на твердость (фиг. 188), но снижает пластичность и особенно резко ударную вязкость (фиг. 189).

В серийных сплавах титана согласно техническим условиям примеси газов допускаются в следующих пределах: кислорода не более 0,15%, азота не более 0,04–0,05%, водорода не более 0,015%.

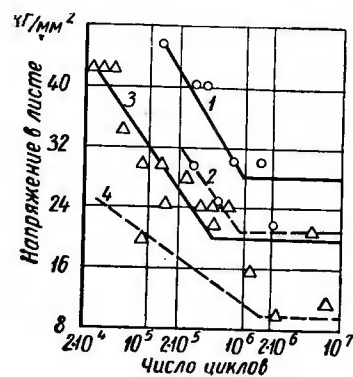


Фиг. 189. Влияние водорода на ударную вязкость основного металла (1) и шва (2). Механизированная аргоно-дуговая сварка без присадки. Технический титан ВТ1, лист толщиной 2,5 мм.

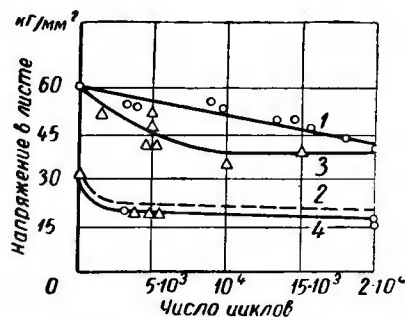


Фиг. 190. Зависимость статической прочности сварного соединения от температуры.

На фиг. 190 показана зависимость прочности от температуры для технического титана марки ВТ1 толщиной 1,5 мм и сварных соединений из него. Как видно из графика, прочность сварных соединений титана марки ВТ1, выполнен-



Фиг. 191. Кривые усталости от действия нагрузок высокой частоты (растяжение) 1 и 2 — основного материала, $t = 20$ и 350° соответственно; 3 и 4 — сварное соединение, $t = 20$ и 350° соответственно



Фиг. 192. Кривые усталости от действия нагрузок низкой частоты (растяжение): 1 и 2 — основного материала, $t = 20$ и 350° соответственно; 3 и 4 — сварное соединение, $t = 20$ и 350° соответственно

ных механизированной аргоно-дуговой сваркой без присадки, близка к прочности основного материала.

Относительная прочность сварных соединений технического титана марки ВТ1 толщиной 1,5 мм при циклических нагрузках приведена на фиг. 191–192.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горячев А. П., Егоров С. М., Фатиев И. С., Семенов В. А., Аргоно-дуговая сварка и пайка титана, Л. 1957.
2. Поляков Д. А., Влияние газонасыщения на свойства сварных соединений титана. АН СССР, Филиал ВИНТИ, тема 12 № М—57—345/25, М. 1957.
3. Поплавко М. В., Мануйлов Н. Н., Груздева Л. А., Сварка титана, Московский дом научно-технической пропаганды, М. 1958.
4. Третьяков Ф. Е., Опыт промышленного применения титана, «Сварочное производство» № 10, 1956.
5. Шоршоров М. Х. и Назаров С. Т., Сварка титана и его сплавов. Машгиз, 1959.
6. Эляшева М. А., Прочность сварных соединений из титана. Современные сплавы и их термообработка, Машгиз, 1958.
7. «Welding I.», 1956, p. 575, № 6.
8. «Welding I.», 1955, vol. 34, № 5.
9. «Welding I.», 1953, 32, p. 497, № 6.

ГЛАВА XI

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ РЕЗКА МЕТАЛЛОВ

Процессы удаления металла по заданной линии или объему посредством ослабления молекулярных связей с помощью электрического нагрева составляют совокупность способов электрической резки. Электрическая резка дополняет возможности кислородной резки и механического резания, позволяя эффективно обрабатывать различные металлы в разнообразных производственных условиях.

Электрическую резку используют для получения сквозной полости реза в металлическом теле или для удаления металла с поверхности тела.

Источником тепла при электрической резке служит, как правило, дуговой разряд. Наиболее простым является процесс дуговой электрической резки. Процессы, при которых для удаления металла используется совместное действие электрического нагрева и струи активного или инертного газа, относятся к газо-электрической резке.

Перспективна возможность плазменной резки. Особую ценность представляет возможность плазменной резки не только электропроводных, но и неэлектропроводных материалов, а также резки стали струей кислородной плазмы.

ДУГОВАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ РЕЗКА

Дуговой электрической резкой называется процесс образования полости реза в металле действием тепла электрического дугового разряда.

При разделительной резке конец электрода перемещают в полости реза от верхних кромок к нижним и обратно, направляя дугу на его лобовую стенку.

При поверхностной резке наклоненный под углом 5° — 20° электрод перемещают вдоль линии реза, частично погружая его конец в образующуюся полость.

Оба вида резки возможны во всех пространственных положениях. Нижние канавки выплавляются быстрыми движениями электрода. Состав аппаратуры: источник тока, электрододержатель (для сильных токов) и провода.

Применяют преимущественно стальные обмазанные, а также угольные или графитовые электроды. Первые позволяют питать дугу как постоянным, так и переменным током. Угольные и графитовые электроды требуют применения постоянного тока прямой полярности. Источники тока — стандартные, достаточной мощности.

В покрытие стальных электродов вводят компоненты, являющиеся активными окислителями или выделяющие большое количество газов. Чтобы получить твердый «козырек» на конце электрода, в обмазку добавляют керамику. Можно использовать электроды ЛИМ, ЭР (ЧТЗ), электроды с окислами железа в покрытии, также сварочные электроды ЦМ-7С, ОММ-5 и др. Интенсивность выплавления металла зависит от его физических свойств (для углеродистой стали, например, коэффициент выплавления 24 — 42 г/а·ч). Интенсивность расплавления электродов (коэффициент расплавления 6 — 18 г/а·ч) зависит от состава обмазки, объема выплавленного металла и других условий.

Интенсивность выплавления возрастает с увеличением тока.

При поверхностной резке диаметр электрода выбирают соответственно заданной ширине канавки. Широкие канавки выплавляют в вертикальном положении с поперечными колебаниями электрода. Глубину канавки регулируют ско-

ростью перемещения электрода. Глубокие канавки выплавляют за несколько проходов.

Скорость разделительной резки металла зависит от материала, диаметра электрода и от величины тока (табл. 1, 2, 3). При увеличении толщины металла скорость разделительной резки сильно падает. Для повышения производительности увеличивают ток и, соответственно, диаметр электрода. Последний определяет ширину реза (табл. 4).

1. Ориентировочные технологические данные по разделительной дуговой резке листового металла стальными электродами

Материал	Толщина в мм	Диаметр электрода в мм	Ток в а	Скорость резки в мм/мин
Малоуглеродистая сталь или чугун	6	4	300	300
	12			175
	25			62,5
	40			25
	50			10
	6	5	400	380
	12			225
	25			95
	40			40
	50			25
Нержавеющая сталь	6	4	225	315
	12			170
	25			90
	6	5	300	315
	12			190
	25			110
Медь	12	5	300	110

Возможна обработка углеродистой и легированных сталей, чугуна, меди и других металлов.

Качество разделительного реза, выполненного дугой, низкое. На нижних кромках образуются большие трудноудаляемые наплывы. Для уменьшения

2. Ориентировочные технологические данные по разделительной дуговой резке листовой стали и чугуна графитовыми электродами

Толщина материала в мм	Диаметр электрода в мм	Ток в а	Скорость резки в мм/мин
6	10	400	350
12			250
25	15	600	80
40			60
50			45
100			15

3. Ориентировочные технологические данные по разделительной дуговой резке круглой стали и чугуна

Диаметр прутка в мм	Вид электрода	Диаметр электрода в мм	Ток в а	Продолжительность одного реза в мин.
25	Графитовый	15	600	0,5
50				1,0
100				3,2
25	Стальной	6	400	0,2
35				0,4
50				0,65

4. Ширина реза, выполняемого стальным электродом

Диаметр стержня электрода в мм	4	5	6	8
Ширина реза в мм	6—8	8—9	9—12	12—16

наплывов изменяют точку подключения провода или наклоняют, обрабатываемое изделие не менее чем на 15° — 20° . Боковые поверхности реза покрываются пленкой оплавленного и частично окисленного металла. Перед последующей сваркой они требуют обязательной механической обработки. Производительность поверхностной резки зависит от величины тока и диаметра электрода (табл. 5). Качество поверхности канавки может быть получено удовлетворительным. В ответственных случаях возможна заварка канавки без механической обработки (после зачистки щеткой).

Дугой можно с успехом прокалывать отверстия в металле. Качество проколов удовлетворительное. Наплыв у входных кромок отверстия срубают.

Резку, как правило, выполняют вручную. Известны попытки механизации процесса с применением дуги, горячей под флюсом, однако качество реза при этом оставалось низким.

Области применения дуговой резки:

- 1) поверхностная и разделительная резка чугуна;
- 2) отрезка прибылей отливок из легированных сталей и цветных металлов;
- 3) подготовка глубоких земляных и шлаковых раковин, усадочных рыхлост и засоров на поверхности отливок для исправления дефектов сваркой;
- 4) небольшие объемы резки при электросварочных работах;
- 5) разделка металла на габаритный лом для шихты.

5. Ориентировочные технологические данные по поверхностной дуговой резке металлов

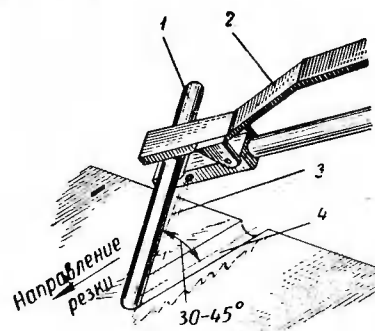
Материал	Диаметр электрода в мм	Ток в а	Количество металла в г, выплавленного на 1 а/мин	Материал	Диаметр электрода в мм	Ток в а	Количество металла в г, выплавленного на 1 а/мин
Малоуглеродистая сталь	4	250	0,3—0,5 *	Нержавеющая сталь	4	250	0,5
	5	350			5	300	
	6		0,4—0,6				
Чугун	4	250	0,75	Медь	4	250	0,1
	5	350	0,6		5	300	

* Первая цифра соответствует выплавке нижних канавок, вторая — наклонных или вертикальных.

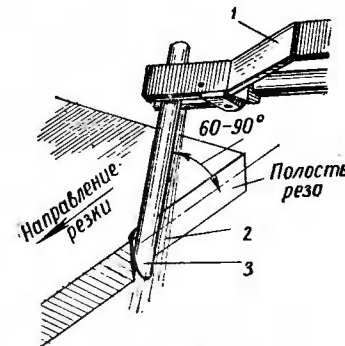
ВОЗДУШНО-ДУГОВАЯ РЕЗКА

Воздушно-дуговой резкой называется процесс образования полости реза в металле совместным действием тепла электрической дуги и потока сжатого воздуха.

Воздушно-дуговая резка служит преимущественно для поверхностной обработки, но может быть использована и как разделительная. При поверхностной резке (фиг. 1) закрепленный в резаче электрод (рабочий вылет 100—120 мм) направляют под углом 30° — 45° в точку начала реза и, сохраняя его положение, перемещают по линии реза, углубив конец электрода в образующуюся канавку. Пронесшийся вдоль электрода воздушный поток выбрасывает выплавливаемый металл вперед и частично в стороны. Вдоль кромок канавки может откладываться небольшое количество застывших шлаков, легко удаляемых по окончании резки. При разделительной резке (фиг. 2) электрод углубляют на всю толщину разрезаемого металла. Удерживая его под углом 60° — 90° и перемещая вдоль



Фиг. 1. Схема процесса поверхностной воздушно-дуговой резки (строжки): 1 — электрод; 2 — резак; 3 — воздушная струя; 4 — канавка.



Фиг. 2. Схема процесса разделительной воздушно-дуговой резки: 1 — резак; 2 — воздушная струя; 3 — электрод.

линии резки, получают сквозной разрез. При резке металла большой толщины конец электрода перемещают внутри полости реза пилообразно, от верхней кромки к нижней и наоборот. Продукты резки выдуваются сквозь образующуюся полость.

Воздушно-дуговая резка применима к углеродистым и легированным сталям, цветным металлам и чугуну. Обработка возможна во всех пространственных положениях.

Применяют преимущественно угольные или графитовые электроды. Наиболее пригодны электроды, изготовляемые из смеси графита с углем. Хорошо работают электроды, покрытые слоем меди. Они устойчиво сохраняют свой диаметр и медленнее расходуются.

Резающую дугу питают постоянным током. Ток должен соответствовать диаметру электрода (табл. 6). При обработке углеродистых и легированных сталей полярность обратная (плюс на электрод). Чугун обрабатывают дугой переменного тока при максимальных значениях тока, напряжения и ограниченном давлении воздуха. Поверхностную резку чугуна и цветных металлов можно выполнять металлическим электродом (табл. 7).

6. Рекомендуемые пределы тока при воздушно-дуговой резке угольно-графитовыми неомедненными электродами

Диаметр электрода в мм	Ток в а		
	Предел устойчивости дуги	Рекомендуемый режим	Верхний предел
4	75	100—150	190
6	120	250—280	320
8	160	350—380	400
10	240	450—480	500
12	350	550—580	600
14	450	650—680	700

¹ При минимальной скорости резки

7. Рекомендуемые пределы тока при воздушно-дуговой резке стальными электродами

Диаметр электрода в мм	Ток в а
3	130—160
4	200—250
5	250—300
6	300—350
8	400—450

Диаметр электрода выбирают соответственно заданной ширине канавки (табл. 8). Широкие канавки выплавливают, придавая концу электрода поперечные колебания или пользуясь пластинчатыми электродами. Глубину канавки регулируют крутизной наклона электрода и скоростью его перемещения. Глубокие канавки выплавливают за несколько проходов. При этом целесообразно при каждом последующем проходе пользоваться электродом меньшего диаметра.

При разделительной резке диаметр электрода определяет ширину реза, поэтому он должен быть минимальным. Однако для повышения производительности целесообразно производить резку электродами большего диаметра на повышенных токах (табл. 9). Разделительная резка углеродистой стали, как правило, не рекомендуется, так как по производительности, качеству реза и его ширине она уступает кислородной.

Целесообразной является резка легированных сталей толщиной до 20 мм; при этом по производительности воздушно-дуговая резка превосходит кислородно-флюсовую. Расходные характеристики воздушно-дуговой резки углеродистых и нержавеющей сталей, приведенные в табл. 10 и 11, являются ориентировочными (зависят от скорости резки).

Качество поверхности канавки при воздушно-дуговой резке удовлетворительное (фиг. 5). В большинстве случаев возможна заварка канавки без механической обработки (зачистка щеткой). Качество кромок разделительного реза ниже. Боковые поверхности реза неровные, покрытые пленкой оплавленного

8. Поверхностная воздушно-дуговая резка угольными электродами

(ориентировочные данные)

Диаметр электрода в мм	Ток в а	Ширина канавки в мм	Глубина канавки в мм	Скорость резки в мм/мин	
				углеродистой стали	стали 1X18H9T
6	270	8 7,5	11 10	300 500	400 600
8	370	12 11	14 11	300 500	400 600
10	500	14 12	14 12	300 500	400 600

9. Разделительная воздушно-дуговая резка нержавеющей стали 1X18H9T угольными электродами

(ориентировочные данные)

Толщина стали в мм	Диаметр электрода в мм	Ток в а	Ширина реза в мм	Скорость резки в мм/мин
5	6	250	7,5	700
	8	350	10	800
10	6	250	7,5	350
	8	350	10	400
15	8	350	10	300
	10	450	12	300
20	8	350	10	250
	10	450	12	270
25	8	350	12	150
	12	550	15	180

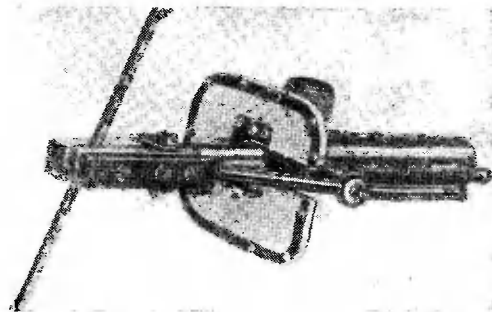
10. Расходные характеристики поверхностной воздушно-дуговой резки углеродистой стали угольными электродами

Диаметр электрода в мм	Ток в а	Интенсивность выплавления в кг/час	Часовой расход электрода в кг/час	Расход электрода на 1 кг выплавления мого металла в кг	Часовой расход электроэнергии в квт-ч	Расход энергии на 1 кг выплавления мого металла в квт-ч	Часовой расход воздуха в м³	Расход воздуха на 1 кг выплавления мого металла в м³
6	250	8,75	0,6	0,07	22	2,5	20	2,3
8	350	12,5	0,97	0,077	31			1,6
10	450	16,0	1	0,062	40	2,8		1,25
12	550	19,25		0,052	49			1

11. Расходные характеристики поверхностной воздушно-дуговой резки нержавеющей стали 1Х18Н9Т угольными электродами

Диаметр электрода в мм	Ток в а	Интенсивность выплавки в кг/час	Часовой расход электрода в кг/час	Расход электрода на 1 кг выплавляемого металла в кг	Часовой расход электроэнергии в кет-ч	Расход энергии на 1 кг выплавляемого металла в кет-ч	Часовой расход воздуха в м³	Расход воздуха на 1 кг выплавляемого металла в м³
6	250	12,3	0,6	0,059	22	1,8	20	1,6
8	350	17,1	0,97	0,057	31			1,2
10	450	22,0	1,0	0,045	40			0,9
12	550	27,0		0,037	49			0,75

металла. Перед последующей сваркой ответственных изделий рекомендуется механическая обработка. Возможно науглероживание металла на кромках, сопровождаемое повышением твердости. Для уменьшения науглероживания следует избегать возбуждения дуги без воздуха и не касаться электродом раскаленного металла. Не рекомендуется работать при слишком низких или слишком



Фиг. 3. Воздушно-дуговой резак РВД.



Фиг. 4. Схема соединения аппаратуры для воздушно-дуговой резки.

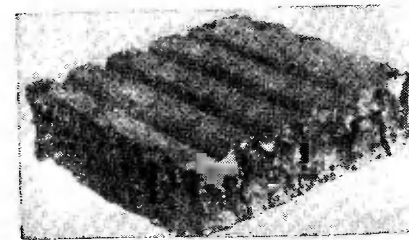
ком высоких значениях рабочего тока и скоростей, нельзя выплавлять слишком глубокие канавки. При последующей сварке науглероженная зона поглощается швом без заметного ухудшения его качества.

Воздушно-дуговую резку, как правило, выполняют вручную. Аппаратура состоит (фиг. 3 и 4) из воздушно-дугового резака, источника тока, источника воздуха и проводов. Воздушно-дуговой резак представляет собой электрододержатель с жесткой или поворотной головкой, оборудованный системой подвода воздуха. Держатель с жесткой головкой позволяет работать более мощной дугой. Держатель с поворотной головкой более удобен при обработке изделий сложной конфигурации.

В качестве источника тока рекомендуется использовать наиболее мощные сварочные генераторы с напряжением холостого хода 70—90 в и падающей внешней характеристикой. Источником воздуха может служить заводская воздушная сеть или отдельный компрессор производительностью 30—40 м³/час при давлении 6—7 кг/см².

Примерные области применения воздушно-дуговой резки:

- 1) разделка трещин, удаление дефектных участков сварных швов, зачистка корня шва и удаление прихваток на стальных изделиях;
- 2) разделка дефектных участков литья и прокатных заготовок, удаление избыточного металла;
- 3) отрезка прибылей и литников небольшого сечения;
- 4) заготовительная разделительная резка листовой легированной стали толщиной до 20 мм.



Фиг. 5. Вид канавок, полученных на нержавеющей стали воздушно-дуговой резкой.

Техническая характеристика воздушно-дугового резака РВД-1 с жесткой головкой

Максимальный рабочий ток в а	До 500
Часовой расход воздуха в м³	20
Номинальное давление в кг/см²	5
Диаметр электродов в мм	6—14
Вес резака в кг	775
Длина резака в мм	340

Технические характеристики передвижных поршневых компрессоров с воздушным охлаждением

Тип	0-16А	0-39А	0-38
Рабочее давление (наибольшее) в кг/см²	4,0	7,0	7,0
Производительность в м³/час	30,0	15,0	30,0
Мощность трехфазного электродвигателя (380/220 в) в кет	2,8	2,8	4,5
Емкость ресивера в л	22,0	24,5	22,0
Вес в кг	154	112	205
Габаритные размеры компрессора в мм:			
длина	1175	1200	1090
ширина	430	490	480
высота	840	900	910

РЕЗКА ПРОНИКАЮЩЕЙ ДУГОЙ

Резка проникающей (плазменной) дугой представляет собой процесс местного расплавления и удаления металла из полости реза теплом концентрированной дуги и струей дуговой плазмы.

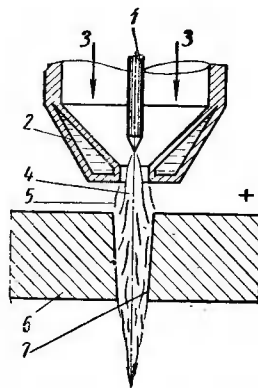
Схема процесса представлена на фиг. 6. Дуга возбуждается между разрезаемым металлом и неплавящимся вольфрамовым электродом, расположенным внутри электрически изолированного формирующего мундштука с выходным каналом малого диаметра.

Проникающие свойства дуга приобретает благодаря сжимающему действию потока газа. Высокая скорость истечения газа достигается за счет разогрева его до весьма высокой температуры при прохождении через выходной канал мундштука.

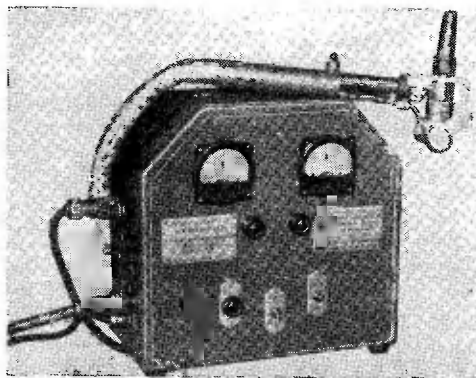
В результате сжимающего действия струи газа, истекающей с большой скоростью из узкого канала мундштука и отчасти вследствие охлаждающего

действия стенок мундштука и струи газа, напряжение на дуге повышается. Углубляясь в полость реза, дуга растягивается и напряжение ее еще более возрастает. Дальнейшее повышение напряжения дуги, а следовательно, и увеличение ее проникающей способности достигается добавкой к аргону двухатомных газов — водорода или азота. Наиболее эффективной является добавка водорода как наиболее легкого газа.

Увеличение тока при неизменном напряжении дуги сопровождается увеличением ширины реза. Для резки применяются резаки специальной конструкции. Очень важно соблюдение строгой соосности электрода и выходного канала формирующего мундштука. При нарушении соосности мундштук быстро



Фиг. 6. Принцип формирования проникающей дуги: 1 — электрод; 2 — наконечник; 3 — газ; 4 — металл; 5 — струя плазмы; 6 — металл; 7 — рез.



Фиг. 7. Установка УДР для ручной резки

выходит из строя вследствие эрозии под действием струи горячего газа; эффективность действия режущей дуги резко снижается.

Резка производится вручную или с помощью механизированных устройств и применяется для вырезки заготовок простых и сложных очертаний под сварку или дальнейшую механическую обработку.

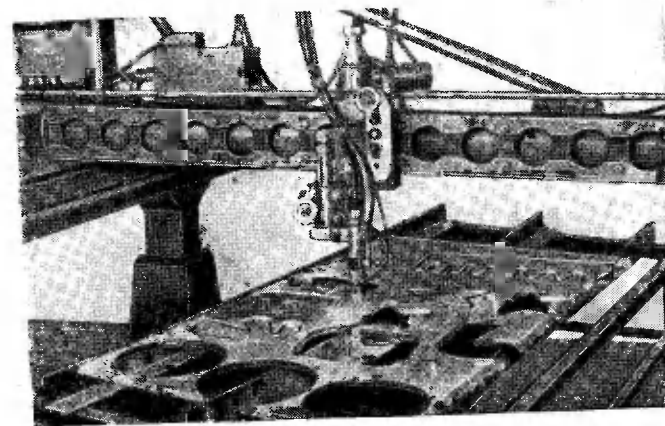
Наиболее эффективной следует считать проникающую дугу постоянного тока прямой полярности.

В качестве материала для электродов рекомендуется применять торированный вольфрам марки ВТ-15. Дуга переменного тока менее устойчива, и резка дугой переменного тока менее производительна.

При резке металла толщиной до 20—25 мм питание дуги может производиться от стандартных преобразователей или выпрямителей с напряжением холостого хода 90—95 в. При резке металла толщиной 25—70 мм и выше следует применять специальные источники постоянного или переменного тока с падающей внешней характеристикой (около 45°) и напряжением холостого хода около 200 в, обеспечивающие напряжение на дуге 80—100 в и более. При отсутствии их можно пользоваться стандартными преобразователями, выпрямителями или трансформаторами, соединяя их на совместную работу для повышения напряжения. Выбранный источник должен обеспечивать рабочие токи в пределах 300—500 а. Во внешнюю цепь источника переменного тока при компенсации составляющей постоянного тока следует включать батарею конденсаторов ЭС из расчета не более 3а рабочего тока на 1 мкф емкости батареи.

В комплект аппаратуры для резки, кроме источника тока, входят резательная установка (фиг. 7), устройства для подачи, регулирования и измерения расхода газов, устройства для подачи и слива охлаждающей воды, а также осциллятор для возбуждения дуги.

Резательные установки могут служить для ручной и механизированной резки прямолинейной или контурной, а также для специальных целей (труборезы, фланцерезы и т. п.). В состав установки наряду с резательным устройством входит аппаратура управления. Машины для резки проникающей дугой сходны с газорезательными (фиг. 8). Резаки снабжаются сменными соплами (табл. 12).



Фиг. 8. Копировальная машина СГУ с оснасткой ЭДР-1-60 для резки проникающей дугой

12. Характеристика сменных сопел для резки проникающей дугой

Диаметр выходного отверстия в мм	Назначение
3	Резка дугой постоянного тока I до 250 а
4	То же $I = 250 \div 400$ а
5	То же I больше 400 а, резка дугой переменного тока

Техническая характеристика копировальной машины СГУ с оснасткой ЭДР-1-60 для резки проникающей дугой

Габариты обрабатываемых листов в мм:

ширина	2000
длина	6000
Толщина листов в мм	5—50
Скорость резки в мм/мин	90—5000
Рабочий ток в а	250—400

Расход газов в м³/час:

азота	9,0
аргона	2,0
водорода	1,0
Количество газодуговых резаков	1
Система копирования	Магнитная

Габаритные размеры в мм:

длина	7630
ширина	4998
высота	2000
Вес станка в кг	1670

Комплектующее оборудование:

источник тока, осциллятор, источник газов с редукторами и ротаметрами

Техническая характеристика ручного резака РДМ-1-60 для резки проникающей дугой

Толщина разрезаемого металла в мм (при комплектровке одним ПС-500)	До 25
Максимальный рабочий ток в а	400
Максимальное напряжение в в	100
Вес резака в г	1000

Комплектующее оборудование:

источник тока (ПС-500 или аналогичный) — баллоны с газами и редукторами.

13. Режимы резки цветных металлов проникающей дугой постоянного тока в аргоно-водородной смеси

Вид резки	Ручная	Механизированная прямойлинейная
Состав газовой смеси в %:		
аргон	70—80	65
водород	20—30	35
Суммарный расход газов в м ³ /час	1,5—2	1,5—2
Рекомендуемая сила тока в а	300—350	350—400

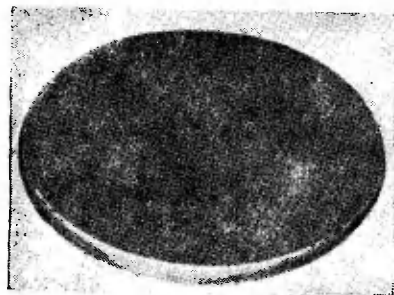
Проникающей дугой можно резать большинство цветных и черных металлов толщиной 50—70 мм и выше. Она может применяться при раскрое листов, вы-

резке плоскоконтурных деталей, отрезке прибалей и литниковых систем, при разрезке проката цветных металлов (алюминия, магния, меди, никеля, их сплавов) (фиг. 9).

При резке легированных сталей толщиной до 30—40 мм процесс рациональнее кислородно-флюсовой резки.

Для резки алюминия и его сплавов рекомендуется использовать смеси аргона с водородом. С увеличением содержания водорода в смеси повышаются скорость и качество реза. При механизированной резке можно пользоваться смесями, богатыми водородом (до 35—45%) (табл. 13 и 14). Для ручной резки и резки дугой переменного тока удобнее пользоваться обедненными газовыми смесями (25—27% водорода) (табл. 15 и 16). Указанные смеси могут быть использованы и при резке других цветных металлов.

Медь толщиной 30—40 мм рекомендуется резать в чистом водороде. Скорости резки меди и бронзы приведены в табл. 17.



Фиг. 9. Диск из алюминиевого сплава, вырезанный проникающей дугой.

14. Характеристики прямойлинейной резки алюминия проникающей дугой постоянного тока

Вид резки	Толщина листа в мм	Скорость резки в мм/мин	Расходные характеристики			
			аргона в л/м	водорода в л/м	электроэнергии в кет-ч/м	вольфрама в г/м
Ручная	6	2000	7,5	4	0,32	0,02
	10	1600	11	6	0,43	0,025
	15	1100	18	10	0,63	0,036
	20	700	31	17	1,06	0,057
	25	550	43,5	23,5	1,35	0,073
	30	500	50	26	1,59	0,080
	35	400	65	34	1,98	0,1
Механизированная прямойлинейная	6	7600	2	1,1	0,096	0,005
	10	4600	4	2,5	0,17	0,009
	15	3100	6,5	4	0,254	0,013
	20	2000	11	7	0,425	0,02
	25	1500	15,5	9,5	0,57	0,027
	30	800	31,5	19	1,14	0,05
	35	700	43	22,5	1,3	0,057
	40	600	58	28	1,65	0,067
	50	500	90	40	2,1	0,08
	60	450	118	63	2,5	0,09
	70	400	165	92	3	0,1

1 Расходные характеристики криволинейной резки изменяются соответственно скорости, которая ниже указанной на 30—40%.

15. Режимы резки алюминия проникающей дугой переменного тока

Параметры	Толщина металла в мм		
	4—8	8—16	16—24
Расход аргона в л/мин	15—20	20—27	27—29
Расход водорода в л/мин	6—7	7—9	9—12
Диаметр сопла в мм	5	5	5
Ток в а	220	220	220

16. Характеристика резки алюминия проникающей дугой переменного тока

Толщина листа в мм	Скорость резки в мм/мин	Расход газов на 1 м реза в л		Расход вольфрама в г/м
		аргона	водорода	
4	1750	8,5	3,5	0,06
8	1000	20	7	0,1
12	750	35	10,5	0,13
16	500	55	18	0,2
20	380	74	26,5	0,27
24	350	83	31,5	0,29

Нержавеющую сталь целесообразно резать в среде чистого азота. Для резки стали толщиной свыше 20 мм к азоту добавляют 50% водорода (табл. 18). Во избежание образования перекрывающих полость реза натеков на его нижних краях с ростом толщины разрезаемой стали расход газа следует уменьшать (табл. 19).

17. Скорость резки меди и бронзы проникающей дугой постоянного тока

Толщина листа в мм	Скорость резки в мм/мин	
	меди	бронзы
6	1800	3000
10	1400	1800
15	800	1200
20	500	800
25	300	500
30	200	400
40	100	250
50	—	200

18. Режимы резки нержавеющей стали 1X18H9T проникающей дугой постоянного тока

Параметры	Толщина стали в мм	
	4—20	20—50
Расход азота в л/час. . .	6000—1000	1000
Расход водо- рода в л/час	—	
Ток в а . . .	350—400	

19. Характеристики резки нержавеющей стали 1X18H9T проникающей дугой постоянного тока

Толщина листа в мм	Скорость резки в мм/мин	Расходные характеристики			
		азота в л/м	водорода в л/м	энергия кет-ч/м	вольфрама в г/м
4	4800	26	—	0,12	0,009
6	3500	28	—	0,17	0,012
10	1300	55	—	0,46	0,031
16	500	85	—	1,3	0,08
20	450	62	—	1,8	0,12
30	600	28	22	2,3	0,08

Качество реза, выполненного проникающей дугой, особенно с использованием механизированных устройств высокое. Окисленный металл на краях отсутствует. Оплавленная пленка на краях незначительна. Натеки на краях при правильно выбранных режимах практически не образуются. За исключением особо ответственных случаев, кромка реза дальнейшей обработке может не подвергаться.

КИСЛОРОДНО-ДУГОВАЯ РЕЗКА

Кислородно-дуговой резкой называется процесс образования полости реза в металле совместным действием тепла электрической дуги и струи кислорода.

Технологические особенности разновидностей процесса определяются использованием дуги прямого или косвенного действия и способом подачи кислорода (в центр зоны, нагреваемой дугой, или последовательно по отношению

к ней), а также родом электрода и конструкцией резательной аппаратуры. Практический интерес представляют способы резки трубчатым электродом и стальным стержневым электродом с комбинированным отдельным постоянным соплом.

Кислородно-дуговая резка трубчатым электродом основана на подаче режущего кислорода сквозь центральный канал стального обмазанного, угольного или керамического трубчатого электрода; используется преимущественно как разделительный процесс; осуществляется вручную; находит применение при водолазных работах (см. раздел о подводной сварке и резке), частично при резке легированных сталей и цветных металлов небольшой толщины, если невозможно применение других методов резки (табл. 20), а также в некоторых случаях резки напечных стальных элементов.

Для питания дуги пригоден как постоянный, так и переменный ток (для неметаллических электродов только постоянный). Источники тока — сварочные генераторы, выпрямители или трансформаторы с падающей вольтамперной характеристикой. Необходим также источник кислорода с регулирующим прибором. Резак обеспечивает крепление электрода, его электрический контакт в губках и герметичность присоединения канала электрода к кислородопроводу.

Дуга возбуждается кратковременным касанием металла электродом. Затем электроду придают наклон 75° — 80° к разрезаемой поверхности и по мере прорезания металла перемещают вдоль линии реза. Длину дуги поддерживают минимальной. Металлический электрод рекомендуется опирать во время резки о поверхность разрезаемого элемента козырьком из обмазки. При резке металла значительной толщины электрод вводят в полость реза и перемещают его пилообразно от верхней кромки к нижней. Резка возможна во всех пространственных положениях.

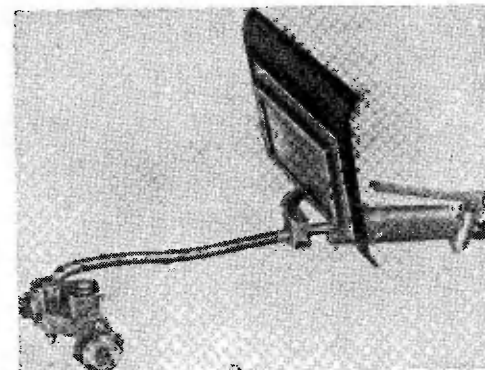
Способ резки стальным стержневым электродом с отдельным постоянным соплом может быть применен для разделения стальных элементов толщиной до 50 мм с ровной открытой поверхностью в условиях, препятствующих применению пламенно-кислородной резки.

Управление процессом ручное (используются обе руки резчика). Резак выполнен в виде снабженной защитным щитком кислородной приставки к обычному сварочному электрододержателю (фиг. 10). Во время резки резак располагают в левой руке. Правой рукой управляют электродом, конец которого пропускают через отверстие в направляющей втулке резака.

По возбуждении дуги нажатием на ручку кислородного клапана пускают режущий кислород и производят равномерное перемещение резака вдоль наметенной линии реза в направлении «на себя» так, чтобы режущее сопло следовало за электродом.

Для резки используют комплект нормальной электросварочной аппаратуры постоянного или переменного тока, включая электрододержатель любой конструкции. Состав обмазки электродов и качество проволоки существенного значения не имеют.

Лучшее качество реза достигается при подаче режущей струи не в центр расплавленной дугой ванны, а в прилегающую к ней зону с температурами начала реакции. В этом случае кромки, полученные кислородно-дуговой резкой, близки по качеству к выполненным ацетилено-кислородной резкой. Скорости ацетилено-кислородной и кислородно-дуговой резки и расход кислорода практически одинаковы (табл. 21), однако первый процесс более устойчив.



Фиг. 10. Резак РГП-1-56.

20. Ориентировочные данные о кислородно-дуговой резке стальным трубчатым электродом

Металлы	Толщина в мм	Диаметр электрода в мм		Ток в а	Давление кислорода в кг/см ²	Скорость резки мм/мин	Расход кисло- рода в л/м
		нару- жный	внут- рен- ний				
Малоуглеро- дистая сталь	5	5	1	110	3,5	850	45
	10		1,5		5,5	920	60
	20				6,5	620	115
	40		2		140	6	380
	100	7	3	430	7	220	1600
	Хромонике- левая сталь	3	5	1	210	1,5	870
10		320			2,5	450	180
20 *		220				200	400
40 *						70	800
100 *		7	2	300	3,5	45	1400
Бронза, латунь		3	5	1	210	2,5	800
	10	320			3	350	200
	20 *	300			2	100	250
	40 *					50	500
	100 *	7	2	480	0,8	20	1300
	Медь	5	5	1	300	3	550
10		7	2	500	250		325
20 *				660	3,5	150	1200

* Резка осуществляется пилообразными движениями электрода.

* Резка осуществляется пилообразными движениями электрода.

21. Режимы резки малоуглеродистой стали резакон РГД-1

Толщина стали в мм	Диаметр электрода в мм	Ток в а	Диаметр сопла в мм	Давление кислорода в кг/см ²	Скорость резки в мм/мин
13	5	180	1,4	5	500
25		240	1,6	6	400
35					300
50		260	2,3		200

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев К. В. и Шапиро И. С., Дуговая электрическая резка металлов, Трудрезервиздат, М. 1958.
2. Васильев К. В. и Шапиро И. С., Воздушно-дуговая резка металлов, «Сварочное производство» № 2, 1957.
3. Васильев К. В., О некоторых свойствах проникающей режущей дуги. Труды Всесоюзного научно-исследовательского института автогенной обработки металлов, вып. VII, Машгиз, М. 1960.
4. Васильев К. В., Подводная резка и сварка металлов, изд. «Морской транспорт», М. 1955.
5. Васильев К. В., Исаченко А. А., О нагреве плазмой в сварочных процессах, «Сварочное производство» № 9, 1959.
6. Кернер М. С., Газоэлектрическая резка нержавеющей стали и алюминиевых сплавов, Ленинградский дом научно-технической пропаганды, Л. 1960.
7. Кулагин И. Д., Николаев А. В., Дуговая плазменная струя как источник теплоты при обработке материалов, «Сварочное производство» № 9, 1959.
8. Маслов Ю. А., Воздушно-электродуговая резка металлов, Машгиз, Свердловск, 1957.
9. Саханович В. С., Электродуговая выплавка и резка в сталелитейном производстве. Челябинск, книжн. издательство, 1956.
10. Cresswell R. A., Development of the Tungsten arc Cutting Process, «British Welding Journal», № 8, 1958.

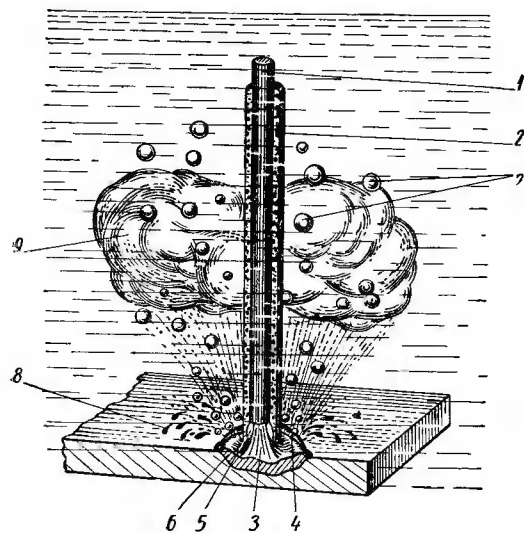
ГЛАВА XII

СВАРКА И РЕЗКА МЕТАЛЛОВ ПОД ВОДОЙ

СВАРКА ПОД ВОДОЙ

До настоящего времени удалось практически осуществить под водой лишь дуговую электросварку.

В жидких средах, в том числе и в воде, сравнительно легко может быть получен достаточно устойчивый дуговой разряд. Активные части дугового разряда, столб и электродные пятна не соприкасаются непосредственно с жидкостью. Дуговой разряд, развивающий высокую температуру и имеющий большую удельную тепловую мощность, испаряет и разлагает окружающую жидкость; образующиеся пары и газы создают вокруг дуги непрерывно возобновляемый газовый пузырь, в котором и протекает разряд, так что в сущности дуга горит в газовой среде. Газ состоит преимущественно из водорода, получающегося при термической диссоциации водяного пара; освобождающийся кислород окисляет материал электродов. Пары металла и компонентов покрытия, соприкасаясь с водной средой, конденсируются в мельчайшие частицы, состоящие преимущественно из окислов железа и образующие в воде коллоидальный раствор темно-бурого цвета, не отстаивающийся и не осветляющийся много часов (фиг. 1).



Фиг. 1. Схема подводной сварочной дуги: 1 — стержень; 2 — покрытие; 3 — дуга; 4 — газовый пузырь; 5 — козырек; 6 — сварочная ванна; 7 — пузырьки газа; 8 — брызги металла и шлака; 9 — облачко дыма.

Устойчивая сварочная дуга при питании от обычных источников сварочного тока может быть получена как при угольном, так и при плавящемся металлическом электроде, например, стальном. Но подводная сварка угольным электродом пока не находит заметного применения и обычно выполняется стальным электродом.

Возможность подводной электросварки основывается на способности дуги к автоматическому саморегулированию ее энергетического состояния. Если усилить охлаждение какой-либо части дугового разряда, например поверхности

электродного пятна, то в охлаждаемой зоне автоматически усиливается выделение энергии, выражающееся в увеличении падения напряжения на охлаждаемом участке, и охлаждение компенсируется возросшим выделением тепла. Поэтому дуга под водой плавит металл почти также интенсивно, как и на воздухе, несмотря на интенсивное его охлаждение окружающей средой.

Основным условием подводной сварки плавящимся металлическим электродом является применение электродов с достаточно толстым водонепроницаемым покрытием. Покрытие электрода, охлаждаемое снаружи водой, всегда плавится медленнее металлического стержня и образует на конце электрода «козырек», выступающий вперед в форме небольшой чашечки. Козырек способствует устойчивому существованию газового пузыря и горению дуги. Водонепроницаемость покрытия отрицательно влияет на устойчивость дуги; при значительной водонепроницаемости покрытия вода, испаряющаяся у горячей поверхности электродного стержня, разрушает покрытие и срывает его кусками со стержня. Отсыревшее покрытие становится электропроводным; сквозь него со стержня в окружающую воду проходит ток и начинается ее разлагать; водород, бурно выделяющийся на поверхности электродного стержня, срывает покрытие и приводит электрод в полную негодность.

Особенно интенсивно электролиз проходит в морской воде вследствие ее высокой электропроводности; поэтому к электродам для сварки в морской воде предъявляются особенно высокие требования в отношении водонепроницаемости покрытия.

Водонепроницаемость достигается пропиткой покрытия различными составами. Наиболее старым способом является пропитка парафином. Просушенные электроды помещают в ванну с расплавленным парафином и проваривают в ней при температуре 120—130° С в течение 30 мин. затем вынимают из ванны и охлаждают на воздухе в вертикальном положении.

При охлаждении и затвердевании парафин дает значительную усадку, и в покрытии образуются поры, нарушающие водонепроницаемость. Поэтому после охлаждения электроды еще раз опускают в расплавленный парафин в вертикальном положении и быстро вынимают. Таким образом, на поверхности покрытия создается парафиновая пленка, закупоривающая поры.

Для пропитки применяется лучший твердый белый парафин. Расход парафина 40—50 кг на тонну электродов.

Парафиновая пропитка дает весьма посредственные результаты и допустима лишь при работах в пресной воде. Для работ как в пресной, так и в морской воде вполне надежной является пропитка раствором целлулоида в ацетоне. Целлулоид (например, смывная фото- или киноплёнка) нарезается небольшими кусочками или полосками и растворяется в ацетоне (80—90 г на 1 л ацетона). Электроды обмакиваются в полученный раствор, подсушиваются на воздухе и вторично обмакиваются. На пропитку тонны электродов расходуется 3 кг целлулоида и 35—40 л ацетона. Целлулоид, ацетон и заготовленный раствор легко воспламеняются; поэтому в помещении, где производится заготовка состава и пропитка электродов, строго запрещается открытый огонь и курение, запрещается держать могущие искрить электрические аппараты, выключатели и т. п. Целлулоидная пропитка удовлетворяет всем требованиям и пригодна для длительного хранения электродов.

Хорошие результаты дают нитролаки, глифталевые лаки, кузбасслак, раствор битума в бензине и т. п.

В качестве покрытия довольно часто применяется простейший состав из смеси железного сурика и мела. Обычно сухая смесь содержит 80% железного сурика и 20% мела; к ней добавляется 30% жидкого натрового стекла (плотностью 1,4 при нанесении покрытия окунаем).

Применяется также состав из сухой смеси титанового концентрата (50%) и полевого шпата (ортотлаз) — (50%) и более сложные составы с содержанием ферросплавов, (ферромарганца и ферросилиция), несколько улучшающих состав и механические свойства наплавленного металла.

Электродная проволока выбирается обычно по ГОСТу 2246-60: обыкновенная — марки Св-08, специальная — марки Св-08ГС; целесообразно также применение специальной проволоки из стали марки 10 по ГОСТу 1050-60. Толщина

покрытия 0,20—0,25 диаметра электродного стержня. При отсутствии специальных электродов можно пользоваться обыкновенными качественными электродами с толстым покрытием, предназначенными для работ на воздухе. Такие электроды после тщательной просушки должны быть пропитаны одним из водонепроницаемых составов, указанных выше.

Диаметр электрода 4—5 мм; для верхних слоев многослойных швов и наплавочных работ — 6 мм.

Большое значение имеет тщательная изоляция по возможности всей поверхности держателя электродов. При нарушениях изоляции утечка тока в морской воде может достигать нескольких десятков ампер, что снижает устойчивость дуги и вызывает разрушения металлических частей электролизом.

Одна из конструкций держателя для подводной сварки показана на фиг. 2. Концы электродов, вставленные в держатель, зажимаются пружинным устройством; металлические части хорошо изолированы.

Сварка под водой возможна во всех положениях: нижнем, вертикальном и потолочном, как в пресной, так и в морской воде, на всех достижимых глубинах, ограничиваемых лишь несовершенством водозлазного снаряжения и возможностями человеческого организма. С увеличением глубины и давления окружающей среды температура и расплавляющее действие сварочной дуги возрастают.

Сварочный ток берется несколько больший, чем для работ на воздухе. — от 50 до 60 а на 1 мм диаметра электрода; для вертикальной и потолочной сварки — меньше, чем для нижней.

Напряжение дуги под водой на глубинах до 20 м на 5—6 в больше, чем на воздухе. С увеличением глубины напряжения возрастают.

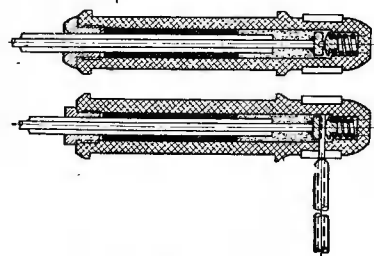
В подводных работах наиболее применим угловой (валиковый) шов, образующий нахлесточное и тавровое соединения; кромки такого шва служат удобными направляющими для перемещения электрода.

Латки, накладки, проушины и т. п., широко применяемые в подводных работах, привариваются, как правило, внахлестку. Сварка обычно выполняется «опертым электродом». При перемещении электрода по линии сварки выступающий край «козырька» на его конце должен касаться поверхности металла. Электрод перемещается по линии сварки без боковых колебаний; скорость перемещения должна обеспечивать необходимое сечение наплавленного металла.

Сварка без опиранья электрода в подводных работах применяется редко из-за плохой видимости и трудности поддержания постоянной длины дуги.

Наплавленный металл при подводной сварке имеет удовлетворительный химический состав, мелкозернистую структуру и удовлетворительные механические свойства; отличается очень малым содержанием азота и значительным — водорода; зона влияния сужена. Пределы прочности и текучести высоки, составляя соответственно 40—55 и 30—40 кг/мм², относительное удлинение 3—12%. Сварные швы чаще, чем при сварке на воздухе, имеют крупные дефекты, объясняемые неудобством работы сварщика. Коэффициент наплавки в разных случаях колеблется от 6 до 9 г/а-ч.

Производительность сварки колеблется в самых широких пределах и находится в тесной зависимости от глубины, скорости течения, прозрачности воды, от положения объекта сварки и т. п.



Фиг. 2. Пружинный электрододержатель для подводной сварки.

1. Зависимость сварочного тока от диаметра электрода

Диаметр электрода в мм	Сварочный ток в а
4	180—220
5	240—300
6	300—380

Норма времени для работ на глубине не свыше 10 м при отсутствии течения и удовлетворительной прозрачности воды ориентировочно может быть увеличена в 2—3 раза по сравнению с нормами, установленными для работ на воздухе.

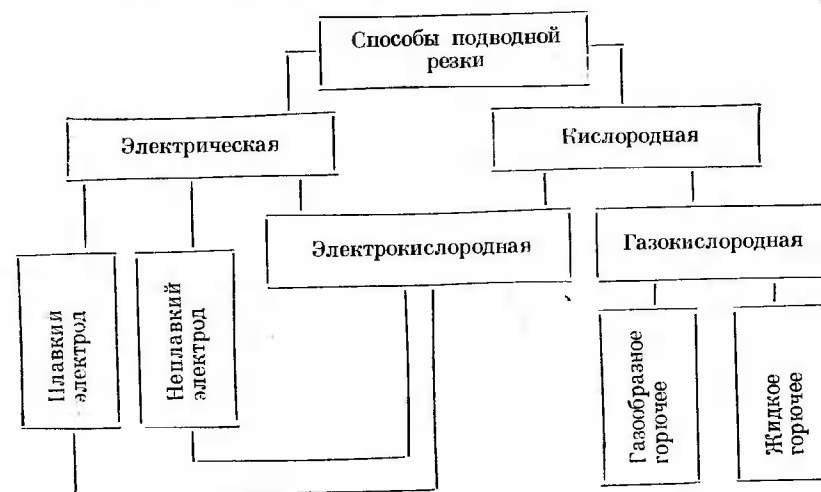
Из всех сталей наиболее удовлетворительно и чаще всего под водой свариваются малоуглеродистые стали; имеются положительные результаты сварки некоторых низколегированных сталей, но вообще сварка под водой закаляющихся конструкционных сталей встречает трудности из-за получения слишком твердого и хрупкого металла в зоне сварки вследствие интенсивного охлаждения водой.

Важнейшей проблемой подводной сварки является механизация и автоматизация процесса с целью облегчения тяжелого труда водолаза-сварщика и сокращения времени пребывания его под водой.

В лабораторных условиях удовлетворительные результаты дает сварка лежачим электродом. Хороших результатов следует ожидать от применения подводных планговых дуговых полуавтоматов с защитным газом, в качестве которого может быть использован аргон или углекислый газ.

РЕЗКА ПОД ВОДОЙ

Способы подводной резки очень разнообразны, и выбор наиболее оптимального из них зависит от особенностей данной работы. Классификация и взаимная связь способов резки под водой схематически показаны на фиг. 3.



Фиг. 3. Классификация способов подводной резки.

При подводной огневой резке используется как тепловое воздействие источника тепла, расплавляющее металл, так и химическое воздействие кислорода окисляющего и сжигающего металл.

Электрическая дуговая резка

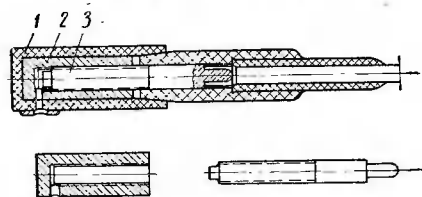
Электрическая дуговая резка отличается от дуговой сварки повышенными значениями силы тока и приемами выполнения работы.

Стальные электроды, применяемые при резке, могут изготавливаться из торговой малоуглеродистой стальной проволоки — диаметром от 5 до 8 мм; длина электродов 500—700 мм. Для покрытия применяются дешевые материалы, на-

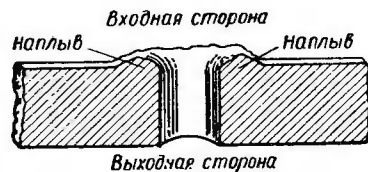
пример смесь железного сурика и мела. Достаточно хорошие результаты дает покрытие, сухая смесь которого состоит из 56% железной окалины, 38% мела и 6% портландского цемента по весу. К сухой смеси добавляется водный раствор жидкого стекла. Толщина покрытия 25—30% диаметра стержня. После нанесения покрытия электроды прокаливаются при температуре до 300° С и затем пропитываются водопроницаемым составом.

Покрытие электрода для резки должно иметь достаточную механическую прочность, позволяющую резчику шуровать полость реза концом электрода и удалять расплавленный и разогретый металл, выскабливая его козырьком покрытия.

Держатели электродов для резки сходны с держателями для сварки, отличающиеся несколько увеличенными размерами и более мощными зажимами для электродов. Одна из конструкций держателя для работ в пресной и морской воде показана на фиг. 4. В держателе легко достигается хорошая изоляция от утечки



Фиг. 4. Электрододержатель для подводной резки: 1 — наружный цилиндр из изолирующего материала; 2 — металлическая втулка; 3 — палец



Фиг. 5. Прокол металла стальным электродом.

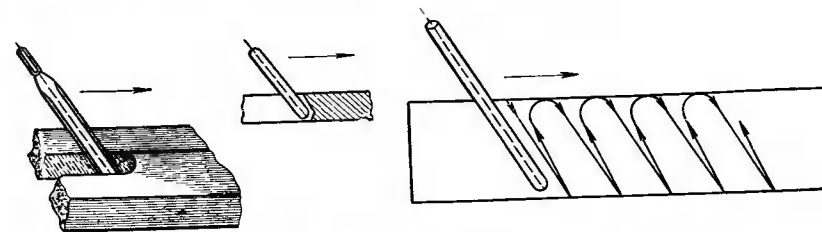
тока в воду. В наружном цилиндре 1, изготовленном из изолирующего материала, имеется отверстие для вставки контактного конца электрода. При поворачивании цилиндра 1, скрепленного с металлической втулкой 2, наворачивающейся на резьбу пальца 3, электрод прочно зажимается между торцом пальца 3 и дном втулки 2.

Токи для резки берутся не менее 500 а, для значительных толщин — до 800—1000 а. Интенсивное охлаждение водой позволяет нагружать электрод диаметром 6 мм без перегрева током до 1000 а. Увеличение силы тока резко повышает скорость процесса, но одновременно повышается и скорость сгорания электрода. В условиях подводных работ время, необходимое на смену электрода и новое зажигание дуги, не менее времени сгорания электрода; поэтому общая производительность резки с повышением тока может даже уменьшиться. В зависимости от местных условий, квалификации резчика и конструкции держателя электродов для каждого диаметра электрода опытным путем находят оптимальную силу тока, соответствующую максимальной производительности резки.

Резка выполняется или прокалыванием — прожиганием ряда отверстий или непрерывным перемещением электрода. При прокалывании отверстия электрод держат нормально к поверхности металла и слегка прижимают к ней. Защищенный козырьком обмазки конец электрода постепенно углубляется в ванну, расплавленный металл выбрасывается наружу и в изделии образуется сквозной прокол с гладкими стенками (фиг. 5).

У входного отверстия образуется валик выплавленного металла; выходная поверхность обычно совершенно чистая. При плохой видимости иногда производят резку рядом проколов и выжиганием переемычек между ними.

Более совершенна и производительна непрерывная резка (фиг. 6). Она начинается с края разрезаемого элемента или с прокола и производится пилообразными движениями конца электрода при непрерывном горении дуги. При непрерывной резке электрод наклоняют назад и концом его несколько надавливают на металл. Основное режущее движение вперед производится медленно, возвратное — быстро. Резать можно все металлы (черные и цветные) любого профиля, а также шпунтовые стенки, пакеты (даже при зазорах между листами)



Фиг. 6. Непрерывная дуговая резка.

и т. п. Примерные режимы резки стали электродом диаметром 6—7 мм и длиной 400—500 мм даны в табл. 2.

2. Режимы резки стали электродом диаметром 6—7 мм и длиной 400—500 мм

Толщина стали в мм	Ток в а	Производительность резки в м/час	Расход электродов на 1 м реза
5	500	10	3
10	600	4	7
15	600	1,7	15
20	700	0,7	40
30	800	0,3	80

Из таблицы видно, что с увеличением толщины металла производительность резки быстро падает, а расход электродов на 1 м реза растет. Поэтому для резки металла толщиной свыше 20—30 мм этот способ обычно не применяют, тем более что качество реза при этом довольно низкое, края неровные, с натеками.

Газокислородная резка

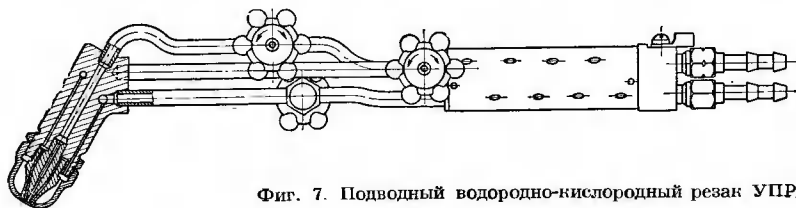
Процесс кислородной резки основан на сжигании металла струей кислорода с выдуванием расплавленных окислов и металла из полости реза. Необходимый подогрев металла производится газообразным или жидким горючим. Вся установка может быть сделана портативной и удобной для перевозки, что имеет существенное значение для аварийно-спасательных работ.

Газокислородная резка возможна при условии защиты подогревательного пламени и нагреваемого участка поверхности металла от попадания воды. Эта защита осуществляется созданием непрерывно возобновляемого газового пузыря вокруг подогревательного пламени. Устойчивость пузыря обеспечивается конструкцией наконечника подводного резака и непрерывной подачей защитного газа, в качестве которого может быть использован дополнительно подаваемый воздух или кислород. Возможно также создание газового пузыря и продуктами сгорания подогревательного пламени. Водяной пар, образующийся при сгорании водорода и конденсирующийся на стенках газового пузыря, защиты не обеспечивает. Остальные газы CO, CO₂, кислород, воздух, азот не конденсируются и поэтому пригодны для создания газового пузыря и защиты подогревающего пламени.

Интенсивное охлаждение металла водной средой требует мощного подогревательного пламени в подводных резаках; тепловая мощность его в 10—15 раз больше чем при аналогичных работах на воздухе, и мало зависит от толщины разрезаемого металла. Для подогревающего пламени могут быть использованы различные газы.

Ацетилен в Советском Союзе для подводной резки не применяется вследствие его склонности к взрывчатому самораспаду с увеличением давления.

Водород в подводных работах дает весьма чистую поверхность реза, допускает работу на глубинах до 40 м, сравнительно безопасен. Но водородное пламя не имеет ярко очерченного ядра, что затрудняет регулирование подогревающего пламени. Кроме того, малый объемный вес (1 м^3 водорода при 1 ат и 20°С весит всего $0,084 \text{ кг}$) заставляет транспортировать большое количество водородных баллонов; производительность резки на водороде ниже, чем на других горючих. Поэтому применение водорода в подводной резке значительно сокращено.



Фиг. 7. Подводный водородно-кислородный резак УПР.

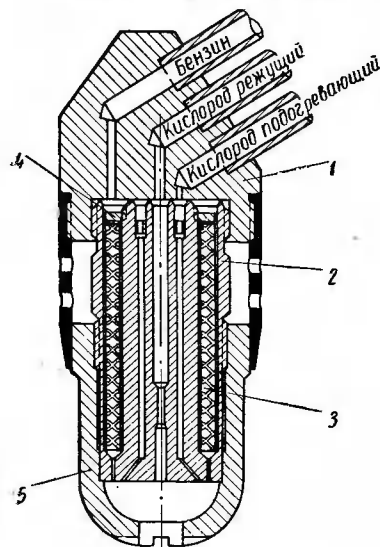
Бензин в настоящее время в подводных работах имеет широкое применение, вытеснив в значительной степени водород и давая наивысшие технико-экономические показатели. Широкое применение бензина началось после изобретения безыспарительных подводных бензорезов. Для них рекомендуется авиабензин или грозненский автобензин 1-го сорта; более низкие сорта бензина засоряют каналы бензореза смолистыми продуктами.

Бензол, пропано-бутановая смесь, метан могут быть успешно использованы в подводной резке при соответствующем приспособлении аппаратуры.

Отечественная промышленность выпускает комплексную установку конструкции ВНИИАВтогена типа УПР для водородно-кислородной подводной резки стали толщиной до 70 мм. В комплект входят резак, планги, пульт управления с редукторами, баллонные коллекторы для кислорода, водорода и защитного воздуха, электрическая зажигалка с проводом. Резак УПР показан на фиг. 7. Он имеет три планга, четыре вентиля, режущего кислорода, подогревающего кислорода, водорода и воздуха и три концентрических мунштука. По внутреннему идет режущий кислород, по кольцевой щели между внутренним и наружным — подогревающая смесь, по щели между наружным и покровным мунштуками — воздух для создания защитного газового пузыря. Вместо воздуха может вдуваться защитный кислород. Для подводного зажигания пламени используется аккумуляторная низковольтная батарея. Один полюс батареи соединяется с корпусом резака, другой с рифленой бронзовой зажигательной дочечкой. При проведении мунштуком резака по дощечке получается искрение,

зажигающее выходящую подогревающую смесь.

Средний часовой расход водорода и кислорода от 4 до 10 м^3 , защитного воздуха — около 20 м^3 . В современных подводных бензорезах бензин не испаряется, а тонко распыляется подогревающим кислородом и в таком виде поступает в вынесенную наружу камеру смешения, где и сгорает практически полностью.

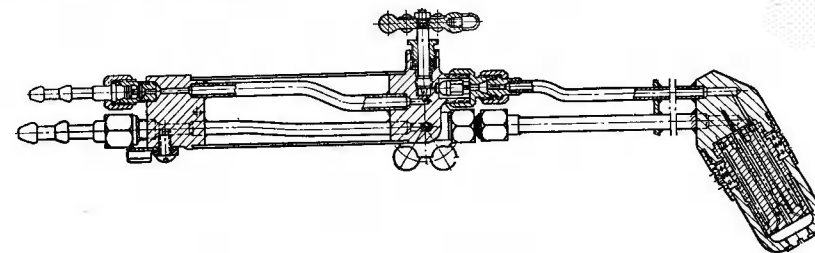


Фиг. 8. Головка безыспарительного бензино-кислородного резака: 1 — корпус; 2 — распылитель (латунный); 3 — цилиндрические стержни со спиральными канавками; 4 — крепежное кольцо; 5 — наружный наконечник из красной меди.

Это усовершенствование обеспечило подводным бензорезам широкое практическое применение.

Устройство головки безыспарительного подводного бензореза показано на фиг. 8.

Промышленность выпускает комплексную бензино-кислородную аппаратуру типа БУПР для подводной резки, разработанную ВНИИАВтогеном. В комплект входят: безыспарительный подводный бензорезак БУПР (фиг. 9), электрическая зажигалка, как в аппаратуре УПР; пульт управления с редукторами для регулирования подачи кислорода и бензина; баллон и фильтр для бензина; коллектор для кислородных баллонов; змеевик для присоединения азотного баллона; резиновые планги для кислорода и азота; дюритовые — для бензина. Для подачи бензина в бензиновом баллоне создается давление азотом; расход азота незначителен. Режущий и подогревающий кислород подается к резаку по отдельным плангам.



Фиг. 9. Подводный бензорезак БУПР.

Резак пригоден для резки стали толщиной до 100 мм. Расход кислорода $30-50 \text{ м}^3/\text{час}$, бензина $10-20 \text{ кг}/\text{час}$. Скорость резки бензиновым пламенем выше, чем водородным на $20-30\%$, и в благоприятных условиях для толщин от 10 до 70 мм может составлять соответственно 15 и $4 \text{ м}/\text{час}$.

Ширина и неровности реза бензиновым пламенем больше. Несгоревший бензин, поднимаясь на поверхность водоема, может представлять опасность в пожарном отношении.

Все способы газокислородной резки мало применимы для пакетов, имеющих неплотности, и недостаточно эффективны при резке толщин менее $8-10 \text{ мм}$.

Электрокислородная резка

По основным технико-экономическим показателям электрокислородная резка выдвигается на первое место среди других способов подводной резки. В этом способе удается объединить преимущества использования дугового разряда и струи режущего кислорода. Дуга нагревает и расплавляет металл у входной поверхности реза, а струя кислорода сжигает и режет металл, выдуван из полости реза расплавленные окислы и металл.

Одновременно с резкой металла сгорает, плавится и разрушается электрод, необходимый для горения дуги. Для электрокислородной резки материал и конструкция электрода имеют первостепенное значение.

В настоящее время применяются почти исключительно трубчатые электроды с осевым каналом для режущего кислорода.

Наибольшее распространение имеют трубчатые электроды из цельнотянутой толстостенной трубки из малоуглеродистой стали. Наиболее удобными надо считать трубки с наружным диаметром $6-8 \text{ мм}$ и внутренним $2-3 \text{ мм}$. Пригодны также трубки с диаметрами соответственно $5-10$ и $1,5-4 \text{ мм}$. При отсутствии цельнотянутых трубок можно изготавливать электроды из полос малоуглеродистой стали толщиной около $1,5 \text{ мм}$ путем протягивания через волочильную доску.

Стык трубы получается достаточно плотным и после покрытия обмазкой практически газонепроницаемым. Цельнотянутая или изготовленная волочением трубка разрезается на стержни длиной от 350 до 700 мм в зависимости от условий работ; на стержни наносится покрытие, которое затем пропитывается водонепроницаемым составом.

Для электрокислородной резки применяется держатель усложненной конструкции, подводящий к электроду электрический ток и кислород. Целесообразно применение автоматического электромагнитного кислородного клапана, устанавливаемого на водолазной станции. При наличии сварочного тока клапан открыт и пропускает кислород к держателю. При обрыве дуги и прекращении тока клапан автоматически прекращает подачу кислорода. Применение автоматического кислородного клапана уменьшает расход кислорода на 20—25%, упрощает конструкцию держателя, делает ненужным кислородный вентиль или клапан на нем, повышает производительность резки.

Расход кислорода зависит от диаметра канала электрода и колеблется от 5 до 15 м³/час.

Для питания дуги применяется постоянный ток нормальной полярности; величина тока 300—400 а. Нормально резка производится с опиранием края козырька на конце электрода о поверхность разрезаемого металла.

Электрокислородная резка применима для всех черных и цветных металлов, на всех достижимых глубинах. Без затруднений режется материал толщиной до 100 мм, успешно перерезаются валы диаметром 300 мм. Тонкий металл, 5—6 мм, режется короткой дугой с отрывом электрода от поверхности металла; недостаточно плотные пакеты большой толщины режутся пилообразными движениями электрода, как при дуговой резке.

По производительности электрокислородная резка значительно превосходит все другие способы. Машинное время резки 1 пог. м стали (время горения дуги), полученное при благоприятных условиях работы на небольших глубинах, указано в табл. 3.

3. Машинное время резки 1 пог. м. стали

Толщина стали в мм	5	8	16	20	25	40	50	80
Время резки в мин.	1,1	1,4	1,75	2,0	2,8	4,5	6,2	7,6

Средний срок службы трубчатого электрода — около 1 мин. Время на смену электрода превышает время горения дуги. Поэтому, переходя от машинного времени к полному и от скорости резки к действительной производительности, нужно время, указанное в табл. 3, умножить на 3—4. При значительных глубинах, плохой видимости и других неблагоприятных обстоятельствах производительность падает еще ниже. В указанных условиях при расчетах следует руководствоваться данными, полученными при работах, выполненных в аналогичных условиях.

При электрокислородной резке поверхность реза менее чистая, чем при газокислородной, но более чистая, чем при дуговой. Пакеты, даже с большими зазорами, режутся без затруднений.

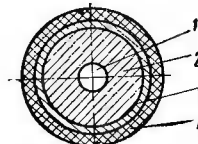
Крупным недостатком электрокислородной резки стальных электродом является малый срок службы и большой расход электродов, что повышает стоимость работ и значительно снижает производительность резки.

Опытами по созданию более стойких трубчатых электродов установлена возможность применения медленно сгорающих карборундовых электродов. Трубчатый стержень из карборунда (карбида кремния SiC) с наружным диаметром 12—15 мм и внутренним 2—3 мм покрывается снаружи стальной оболочкой наносимой, например напылением; поверх оболочки наносится покрытие, пропитываемое водонепроницаемым составом (фиг. 10). Внутренний канал не облицовывается, так как карборунд практически нечувствителен к воздействию ки-

слорода. Карборунд является полупроводником и при низких температурах практически не проводит электрического тока. С нагревом электропроводность его быстро возрастает и, начиная с температуры красного каления, он становится удовлетворительным проводником. При резке ток от держателя идет сначала по стальной оболочке и на разогревом конце электрода идет по карборунду. Зажигание дуги производится сначала между стальной оболочкой электрода и разрезаемым металлом и лишь с разогревом конца электрода дуга переходит на карборунд.

Карборундовый электрод длиной 250 мм выдерживает 30—40 мин. горения дуги, что достаточно для разрезки нескольких метров стали толщиной 20 мм. Скорость резки карборундовым электродом при токах 250—400 а несколько ниже, чем при резке стальным электродом, ввиду невозможности работать опертым электродом.

Значительный диаметр карборундового электрода затрудняет введение его в полость реза; поэтому карборундовые электроды могут быть рекомендованы для резки сплошного металла толщиной не свыше 30 мм, а для больших толщин и для пакетов лучше пользоваться стальными электродами. Механическая прочность хорошо изготовленных карборундовых стержней вполне достаточна.



Фиг. 10. Карборундовый электрод: 1 — кислородный канал; 2 — карборундовый стержень; 3 — металлическая оболочка; 4 — покрытие.

ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ПРИ ПОДВОДНОЙ СВАРКЕ И РЕЗКЕ

Успех сварки и резки под водой в значительной степени зависит от четкой и правильной организации работ.

Кадры подводных сварщиков и резчиков готовятся из опытных водолазов достаточно высокой квалификации. Работы производятся в тяжелом мягком водолазном снаряжении, в зимних рубашках с закрытыми кистями рук. Обязательна исправная телефонная связь с водолазом.

Вся аппаратура должна быть высокого качества, в полной исправности, и, безусловно, проверена. Не совсем удачная конструкция держателя электродов или небольшая неисправность газового резака может значительно снизить производительность труда.

Подводная сварка, дуговая и электрокислородная резка производятся, как правило, на постоянном токе нормальной полярности. Переменный ток не рекомендуется из-за меньшей устойчивости дуги и повышенной опасности для работающих.

Для питания током пригодны нормальные электросварочные агрегаты, применяемые для надводных работ, без всяких переделок в них. Часто применяется передвижная электростанция трехфазного тока с приводным двигателем внутреннего сгорания, а от нее уже питаются сварочные агрегаты с приводными электромоторами. При отсутствии достаточно мощных агрегатов применяется параллельное их соединение по два и по три на одну дугу, например при дуговой резке.

Для поддержания всего оборудования и аппаратуры в исправном состоянии в составе бригады должен быть квалифицированный электромеханик. Ненужно в составе бригады должен быть квалифицированный электромеханик. Ненужно в составе бригады должен быть квалифицированный электромеханик. Ненужно в составе бригады должен быть квалифицированный электромеханик. Ненужно в составе бригады должен быть квалифицированный электромеханик.

Вследствие электропроводности воды все металлические предметы в зоне работ оказываются включенными в сварочную цепь через воду. Прикосновение электрода к любому металлическому предмету, в том числе и к металлическим частям водолазного снаряжения, зажимает дугу. Случайное прикосновение электрода к шлему и манжетке (нагруднику) водолаза мгновенно создает сквоз-

ные прожоги. Поэтому шлем и манишка должны быть оклеены резиной, брезентом или покрыты прочным лаком.

Смена электродов должна производиться при выключенном токе, о чем водолаз сообщает по телефону, если нет автоматического устройства, отключающего сварочную цепь при ее размыкании.

Должны быть приняты все меры, обеспечивающие безопасность и удобство работы водолаза, с ограждением его от волн и течения воды; создана возможность работать в удобном положении, в необходимых случаях должно быть устроено подводное освещение. Все эти меры повышают производительность труда и снижают стоимость работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. К. В. Васильев, Подводная резка и сварка металла, изд-во «Морской транспорт», Москва, 1955.
2. Д. Л. Глизманенко, Кислородная резка стали под водой, Военно-морское издательство, Москва, 1943.
3. Н. А. Гицак, Резка металлов под водой и расчистка русел, Гостехиздат УССР, Киев — Львов, 1950.
4. К. К. Хренов, Подводная электрическая сварка и резка металлов, Военное издательство МВС СССР, 1946.

ГЛАВА XIII

НОВЫЕ ВИДЫ СВАРКИ

ХОЛОДНАЯ СВАРКА ДАВЛЕНИЕМ

Общие сведения

Соединение при холодной сварке давлением происходит в твердом состоянии за счет образования прочной металлической связи между чистыми поверхностями, сближенными на расстояние действия межатомных сил. Для образования соединения необходимо также чтобы в области контакта не возникали большие упругие напряжения, способные разрушить соединение после удаления внешней нагрузки.

Критерием свариваемости металлов при холодной сварке давлением служит степень деформации, достаточная для образования надежного соединения.

Значение деформации, обеспечивающей надежное соединение (поверхность образцов обрабатывалась металлической щеткой):

Металл	Необходимая деформация в %
Алюминий	60—70
Медь	85—90
Железо Армко	85—92
Свинец	55—85
Олово	86—88
Золото	30—35
Индий	10—15
Серебро	50—86
Кадмий	80—86
Алюминиевые сплавы	75—90
Титан	70—75
Никель	85—90

Способность металлов к соединению сваркой давлением зависит от их пластичности, а также от соотношения твердостей металла и поверхностной пленки, изменяющегося с температурой. С повышением температуры твердость окисных пленок изменяется незначительно, а твердость металла понижается. Поэтому при деформировании нагретого металла облегчается разрушение пленок и заметное сцепление начинается при меньших деформациях.

Холодная сварка применяется только для соединения достаточно пластичных материалов в первую очередь алюминия и меди как в однородном, так и разнородных сочетаниях. Армирование выводов алюминиевых деталей медными накладками облегчает замену меди алюминием в электрических машинах, переключателях, токоподводах и т. п. Указанный метод применяется при изготовлении алюминиевых корпусов электрических чайников, при сварке алюминиевых корпусов электролитических конденсаторов с крышкой, при приварке алюминиевых ребер радиаторов толщиной 1 мм к трубам с толщиной стенок 30 мм и т. п., а также при монтаже для соединения алюминиевых шин и проводов. Известны положительные результаты опытов по холодной сварке железа Армко, свинца,

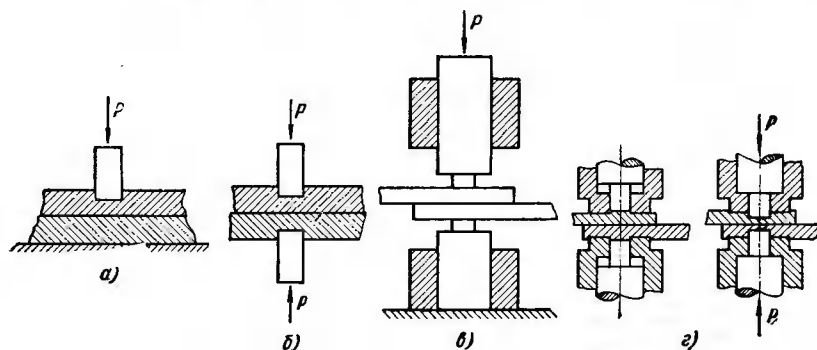
олова, цинка, индия, золота, серебра, кадмия, алюминиевых сплавов, титана и никеля, а также разнородных сочетаний: алюминия со свинцом, железом Армо, никелем, кадмием, цинком, оловом, латунию; меди с никелем, латунию, железом, оловом, цинком, сталью 18-8; железа с цинком, никелем, сталью 18-8 и т. д.

К преимуществам холодной сварки относятся: малый расход энергии (приблизительно в 10 раз меньше, чем при сварке плавлением), простота рабочего инструмента, высокая производительность, легкость автоматизации, незначительное изменение свойств металла (кроме наклепа). Поэтому сопротивление сварных соединений коррозии близко к сопротивлению основного металла; сварные соединения обладают высокой электропроводностью.

Технология холодной сварки

Холодной сваркой выполняются соединения внахлестку и в стык. Возможна также сварка втавр.

Подготовка поверхности под сварку внахлестку обычно осуществляется вращающейся металлической щеткой, шпатрированием, прокатыванием в печи, промывкой в чистых растворителях; иногда путем нанесения на детали твердых и хрупких покрытий. Хрупкие



Фиг. 1. Схемы холодной сварки внахлестку

окисные пленки удаляются только в процессе сварки: в ходе пластической деформации пленки сначала растрескиваются, а затем их осколки вытесняются из зоны образования соединения.

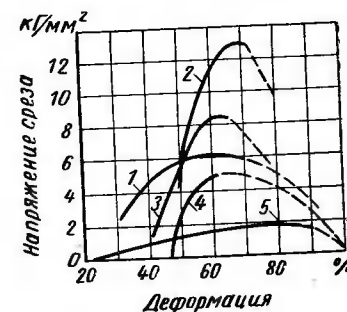
При холодной сварке в стык зачищают только торцы (обычно непосредственно перед сваркой путем удаления конца свариваемого стержня кусачками или ножницами). Плоскость реза должна быть перпендикулярной к осям стержней.

В нахлестку сваривается листовый материал толщиной от 0,2 до 15 мм. Соединение выполняется в виде отдельных точек или непрерывного шва. Форма соединения определяется рабочей частью пуансона. Наиболее распространены пуансоны с узкой прямоугольной рабочей частью. Ширина или диаметр пуансона $b = (1 \div 3) \delta$ (δ — исходная толщина свариваемых листов).

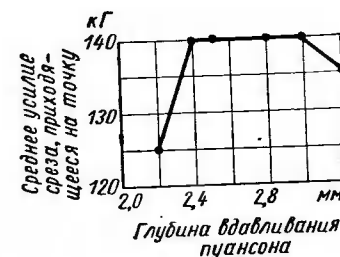
При сварке внахлестку наиболее широко применяются, схемы: а) вдавливанием одного пуансона (фиг. 1, а); б) сдавливанием изделия между двумя пуансонами постоянного сечения (фиг. 1, б); в) вдавливанием пуансонов с заплечиками (фиг. 1, в, г); г) вдавливанием пуансонов с предварительным зажатием деталей (фиг. 1, г).

Величина деформации, при которой образуется наиболее прочное соединение, неодинакова для различных металлов (фиг. 2) и схем деформирования.

Практически при сварке алюминия с односторонним вдавливанием пуансона (см. фиг. 1, а) деформация составляет 55—65% от суммарной толщины свариваемых деталей (фиг. 3).



Фиг. 2. Зависимость прочности точечных сварных соединений от величины деформации при сдавливании пуансонами постоянного сечения: 1 — наклепанный алюминий; 2 — электролитическая медь; 3 — тантал; 4 — мягкий алюминий; 5 — олово.



Фиг. 3. Зависимость прочности одноточечного соединения от глубины вдавливания пуансона при холодной сварке алюминия методом одностороннего деформирования пуансоном с заплечиками (толщина образцов 2 мм, диаметр плечика 5 мм, диаметр прижима 25 мм, давление на прижим 3 кг/мм²).

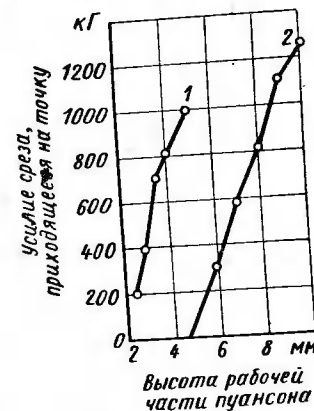
При сварке пуансонами с заплечиками и с предварительным зажатием деталей (см. фиг. 1, в, г) каждый пуансон вдавливается на всю толщину свариваемого листа (фиг. 4).

Степень необходимой деформации при сварке разнородных металлов обуславливается свойствами того из свариваемых материалов, который легче сваривается. На этом основан принцип сварки малопластичных металлов с применением пластичных прокладок.

Непрерывное шовное соединение получается за счет сдавливания как одновременно по всей длине, так и последовательно при прокатывании ролика (фиг. 5). Для алюминия и некоторых отожженных его сплавов толщиной s мм рекомендуется применять ролики следующих размеров: диаметр 50 s , ширина рабочего выступа (0,8—0,9) s ; (1—1,5) s , высота рабочего выступа (0,8—0,9) s ; ширина опорной части (2—4,5) s . Шовное соединение может быть получено и без заметной поверхностной вмятины за счет специальной сборки листов (фиг. 6, а), а также подготовки их кромок под сварку (фиг. 6, б).

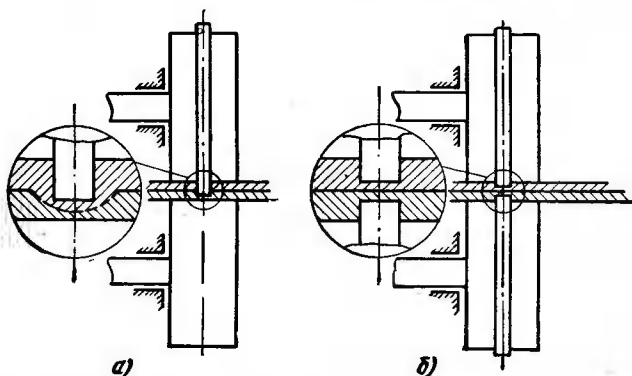
Удельные давления пуансона в конце деформирования составляют для отожженного алюминия 30—60 кг/мм², для наклепанного — 110—150 кг/мм², для меди — 200 кг/мм². Давление на опорных поверхностях прижимов меньше, чем на рабочих пуансонах, примерно в 5—10 раз. Например, при сварке наклепанного алюминия пуансонами с заплечиками давление на опорных поверхностях составляет 10—12 кг/мм².

Стыковая сварка применяется для соединения стержней, полос, профилей и проводов сравнительно небольшого сечения и осуществляется путем непосредственного давления свариваемых элементов друг на друга. В стык можно сваривать медь, алюминий, свинец, олово, кадмий, никель, титан, алюми-



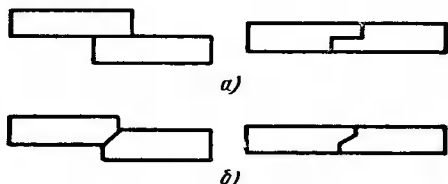
Фиг. 4. Зависимость прочности соединения от глубины вдавливания рабочих пуансонов при холодной сварке с предварительным зажатием деталей: 1 — алюминий толщиной 5 мм; 2 — алюминий толщиной 10 мм, диаметр пуансонов 10 мм.

ниевые сплавы. Сварка черных металлов, даже железа Армко, невозможна из-за растрескивания при деформации около 70—80%. Для сварки малопластичных металлов можно применять пластичные прокладки (например, стержень из малоуглеродистой стали можно сварить с помощью прокладки из отожжен-

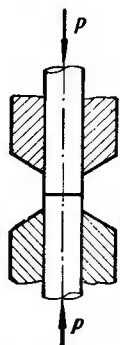


Фиг. 5. Схема холодной шовной сварки: а — с односторонним; б — с двухсторонним деформированием.

ного алюминия). Качество соединения зависит от величины пластической деформации в месте его образования. Эта величина устанавливается предварительно по длине выпущенного из зажимов свободного конца, который затем полностью выдавливается из зоны стыка в процессе сварки. Этот вылет при сварке стержня диаметром или толщиной d в среднем равен: для алюминия $1—1,2d$, для меди $1,25—1,5d$. При сварке алюминия с медью вылет у медного



Фиг. 6. Подготовка кромок листов для холодной шовной сварки без вмятины.



Фиг. 7. Схема зажимов для холодной стыковой сварки системы С. Б. Айбиндера и Н. Н. Упита.

стержня должен быть на 30—40% больше, чем у алюминиевого. Удельное давление в зажимах с заостренными торцами (фиг. 7). при холодной сварке в стык составляет для алюминия $70—80 \text{ кг/мм}^2$, наклепанной меди $200—250 \text{ кг/мм}^2$, меди с алюминием $150—200 \text{ кг/мм}^2$. Усилие зажатия образцов в зажимах с насечкой при сварке алюминия должно быть более 50%, а при сварке меди — более 80% от усилия осадки.

Прочность соединений

Соединения, сваренные по схеме одностороннего и двухстороннего деформирования пуансонами постоянного сечения (см. фиг. 1, а и б), обладают относительно низкой прочностью и при испытании на растяжение — срез разрушаются на границе вмятины в детали с вырывом сварной точки. Соединения,

сваренные пуансонами с заплечиками и по схеме с предварительным зажатием детали, значительно прочнее (табл. 1 и 2). В последнем случае соединение образуется не только под поверхностью пуансонов, но и в прилегающей кольцевой зоне. Значения прочности соединений и параметры режима сварки по схеме с предварительным зажатием детали (см. фиг. 1, в) приводятся в табл. 3.

1. Зависимость прочности соединений из алюминия от схемы сварки

Схема	Разрушающее усилие среза, в кг		
	наименьшее	наибольшее	среднее
Сварка пуансонами с заплечиками (фиг. 1, в)	550	730	635
Сварка с предварительным зажатием детали (фиг. 1, в)	800	895	855

Примечание. Толщина образцов 2 мм; диаметр рабочего выступа пуансона 7 мм; высота рабочего выступа пуансона 1,8 мм; соединения двухточечные.

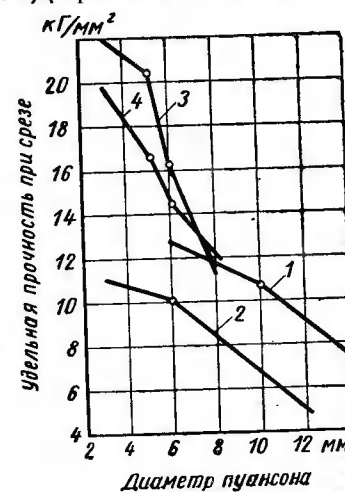
2. Отношение прочности на отрыв к прочности на срез при различных схемах сварки

Материал и толщина образцов	Диаметр пуансона в мм	Одностороннее вдавливание пуансона	Двухстороннее вдавливание пуансона с предварительным зажатием деталей
Алюминий, 3 мм . .	6	0,49	—
	8	0,30	—
Алюминий, 10 мм . .	9	—	0,82

С увеличением площади соединения разрушающая нагрузка растет, однако удельная прочность при этом уменьшается (фиг. 8). Прочность многоточечного соединения обычно составляет до 80% суммарной прочности отдельных точек.

Прочность стыковых соединений обычно выше прочности основного металла. Их высокая пластичность достигается при максимальной деформации, обеспечивающей более полное удаление окислов из соединения.

Механические свойства соединений можно регулировать с помощью термической обработки. Она предназначена как для снятия наклепа, увеличивающего прочность соединений и понижающего их пластичность, так и для повышения прочности соединений за счет устранения отдельных неповаренных участков, имевшихся в нем после сварки из-за недостаточной деформации (табл. 4).



Фиг. 8. Зависимость удельной прочности соединений от диаметра пуансона: 1 — алюминий толщиной 3 мм; 2 — то же, 5 мм; 3 — алюминий 3 мм + медь 3 мм; 4 — алюминий 6 мм + медь 3 мм.

3. Режимы сварки и среднее значение разрушающих нагрузок одноточечных соединений

Материал	Диаметр пуансона в мм	Толщина материала в мм								
		2			1,5			1		
		Усилие сварки Q кГ	Деформация h/s %	Среднее усилие сжатия P кГ	Q кГ	h/s %	P кГ	Q кГ	h/s %	P кГ
АМцА-М	3,5	3200	95	148	2000	88	130	—	—	—
	4,2	3000	92	160	2500	84	160	3050	89	104
	5,0	3800	92	210	4300	91	170	4100	87	112
	6,0	6000	91	230	—	—	—	—	—	—
	7,2	6000	87	300	—	—	—	—	—	—
АМгА-М	3,5	2500	85	125	—	—	—	—	—	—
	4,2	2600	83	180	—	—	—	3100	87	118
	5,0	4650	90	260	—	—	—	4200	85	120
	6,0	5600	89	310	—	—	—	—	—	—
	7,2	6000	84	340	—	—	—	—	—	—
Д1А-М	3,5	—	—	—	2900	87	90	2400	75	70
	4,2	3140	90	185	2750	84	120	3300	85	106
	5,0	—	—	—	4500	87	168	—	—	—
Алюминий А-2	3,5	1500	91	175	—	—	—	—	—	—
	4,2	2200	90	185	—	—	—	—	—	—
	5,0	3000	90	240	—	—	—	—	—	—
	6,0	3300	88	240	—	—	—	—	—	—
	7,5	4800	87	250	—	—	—	—	—	—

4. Изменение прочности соединений, выполненных холодной сваркой до и после отжига

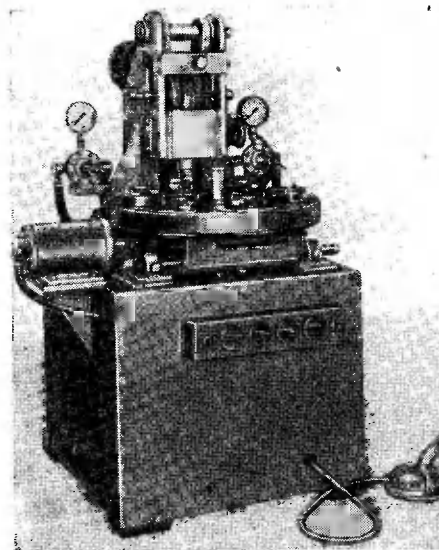
Металл	Термообработка		Деформация %	Разрушающая нагрузка в кГ	
	температура в °С	время в мин.		до термообработки	после термообработки
Серебро	700	4	79	36,3	90,8
Медь	700	1	82	18,1	88,0
Сталь	800	1	80	0	90,8

Скорость приложения давления в процессе сварки на прочность соединения существенно не влияет, поэтому производительность холодной сварки может быть достаточно высокой.

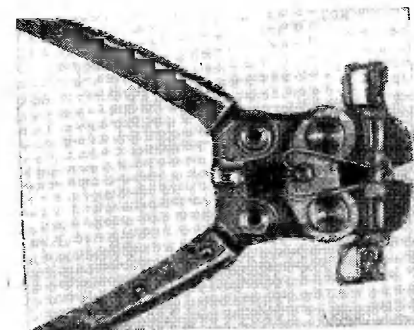
Оборудование

На практике для холодной сварки внахлестку могут быть использованы любые прессы, развивающие необходимое усилие. Для одновременной сварки нескольких точек требуются прессы мощностью 50—100 т. Для одноточечной сварки широко применяются гидропрессы РПГ-7 и гидропрессы с педальным приводом, создающие усилие до 12 т. Прессы снабжаются специальными штампами.

Для холодной сварки деталей ВНИИЭСО разработано несколько типов сварочных установок и полуавтоматов. Установка УГХС-5 предназначена в основном для точечной сварки алюминиевых шин толщиной 5 + 5 мм в монтажных условиях. Машина типа МХСА-50 внедрена в производство для армирования выводов алюминиевых обмоток, шин и других деталей медными накладками. Полуавтомат типа МХСК-1 (фиг. 9) осуществляет герметичную сварку алюминиевых корпусов конденсаторов с крышкой; производительность сварки 750 изделий в час. Машина типа МСХС-60 предназначена для стыковой сварки алюминиевых стержней сечением до 700 мм², медных — до 250 мм² и медных с алюминиевыми — до 300 мм². Максимальное осадочное усилие машины 60 т, максимальное усилие зажатия 90 т. Основное назначение машины МСХС-30 — сварка в стык медных



Фиг. 9. Полуавтомат типа МХСК-1 для сварки алюминиевых корпусов конденсаторов



Фиг. 10. Клещи для стыковой холодной сварки

троллейных проводов сечением до 100 мм². На машине можно также сваривать алюминий, а также медь с алюминием сечением до 250 мм². Она потребляет 1 кВт электрической энергии, развивает усилие осадки до 30 т и позволяет сваривать до 300 стыков в смену. Для стыковой сварки алюминиевых проводов диаметром до 5 мм и медных до 3,5 мм применяются ручные клещи (фиг. 10).

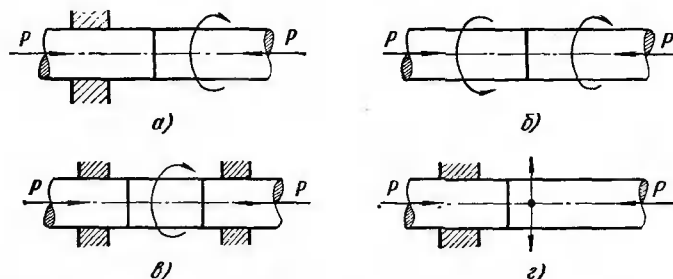
ЛИТЕРАТУРА

1. Айнбиндер С. В., Холодная сварка металлов, изд-во АН Латв. ССР, Рига, 1957.
2. Баранов И. Б., Холодная сварка пластичных металлов, Машгиз, Москва — Ленинград, 1959.
3. Первичный Ю. Д., Холодная сварка давлением, «Приборостроение» № 5, стр. 26—29, 1958.
4. Семенов А. П., Исследование схватывания металлов при совместном пластическом деформировании, изд. АН СССР, Москва, 1958.
5. Хренов К. К., Сварка, резка и пайка металлов, стр. 289—298, Машгиз, Киев — Москва, 1959.

СВАРКА ТРЕНИЕМ

Общие сведения

Сварка трением круглых стержней, труб и других изделий осуществляется по различным схемам (фиг. 11), позволяющим использовать теплоту, выделяемую в процессе относительного вращения свариваемых деталей. Сварное соединение образуется в процессе совместного пластического деформирования деталей под действием сжимающего осевого усилия.



Фиг. 11. Принципиальные схемы сварки трением: а — вращение одной детали; б — вращение обеих деталей; в — сварка неподвижных деталей с вращающейся вставкой; г — сварка при возвратно-поступательном движении одной из деталей.

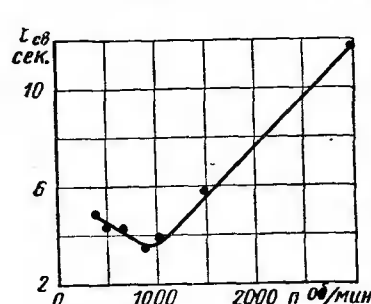
При сварке деталей ограниченной длины вращают одну из них (фиг. 11, а) или обе (фиг. 11, б). При сварке длинных изделий, когда их вращение затруднено, возможно применение промежуточной вращающейся вставки (фиг. 11, в); иногда рекомендуют возвратно-поступательное относительное движение свариваемых поверхностей (фиг. 11, г).

Параметры процесса

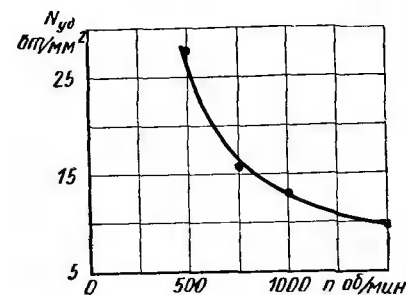
Технико-экономические показатели процесса сварки трением и качество соединений определяются следующими параметрами: скоростью относительного вращения поверхностей трения; осевым усилием сжатия деталей; величиной осадки и временем сварки.

Скорость относительного вращения может изменяться в довольно широких пределах без существенного влияния на качество соединений; однако при этом значительно изменяется время сварки. Так, при сварке стержней диаметром 20 мм из малоуглеродистой стали изменение скорости вращения с 400 до 800 об/мин снижает время сварки примерно на 25%, а в диапазоне 860—3000 об/мин время сварки возрастает почти пропорционально числу оборотов (фиг. 12). Удельная тепловая мощность с увеличением числа оборотов падает (фиг. 13), что указывает на значительное влияние скорости вращения на величину коэффициента трения.

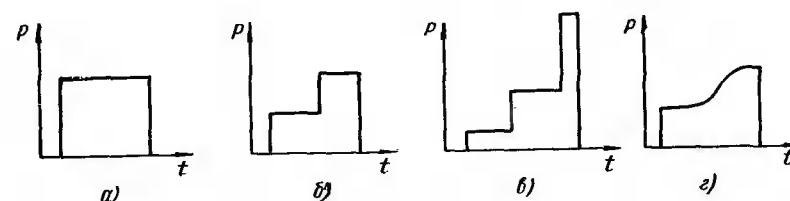
Осевое усилие сжатия деталей существенно влияет на характер процесса. Для процессов нагрева и осадки рекомендуются следующие циклы давления (фиг. 14): простой, когда нагрев и осадка соединения осуществляются при постоянном усилии сжатия; двухступенчатый, обеспечивающий повышенное ковочное давление; трехступенчатый, когда нагрев начинается при низком давлении и продолжается при повышенном давлении, а осадка происходит при высоком давлении; цикл с плавно нарастающим в течение процесса усилием сжатия.



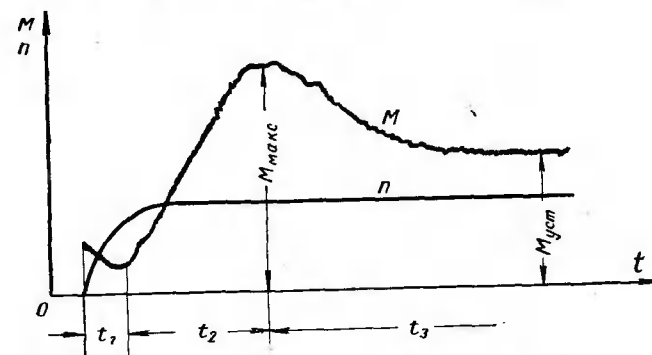
Фиг. 12. Зависимость машинного времени сварки от скорости вращения при сварке стержней диаметром 20 мм из малоуглеродистой стали; давление 5 кг/мм²; осадка 5 мм (В. И. Вильд).



Фиг. 13. Зависимость удельной тепловой мощности от скорости вращения при сварке стержней диаметром 20 мм из малоуглеродистой стали; давление 6 кг/мм²; осадка 5 мм (В. И. Вильд).



Фиг. 14. Циклы осевого усилия сжатия при сварке трением: а — простой; б — двухступенчатый; в — трехступенчатый; г — с плавно нарастающим усилием.



Фиг. 15. Кривая изменения момента M сил трения (мощности) и числа оборотов n .

В процессе нагрева при постоянном осевом усилии резко изменяется момент сил трения (мощность) (фиг. 15), в связи с чем этот процесс разделяют на три фазы:

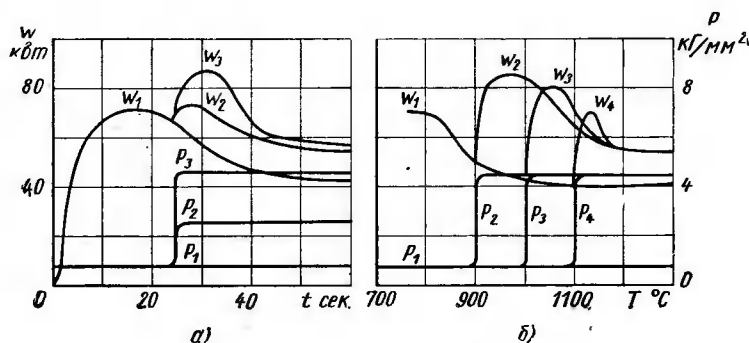
Начальная стадия, характеризующаяся нарастанием скорости вращения n , вероятно, грубой приработкой трущихся поверхностей (фиг. 15, область t_1). В этой стадии возникает, очевидно, отдельные очаги нагрева.

Вторая стадия, характеризующаяся нарастанием моментов сил трения, очевидно, включает интенсивную приработку трущихся поверхностей с увеличением числа очагов схватывания (фиг. 15, область t_2).

Третья стадия, характеризующаяся, по всей вероятности, жидкостным трением, отличается интенсивным нарастанием температуры в околоторцовых областях и стабилизацией моментов сил трения (фиг. 15, область t_3).

Для снижения мощности сварочных установок целесообразно начинать процесс при относительно низких удельных давлениях ($p_0 \approx 1 \text{ кг/мм}^2$) и после приработки торцов и их нагрева до температуры, превышающей температуру, соответствующую пику мощности, увеличивать давление в 4—5 раз. Опытным установлено, что изменение цикла давления в процессе нагрева способствует более быстрому повышению температуры и более равномерному прогреву торцов.

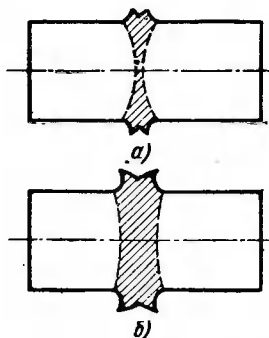
Повышение давления с $p_0 = 0,7 \text{ кг/мм}^2$ до $2,5\text{—}4,3 \text{ кг/мм}^2$ заметно улучшает использование мощности установки (фиг. 16). Численные значения удельных давлений лежат в пределах до $2,5 \text{ кг/мм}^2$ для легких и пластичных металлов и сплавов и до 25 кг/мм^2 для очень твердых специальных сталей.



Фиг. 16. Изменение мощности в процессе нагрева труб диаметром $160 \times 20 \text{ мм}$ при трехступенчатом изменении давления: а — на различную величину при одинаковой температуре; б — на одинаковую величину при различной температуре (А. С. Гельман, М. П. Сандер).

Величина осадки задается обычно в таких пределах, чтобы обеспечивалось необходимое усиление в стыке и удаление окислов и загрязнений из стыка в процессе трения.

Время сварки должно быть достаточным для нагрева торцов деталей до требуемой температуры (при сварке сталей около 1200°C). Обычно оно определяется скоростью относительного вращения свариваемых деталей, осевым усилием сжатия и необходимой величиной осадки.



Фиг. 17. Схема очертания зоны термического влияния: а — при кратковременном и б — при длительном нагреве.

Технология сварки трением

При назначении параметров режима (числа оборотов, осевого усилия сжатия, величины осадки и продолжительности нагрева) следует учитывать неравномерность выделения теплоты на торцах свариваемых деталей, обусловленную различными окружными скоростями на трущихся поверхностях.

Так, при малых величинах осадки, что при прочих равных параметрах соответствует меньшему времени нагрева, возникает опасность непрочваров в центральной области сечения. Зона термического влияния при этом имеет минимальные размеры в центре (фиг. 17, а).

С увеличением осадки и соответственно времени

сварки наблюдается выравнивание температуры по сечению и более равномерный прогрев зоны термического влияния (фиг. 17, б). Это связано с выравниванием температуры вследствие теплопроводности и с тем, что более нагретые периферийные зоны легче деформируются осевым усилием. При этом увеличивается напряжение сжатия в более холодной центральной зоне, что способствует повышению в ней интенсивности тепловыделения и приводит к выравниванию температуры на трущихся поверхностях.

Параметры режима обычно устанавливаются экспериментально. В табл. 5 и 6 приводятся ориентировочные режимы сварки однородных и разнородных металлов, разработанные в процессе исследований.

5. Режимы сварки трением однородных металлов и сплавов

(В. И. Вилья)

Материал	Диаметр стержней в мм	Относительная скорость вращения в об/мин	Удельное давление в кг/мм^2		Величина осадки в мм	Машинное время сварки в сек.
			при нагреве	при проковке		
Сталь Ст. 3	20	1500	5	5	5	5
	40	1000	10	10	12	20
Сталь Ст. 5	16	1500	5	5	5	4,5
Сталь 20	10	3000	4	4	3	3
Сталь 45					5	4,5
Сталь 4Х13		1500	12	12	3—4	3
Сталь 20Х	12	3000	4	4	4	4
Сталь 12ХН2А						3,5
Латунь Л62	16		3,3	3,3	6—7	3
Дуралюмин	40	760	10	10	20	13
Медь		920	3,45	15		30

Продолжение табл. 5

Материал	Диаметр стержней в мм	Относительная скорость вращения в об/мин	Удельное давление в кг/мм ²		Величина осадки в мм	Машинное время сварки в сек.
			при нагреве	при проковке		
Алюминий АД-1	20	3000	0,8	0,8	6—7	3
	40	760	3	3	30	10
Сталь 38ХМЮА	10	1500	10	10	4	2
Сталь 30ХГСА						

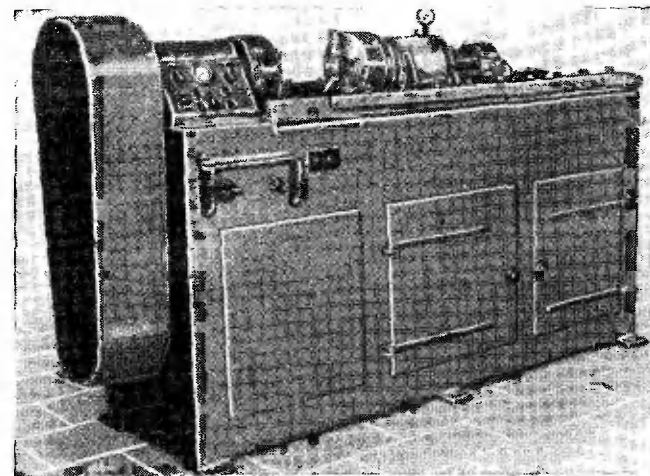
6. Режимы сварки трением разнородных металлов
(В. И. Вилья)

Материал		Диаметр стержней в мм	Относительная скорость вращения в об/мин	Удельное давление в кг/мм ²		Величина осадки в мм	Машинное время сварки в сек.
1	2			при нагреве	при проковке		
Сталь Р9	Сталь 45	18	1500	11	11	4	12
Сталь Р18		13		13	13	6	6
Латунь ЛМЦ 58—2	Сталь 20	30		2,5	2,5	6—8	8
Сталь Ст.3	Сталь 45	12		3,5	3,5	6	5
Сталь 1Х18Н9Т		20	3000	8	8	7	3
Сталь Х12М						20	4
Бронза АМЦ9—2	Сталь 20		1500	2,5	2,6	6—8	8—9
Медь	Алюминий	8	1350	2—3	10—20	—	10—20
Шпилька стальная	Лист δ=2,5	10	3000	5	5	3	1,5
Шпилька медная	Лист δ=2,0		6000	1	6	1,5	2

При сварке стержней большого диаметра и толстостенных труб желательно применение повышенного осадочного давления.

Оборудование

Сварка трением принципиально осуществима почти на любом токарном станке, а также на некоторых типах сверлильных и фрезерных станков. Однако тяжелые режимы работы (большие осевые усилия и радиальная вибрация в начале процесса) при сварке трением вызывают быстрый износ и порчу станков. Кроме того, не на всяком станке можно получить необходимые числа оборотов и осевое усилие сжатия.



Фиг. 18. Машина МСТ-3 для сварки трением.

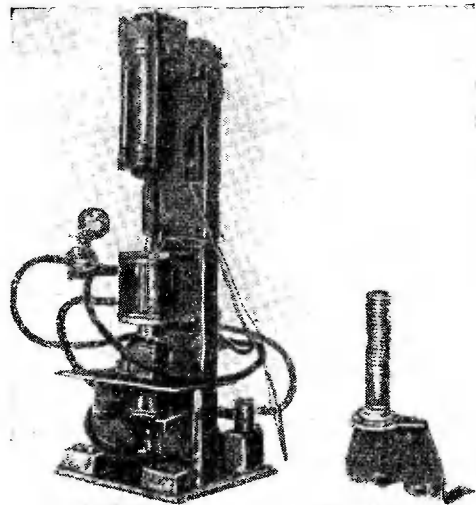
Поэтому в создании оборудования для сварки трением могут быть два пути: реконструкция и переоборудование устаревших металлорежущих станков (осуществляется на ряде заводов, применяющих сварку трением) и создание специализированных машин. Несколько типов таких машин разработано во ВНИИЭСО (табл. 7). Машина МСТ-1 предназначена для сварки заготовок режущего инструмента в условиях массового производства, МСТ-2 — для мелкосерийного и индивидуального производства. Машина МСТ-3 (фиг. 18) предназначена

7. Технические характеристики машин для сварки трением

Параметры	Тип машины			
	МСТ-1	МСТ-2	МСТ-3	МСТ-4
Мощность машины (номинальная) в кка	10		20	2×4,5
Тип привода	Двигатель асинхронный			
Скорость вращения шпинделя в об/мин	1430		1000	1430

продолжение табл. 7

Параметры	Тип машины			
	МСТ-1	МСТ-2	МСТ-3	МСТ-4
Тип привода осадки	Пневматический			
Осевое усилие в кГ: максимальное минимальное	4500 500		10 000 —	1600 —
Тип зажимов	Цанги	Патроны		Цанги
Диаметр свариваемых деталей в мм	10—22	10—25	20—40	12—14
Производительность (количество сварок в час)	150	75	—	200
Машинное время сварки в сек.	5—12		—	—
Вес в кГ	850	900	—	—



Фиг. 19. Лабораторная машина для приварки трением шпилек к листовым деталям (вывод аккумулятора, выполненный сваркой трением).

для сварки малоуглеродистой стали и других металлов. В машине предусмотрено ограничение нагрева изменением величины осадки.

Специализированная полуавтоматическая машина МСТ-4 рассчитана на одновременную сварку двух стыков (приварка двух крайних частей ленточного транспортера к средней части его оси).

Совместно с коллективом одного завода ВНИЭСО разработана специализированная полуавтоматическая машина для приварки трением шпилек (фиг. 19), в которой все операции, кроме загрузки шпилек, автоматизированы.

Преимущества сварки трением

По сравнению с контактной сваркой сварка трением имеет следующие преимущества.

1. Малая мощность сварочных машин. Например, при сварке стальных деталей сечением

2000—2500 мм² необходимая мощность контактной стыковой машины должна быть не менее 200 кка, а машины для сварки трением только 15 кка. Время сварки в обоих случаях 20 сек., cosφ в первом случае 0,6, во втором — 0,85.

2. При использовании асинхронных двигателей в машинах для сварки трением сеть загружается равномерно.

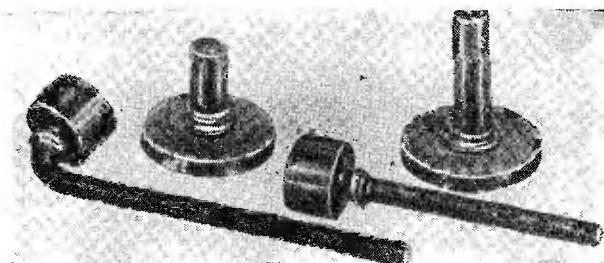
3. Относительная простота изготовления и эксплуатации оборудования.

4. Легкая механизация и автоматизация процессов сварки трением.

5. Улучшение условий труда.

Применение сварки трением

Сварка трением с успехом применяется при изготовлении круглых деталей со ступенчатым профилем. На заводе «Электрик», например, с помощью сварки трением соединяют шток с поршнем пневматических цилиндров контактных машин (фиг. 20). Она внедряется в производство составных деталей из разнород-



Фиг. 20. Образцы сварки штоков с поршнями для контактных машин

ных металлов. На ряде заводов заготовки фрез, метчиков, сверл, разверток сваривают на приспособленных для сварки трением токарных станках (фиг. 21.)

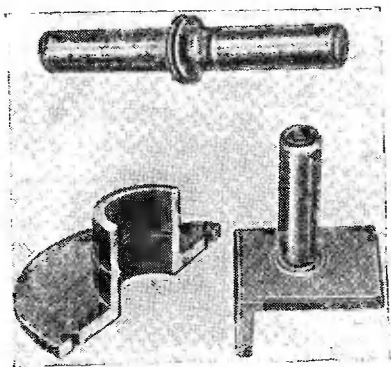


Фиг. 21. Образцы сверл, выполненных сваркой трением

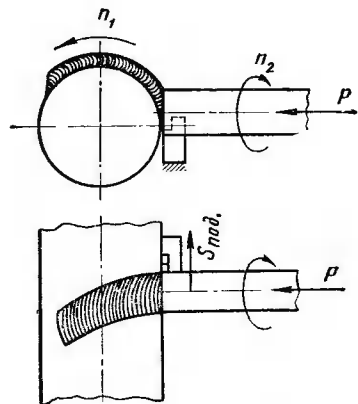
На Харьковском заводе отопительно-вентиляционного оборудования сваривают трением заготовки ручных ломов: к средней части из конструкционной стали приваривают заготовку рабочей части из стали У8, которую затем отковывают. На этом же заводе изготовляют составные пуансоны из инструментальной и конструкционной стали для пробивки отверстий диаметром 22 мм и др.

Характерные соединения, выполненные сваркой трением, изображены на фиг. 22.

В Московском институте механизации и электрификации сельского хозяйства разработан метод восстановления изношенных круглых деталей с помощью сварки трением.



Фиг. 22. Различные детали, сваренные трением



Фиг. 23. Схема восстановления изношенных деталей с помощью сварки трением (Х. А. Таяр).

Схема процесса показана на фиг. 23. Кроме этого, имеется много других случаев применения сварки трением.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вилль В. И., Сварка металлов трением, Машгиз, 1959.
2. Вилль В. И., Сварка металлов трением, «Сварочное производство» № 9, 1957.
3. Вилль В. И., Мощность при сварке трением стальных стержней, «Сварочное производство» № 10, 1959.
4. Гельман А. С. и Сандер М. П., Мощность и нагрев при сварке трением стальных толстостенных труб, «Сварочное производство» № 10, 1959.
5. Игнатов Р. И. и Скуратов А. П., Стыковая сварка трением заготовок инструмента, «Сварка, резка и пайка», Сб. 6, Филиал ВИНТИ, 1958.
6. Рыкалин Н. Н., Пугин А. И., Васильева В. А., Нагрев и охлаждение стержней при стыковой сварке трением, «Сварочное производство» № 10, 1959.
7. Таяр Х. А., Сварка трением как способ восстановления изношенных деталей, «Сварочное производство» № 10, 1959.

ВИБРОДУГОВАЯ НАПЛАВКА

Вибродуговая наплавка, предложенная в 1951—1952 гг. инженером П. Г. Клековкиным применяется в основном как средство восстановления быстрознающихся наружных цилиндрических поверхностей деталей станочного и металлургического оборудования, деталей судовых механизмов и машин, автомобильных и тракторных деталей и т. п. Наплавке могут подвергаться детали диаметром 8—10 мм и выше

Сущность процесса

На вращающуюся деталь наплавляют металл с помощью специальной головки, обеспечивающей подачу и вибрацию электродной проволоки (фиг. 24). Питание сварочной цепи осуществляется от сварочных генераторов постоянного тока (фиг. 24, а), трансформаторов с оттайками на вторичной и иногда первичной обмотках для снижения напряжения на дуге (фиг. 24, б) или последовательно соединенных низковольтного сварочного генератора и сварочного трансформатора (фиг. 24, в).

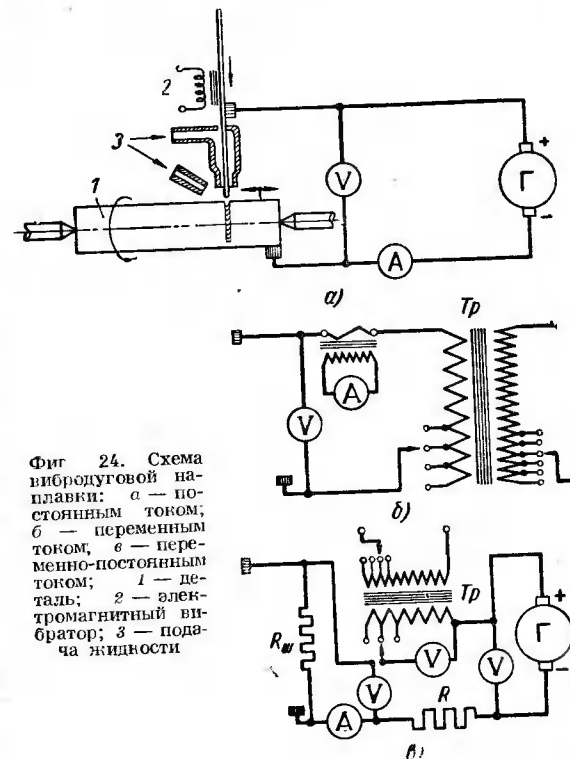
В зону наплавки и дуги подается эмульсия следующего состава: кипяченая вода 1 л, кальцинированная сода 50—60 г и техническое мыло 10—15 г. Возможно применение других ионизирующих элементов, например поташа, красной кровяной соли, монохромата калия и т. п. Введение солей, содержащих легко ионизирующие элементы, повышает устойчивость горения дуги, а растворы эмульсий со щелочными свойствами в некоторой мере защищают металл от воздействия воздуха в процессе наплавки. Кроме этого, жидкость ускоряет охлаждение детали, в связи с чем уменьшается зона термического влияния, снижаются деформации и повышается твердость наплавленного слоя. С другой стороны, подача жидкости непосредственно в зону сварки способствует образованию горячих трещин вследствие интенсивного охлаждения расплавленного металла сварочной ванны.

В настоящее время получила также применение вибродуговая наплавка под слоем флюса, особенно изделий большого сечения, обеспечивающая более спокойное остывание металла шва. Процесс осуществляется аналогично жидкостной; сварочная установка дополнительно оснащается устройством для удержания флюса, приспособлением для удаления расплавленного флюса и охладителем спрейного типа (фиг. 25).

Вибрация электрода облегчает возбуждение дуги и повышает стабильность процесса. При наплавке электрические разряды чередуются с короткими замыканиями.

На фиг. 26 показаны осциллограммы тока и напряжения дуги при наплавке постоянным, переменным и постоянно-переменным током в струе жидкости. Здесь четко выражены три последовательно протекающие фазы в течение каждого периода вибрации (возникающие вследствие изменения расстояния между электродом и деталью).

При таком процессе горения дуги достигается хорошее формирование наплавленных валиков, обеспечивается возможность наплавки тонких валиков

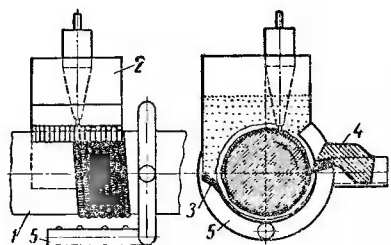


Фиг. 24. Схема вибродуговой наплавки: а — постоянным током; б — переменным током; в — переменным-постоянным током; 1 — деталь; 2 — электрод; 3 — подача жидкости

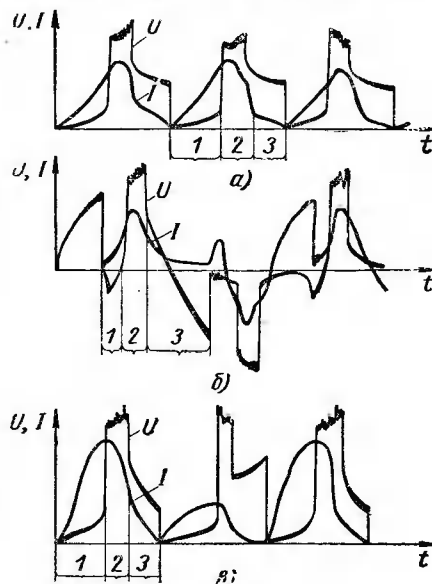
с площадью сечения, близкой к площади сечения проволоки. Однако отношение ширины валика к его толщине увеличивается с повышением среднего напряжения дуги и зависит от пространственного положения сварочной ванны.

При вибродуговой наплавке металл нагревается теплотой электрической дуги и теплотой, выделяемой по закону Ленца — Джоуля во время коротких замыканий (табл. 8).

В процессе наплавки в струе жидкости жидкий металл окисляется и растворяет азот и водород.



Фиг. 25. Схема устройства для удержания флюса и удаления шлака: 1 — наплавляемая деталь; 2 — флюсовый бункер; 3 — стальные щетки; 4 — резец для удаления шлака; 5 — охладитель



Фиг. 26. Осциллограммы напряжения U и силы тока I при наплавке постоянным током (а), переменным током (б) и переменнопостоянным током (в); 1 — фаза короткого замыкания; 2 — фаза электрического разряда (горение дуги); 3 — фаза холостого хода.

8. Распределение теплоты при вибродуговой наплавке

Источник питания дуги	Распределение выделяющейся теплоты в %	
	при дуговом разряде	при коротком замыкании
Генератор постоянного тока	86	14
Трансформатор	94	6
Генератор постоянного тока в трансформаторе	82	18

В результате окисления выгорают углерод, марганец, кремний и другие элементы (табл. 9).

Применение жидкости уменьшает выгорание углерода и марганца, а повышение напряжения дуги увеличивает его.

Вибродуговая наплавка имеет следующие преимущества:

- а) сопровождается незначительными деформациями изделий;
- б) дает твердую поверхность без термообработки;
- в) не требует сложного оборудования;
- г) обладает высокой производительностью.

д. Переход углерода в марганца из электродной проволоки в шов при вибродуговой наплавке (амплитуда колебания электрода 2 мм)

Содержание в электродной проволоке в %		Режим наплавки			Содержание в наплавленном металле в %	
С	Mn	напряжение дуги в в	ток в а	расход жидкости в л/мин	С	Mn
0,57	0,37	21 31	135 115	0	0,25 0,08	0,16 0,13
		21 31	135 115	5	0,35 0,23	0,25 0,23
0,39 0,13	0,69 0,35	21	135	5	0,22 0,07	0,37 0,18

Оборудование для вибродуговой наплавки состоит из автоматической сварочной головки для подачи и вибрации электродной проволоки, станка для вращения детали и перемещения сварочной головки. Источник питания.

Вибродуговые головки состоят из узла подачи электродной проволоки, узла вибрации, узла подачи охлаждающей жидкости, опорного узла и кассеты для электродной проволоки. Унифицированное оборудование для вибродуговой наплавки пока не выпускается; поэтому на предприятиях встречаются автоматы весьма разнообразных конструкций, спроектированные для нужд данного производства. Колебания проволоки в большинстве случаев осуществляются с помощью электромагнитных вибраторов, как, например, в сварочной головке конструкции ЧТЗ (фиг. 27). Применяются также механические вибраторы (фиг. 28) и электромагнитные с плоскими пружинящими элементами (фиг. 29), обеспечивающие возвратно-поступательное движение проволоки. Иногда применяются вращательное движение электродной проволоки (фиг. 30). При указанном способе отсутствуют вибрирующие массы, поэтому головки имеют более компактный вид.

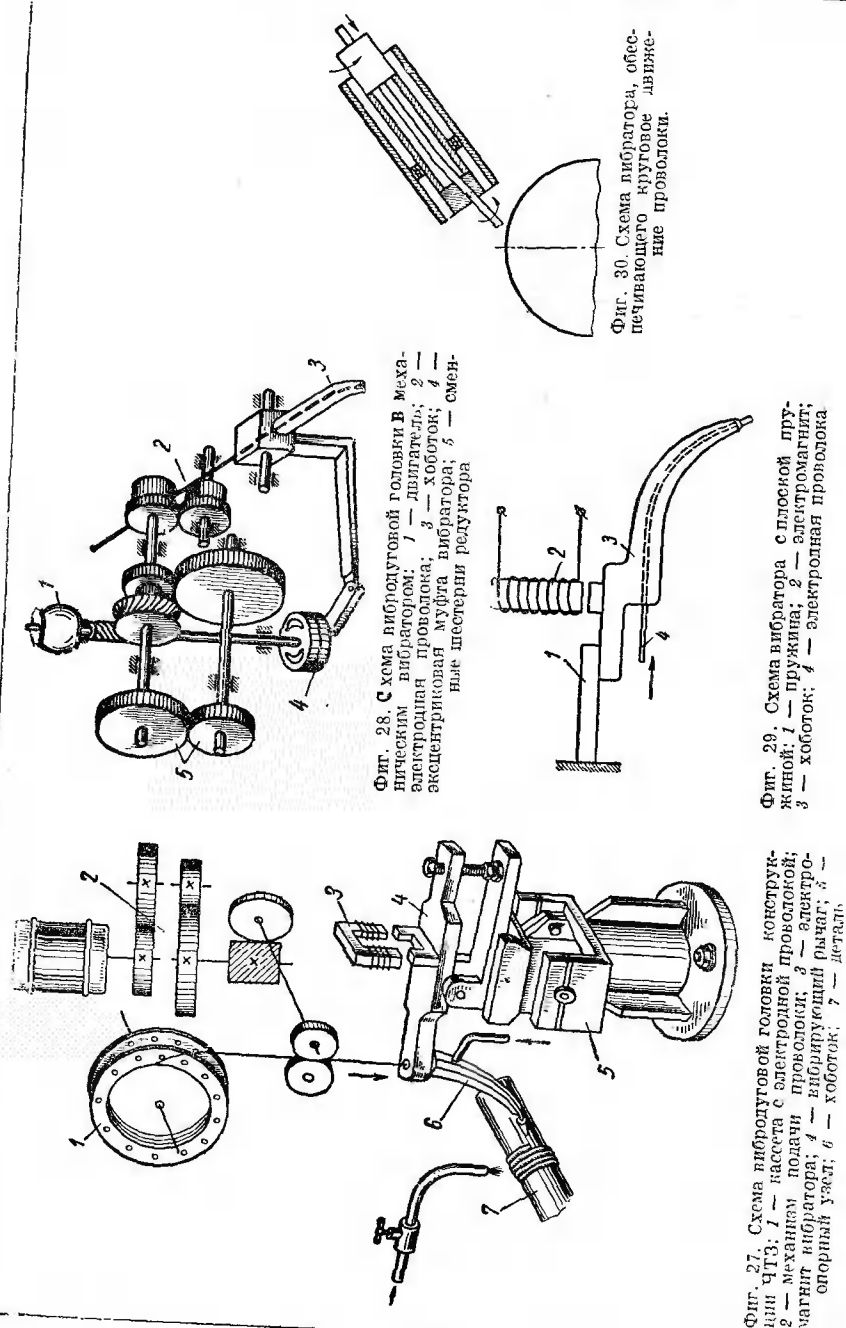
Технология вибродуговой наплавки

Подготовка деталей под наплавку сводится в основном к их очистке от загрязнений и ржавчины. При поверхностных дефектах глубиной более 2 мм их рекомендуется предварительно заваривать ручной дуговой сваркой с последующей зачисткой лишнего наплавленного металла.

Марка электродной проволоки выбирается в зависимости от требуемых свойств наплавляемого металла, в основном по заданной его твердости и по допустимости в нем трещин. Твердость наплавляемого слоя зависит не только от химического состава проволоки, но и от режима наплавки и химического состава основного металла детали. С увеличением в проволоке углерода, марганца, хрома, молибдена, никеля и других элементов увеличивается склонность наплавляемого металла к закалке, вследствие чего повышается его твердость. Обычно для наплавочных работ применяется проволока из углеродистой или легированной стали по ГОСТу 2246-60.

В зависимости от требуемой толщины наплавляемого слоя диаметр проволоки выбирается в пределах 1—3 мм (табл. 10).

Амплитуда колебаний электродной проволоки выражается по диаметру d электродной проволоки и напряжению дуги и составляет $0,75-1d$. Меньшему напряжению дуги соответствует меньшая амплитуда.



Частота колебаний обычно устанавливается 25—100 гц.
Режимы наплавки. При наплавке напряжение дуги может изменяться в широких пределах — от 4—5 до 30—32 в. Более низким напряжениям

10. Рекомендуемый диаметр проволоки в зависимости от толщины наплавляемого слоя

Толщина слоя в мм	Диаметр проволоки в мм
Менее 1	1—1,5
1—2	1,5—2,5
2 и более	2—3

соответствуют меньшие скорости подачи электродной проволоки и меньшая производительность.

Снижение напряжения способствует снижению потерь на угар и разбрызгивание электродного металла. Наплавку на постоянном токе ведут на обратной полярности; это уменьшает разбрызгивание, улучшает проплавление и повышает чистоту наплавленного слоя. На тепловой баланс и стабильность процесса при наплавке существенное влияние оказывает индуктивность цепи. Поэтому при наплавке на постоянном и выпрямленном токе индуктивность цепи должна быть минимальной, но достаточной для предупреждения образования периодов холодного хода в каждый период вибрации электрода.

С в а р о ч н ы й т о к устанавливается в зависимости от диаметра электродной проволоки, скорости ее подачи и напряжения дуги.

Ориентировочно можно рекомендовать режимы, приведенные в табл. 11.

11. Ориентировочные режимы вибродуговой наплавки

Параметры режима	Наплавка в струе жидкости					Наплавка под флюсом ОСП-45
	при низких напряжениях	при напряжении 15 в и более	постоянным током от генератора ПС-300 при напряжении дуги 20 в			леталей диаметром 45—60 мм при напряжении дуги 30 в и частоте колебаний электрода 24 в секунду ¹
Диаметр проволоки в мм	1,8—2,2		2,0			1,2
Скорость подачи проволоки в мм/сек	13—17	15—22	16	20	22	23
Сварочный ток в а	110—130	150—180	130	180	210	60—70

¹ Толщина наплавленного слоя 0,7—0,15 см при глубине проплавления основного металла 0,5—0,7 см

Как правило, режимы подбираются опытным путем в зависимости от характера наплавки и источников питания сварочных установок

С увеличением скорости подачи проволоки увеличивается производительность наплавки, но несколько возрастают потери электродного металла и ухудшается чистота наплавляемого слоя.

Скорость наплавки выбирается в зависимости от требуемого сечения наплавляемого валика и рассчитывается по соотношению

$$v = \frac{\pi d^2 w K}{4 f S a},$$

где v — скорость наплавки в мм/сек.

d — диаметр электродной проволоки в мм;

w — скорость подачи электродной проволоки в мм/сек;

K — коэффициент перехода электродного металла в наплавленный металл;

f — толщина наплавляемого слоя в мм;

S — шаг наплавки в мм/об;

a — коэффициент, учитывающий отклонение фактической площади сечения наплавляемого валика от площади четырехугольника с высотой f .

Потери электродного металла на угар и разбрызгивание составляют 10—30% в зависимости от режима наплавки. Поэтому коэффициент K можно принимать в пределах 0,7—0,9. Чем больше ток, напряжение дуги и скорость подачи, тем меньше K . Значения a для дуговой сварки обычно принимают равными 0,6—0,8.

Механические свойства наплавленного металла определяются в основном режимом наплавки и составом присадочной проволоки; структура зависит в основном от содержания углерода и других легирующих элементов. Пределы твердости наплавленного металла различной проволокой даны в табл. 12.

12. Твердость наплавленного металла при наплавке в струе жидкости

Марка проволоки	Предел твердости
Св-03	HV 180—350
Св-20	HV 220—370
Св-40	HRC 12—45
Св-60	HRC 20—60
30ХГСА	HRC 15—50

При наплавке под флюсом проволокой Св-10Г2 на сталь 45 твердость наплавленного металла HV 183—207, зоны термического влияния HV 215—250 и основного металла HV 155—164.

При наплавке легированной проволокой твердость повышается до HV 350—360.

ЛИТЕРАТУРА

Щацкенич И. Р., Вибродуговая наплавка, Машгиз, 1958.
Шляпин В. Б., Виноградов Ю. Г., Леонтьев Д. В., Лонский Е. Д., Вибродуговая наплавка под флюсом «Сварочное производство» № 2, 1960.

СВАРКА ТОКАМИ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

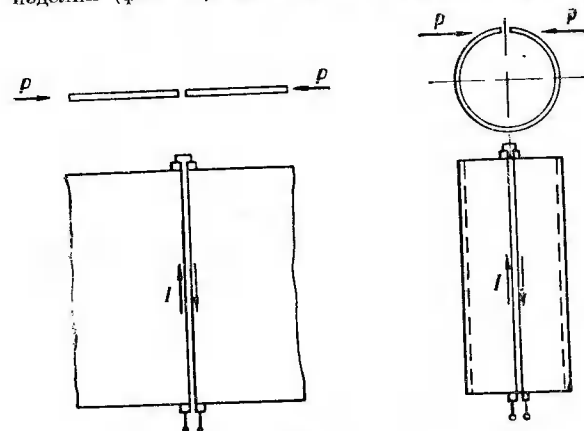
Нагрев токами высокой частоты (т. в. ч.) получил применение в основном при сварке продольных швов труб [1], [2], [3], [4] и при армировании твердыми сплавами кромок режущего инструмента [5].

Сварка продольных швов труб

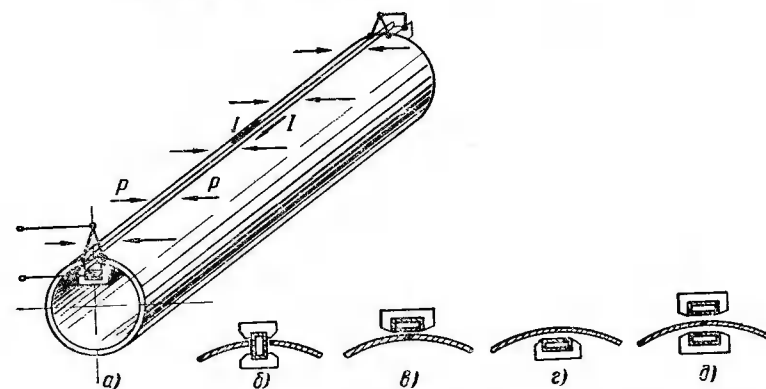
Различают два способа сварки продольных швов труб:

- а) одновременная сварка продольного шва (трубы большого диаметра), при которой кромки нагреваются током проводимости;
- б) последовательная сварка при местном нагреве кромок индуктированным током или током проводимости [6].

При одновременной сварке т. в. ч. подводят непосредственно к кромкам свариваемых изделий (фиг. 31). Для интенсификации нагрева рекомендуется



Фиг. 31. Схема одновременной сварки продольных швов труб и листов высокочастотным током проводимости.



Фиг. 32. Схема одновременной сварки продольных швов труб высокочастотным током проводимости с использованием дополнительных шин.

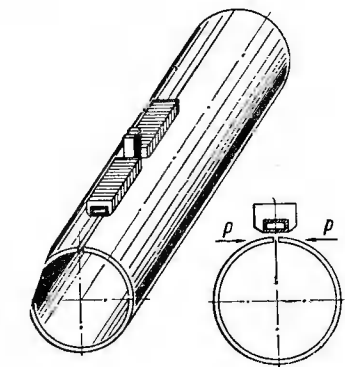
применение дополнительных шин, окруженных магнитопроводом (фиг. 32). В этом случае один провод от источника тока подводится к обеим кромкам свариваемого шва, а второй — к шине (фиг. 32, а). Шину можно располагать в зазоре (фиг. 32, б), сверху или снизу шва (фиг. 32, в и г) или с обеих сторон (фиг. 32, д). При расположении шины в зазоре свариваемые поверхности металла наиболее интенсивно нагреваются, поэтому указанный вариант наиболее эффективен. Однако наличие зазора между кромками вызывает их интенсивное окисление при нагреве и создает разрыв между концом нагрева и осадкой.

Лучшие результаты получены при сварке с шинами, расположенными с обеих сторон шва.

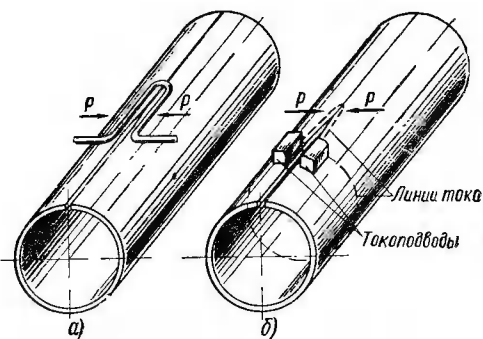
Опытная сварка продольных швов труб диаметром 529 мм и длиной 1 м из стали Ст.2 с толщиной стенки 10 мм и стали 25Г с толщиной стенки 8 мм выполнена НИИ ТВЧ на опытной машине, основными элементами которой являются пресс для осадки и шина для нагрева. Лучшие результаты были получены при нагреве током частоты 2500 гц в течение 15—20 сек.; температура кромок трубы достигала 1350—1400°, усилие осадки 4—5 кг/мм², величина осадки 6—8 мм. При сварке труб из низколегированной стали рекомендуемое удельное давление осадки достигает 15 кг/мм². Для более плотного сжатия кромок применялось предварительное обжатие усилием 1—1,5 кг/мм². По данным лабораторных исследований удельная мощность составляет 200 ккал/пог. м трубы. После сварки требуется срезка грата.

Фиг. 33. Схема последовательной сварки продольных швов труб индуктированным т. в. ч. (многовитковый индуктор).

При последовательной сварке труб нагрев кромок осуществляется т. в. ч. с помощью индукторов или током проводимости. Применяются различные типы индукторов — многовитковые в виде соленоида (фиг. 33), охватывающего всю трубу; плоские индукторы с железным сердечником (фиг. 34) и петлевые



Фиг. 34. Схема последовательной сварки продольных швов труб индуктированным т. в. ч. (плоский индуктор с железным сердечником).



Фиг. 35. Схема петлевого индуктора для сварки продольных швов труб (а) и схема сварки током проводимости (б).

(фиг. 35, а), концентрирующие нагрев кромок. В некоторых случаях применяют комбинированный нагрев двумя типами индукторов, один из которых осуществляет предварительный подогрев свариваемых кромок. Индукционный метод нагрева позволяет сваривать продольные швы труб как из черных, так и цветных металлов, в том числе тонкостенные трубы. При достаточно больших мощностях высокочастотных генераторов скорость сварки практически ограничивается только формовкой трубных заготовок.

Большой промышленный интерес представляет сварка сопротивлением токами проводимости частотой до 450 кГц по схеме, представленной на фиг. 35, б. В этом случае т. в. ч. подводятся к кромкам трубы через контактные колодки.

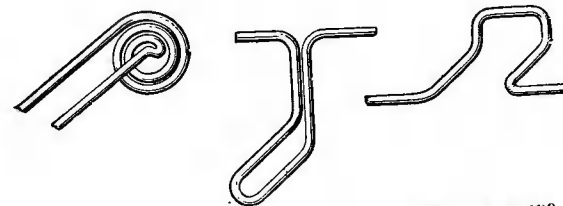
В табл. 13 приведены производственные режимы сварки некоторых типов размеров труб [4] по схемам фиг. 34 и 35.

13. Производственные режимы сварки труб [4]

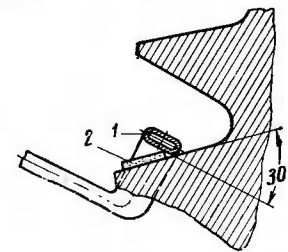
Материал	Диаметр трубы в дюймах	Толщина стенки в мм	Мощность в кка	Скорость сварки в м/мин	Частота в кГц
Мало- и среднеуглеродистые стали	2	0,51	200	61	4
	1 1/2	3,81	600		8,3
	1 1/2	1,25	250	45,5	10
	2	1,65	250		
	8 5/8	3,58	130	7,6	
Сварочное железо	1	0,3	35	23	450
Алюминий	1	1,27	50	30,4	
	4	1,24	19	49	
	1	1,24	17	61	
Нержавеющая сталь 302	1	1,62	25	20,7	
Латунь 70/30	1 1/2	0,89	16	45,7	

Армирование твердыми сплавами шарошек буровых долот

Оснащение твердыми сплавами зубьев шарошек буровых долот из сталей 12ХН2 и 18ХТ осуществляется при местном индукционном нагреве с помощью простейших одновитковых и спиральных индукторов (фиг. 36). Сплав релит (30—40 меш) в смеси с прокаленной борной кислотой (в равных объемах) спекается в виде брикетов толщиной 4 мм и размерами, соответствующими размерам



Фиг. 36. Схема индукторов для местного нагрева т. в. ч.



Фиг. 37. Схема армирования твердым сплавом зубьев буровых долот: 1 — индуктор; 2 — брикет твердого сплава.

зубьев шарошек. Полученный брикет укладывается на армируемую грань зуба и в таком виде нагревается т. в. ч. (фиг. 37). В процессе нагрева расплавляются брикет и армируемая грань зуба, при этом зерна релита проникают в основной металл на глубину в 2—3 мм. Продолжительность армирования одной поверхности зуба от 10 до 27 сек.

Источником т. в. ч. служит ламповый генератор АЗ-43 частотой 450 кГц и мощностью 60 кка.

Преимущества сварки токами высокой частоты

Основным преимуществом сварки с нагревом т. в. ч. является возможность при индукционном нагреве сваривать прямошовные трубы из неочищенной горячекатаной стали; применение токов радиочастоты позволяет сваривать трубы из легкоокисляющихся металлов, аустенитных и жаропрочных сталей и сплавов, алюминия и др.

Процесс легко механизуется и автоматизируется и благоприятен в санитарном отношении.

Сварка продольных швов труб освоена рядом отечественных заводов. В том числе Московским трубным заводом освоена сварка труб диаметром 83×3 мм (скорость сварки $v = 22$ м/мин, индукционный нагрев током $f = 2,5$ кГц) и труб из аустенитной стали токами радиочастоты (скорость сварки около 30 м/мин).

ЛИТЕРАТУРА

1. Глуханов Н. П., Богданов В. Н., Кулжинский В. Л., Сварка труб большого диаметра продольным швом при высокочастотном нагреве сопротивлением, «Сварочное производство» № 2, 1959.
2. Патон Б. Е., Лебедев В. К., Работы Института электросварки им. Е. О. Патона АН УССР в области контактной сварки, «Сварочное производство» № 7, 1959.
3. Патон Б. Е., Лебедев В. К., Перспективы применения токов высокой частоты для сварки металлов, «Автоматическая сварка» № 5, 1957.
4. Osborn H. B., Высокочастотная непрерывная шовная сварка стальных и не-стальных труб, «The Welding Journal» № 12, 1956.
5. Кузмак Е. М., Курдин А. И., Ческис Х. И., Технология оснащения твердыми сплавами долот для бурения, Госгостехиздат, 1954.
6. R u d d W. C., Высокочастотная сварка сопротивлением, «The Welding Journal» № 7, 1957.

СВАРКА УЛЬТРАЗВУКОМ

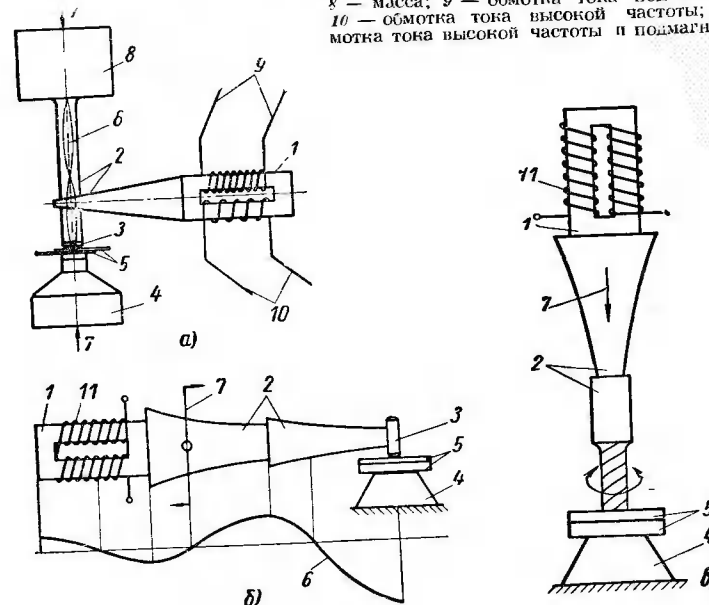
Общие сведения

При сварке ультразвуком неразъемное соединение металлов образуется при совместном воздействии на детали механических колебаний высокой частоты и небольших сжимающих усилий. Колебания и статическое усилие передаются свариваемым деталям через специальную систему (фиг. 38 и 39). В процессе сварки колебания вызывают сдвиговые деформации, обеспечивающие разрушение и устранение поверхностных пленок, местный разогрев в контакте между деталями (при сварке пары хромель — алюминий температура может повышаться до 350° ; медь — константан — 450° ; алюминия — 200°), а контактное усилие — интенсивное пластическое течение металла, необходимое для образования соединения. Ультразвуком свариваются внахлестку в точечном и шовном вариантах детали малой толщины и их сочетание с деталями большой толщины.

Источником ультразвуковых колебаний обычно служит магнитострикционный преобразователь с инструментом, который является одновременно трансформатором амплитуд ультразвуковых колебаний. Длина инструмента обычно соответствует целому числу полувольт ультразвуковой волны (см. кривую 6, фиг. 38, б). Питание подводится к преобразователю от специального высокочастотного генератора, схема которого допускает плавную настройку частоты тока. Рабочая частота определяется собственной частотой колебаний сварочной головки, когда наконечник прижат к изделию.

Способность материалов свариваться ультразвуком различна. Хорошо свариваются медь, алюминий и его сплавы, титан и многие другие пластичные металлы; хуже — жаропрочные стали; к числу материалов, сваривающихся плохо, относятся инструментальные стали. Наибольшая толщина верхней свариваемой детали зависит в основном от подводимой к ней акустической мощности. Например, при мощности 2 кВт удается сваривать лакированный дуралюмин толщиной до 1—1,5 мм, а при мощности 4 кВт до 2—2,5 мм.

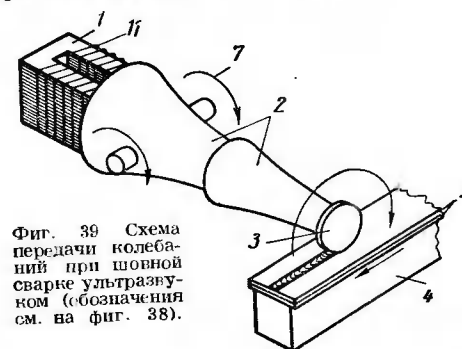
Фиг. 38. Схемы передачи колебаний для точечной сварки ультразвуком: а — через вертикальный стержень; б — непосредственно от продольно колеблющегося инструмента; в — через вилочный инструмент (крутильные колебания); г — пакет магнитострикционного преобразователя; 2 — система, трансформирующая и передающая упругие колебания; 3 — рабочий наконечник; 4 — опора; 5 — деталь; 6 — распределение амплитуд упругих колебаний; 7 — усилие, сдвигающее детали; 8 — масса; 9 — обмотка тока подмагничивания; 10 — обмотка тока высокой частоты и подмагничивания; 11 — обмотка тока высокой частоты и подмагничивания.



Преимущества сварки ультразвуком

В сравнении с контактной сваркой и сваркой давлением сварка ультразвуком обладает следующими преимуществами: а) возможность соединения деталей неограниченно малой толщины; б) осуществление процесса сварки в твердом состоянии и без существенного нагрева всей детали, что открывает большие

перспективы для соединения металлов, обладающих высокой химической активностью или склонных к охрупчиванию в зоне термического влияния; отсутствие плавления облегчает соединение разнородных материалов и создает возможность приварки тонких листов и фольги к деталям неограниченной толщины, а также одновременной сварки пакета фольги; в) отсутствие необходимости в высоком качестве подготовки поверхности (для алюминия, алюминий-марганцевых сплавов, меди, титана достаточно промывка деталей в ацетоне); г) применение небольших сжимающих усилий (10—250 кГ), вследствие чего деформация поверхности деталей в месте их соединения незначительна (вмятина, как правило, не превышает 5—10%); д) очень небольшая мощность оборудования при правильной его конструкции (если, например, для контактной точечной



Фиг. 39. Схема передачи колебаний при шовной сварке ультразвуком (обозначения см. на фиг. 38).

сварки алюминия толщиной 1 мм необходима машина мощностью 100—150 *кка*, то при сварке ультразвуком аналогичного соединения потребляется всего 1,5—2,5 *кка*; е) выполнение установки для сварки ультразвуком в переносном варианте упрощается возможностью передачи без существенных потерь электрической энергии от генератора к преобразователю на расстояние до 30—50 м.

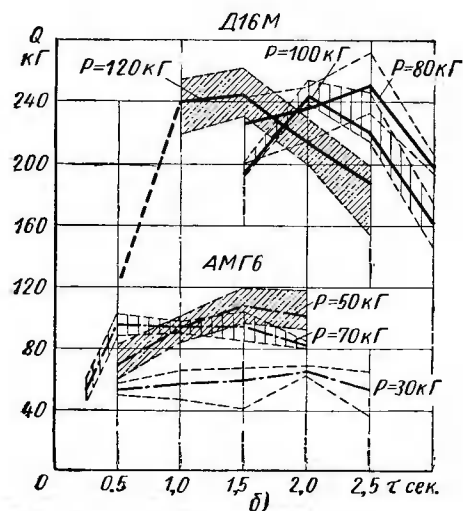
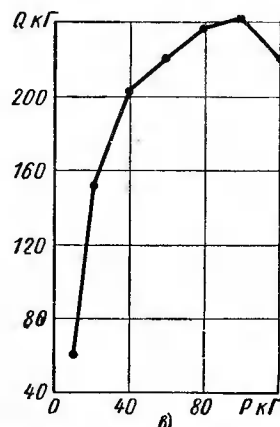
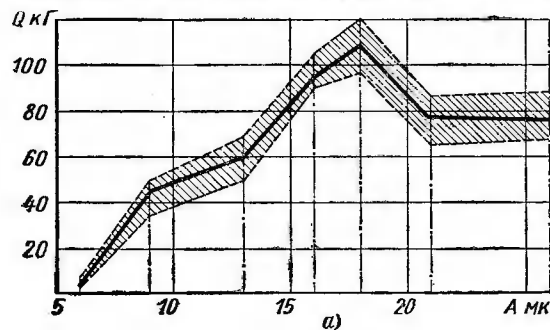
Области применения

Ультразвуковая сварка прежде всего найдет применение для соединения тонких деталей из однородных и разнородных материалов в приборостроении и радиоэлектронной промышленности, для сварки металлов, чувствительных к нагреву, для приварки тонких обшивок к несущей конструкции (в авиационной промышленности, автомобилестроении и ряде других отраслей промышленности).

По мере совершенствования технологического процесса и оборудования область применения ультразвуковой сварки будет непрерывно расширяться.

Параметры режима сварки ультразвуком Прочность соединений

Основные параметры процесса ультразвуковой сварки — амплитуда упругих колебаний (A), время воздействия колебаний на детали (τ) или скорость сварки при шовном варианте ($v_{св}$), статическое усилие в контакте (P), частота



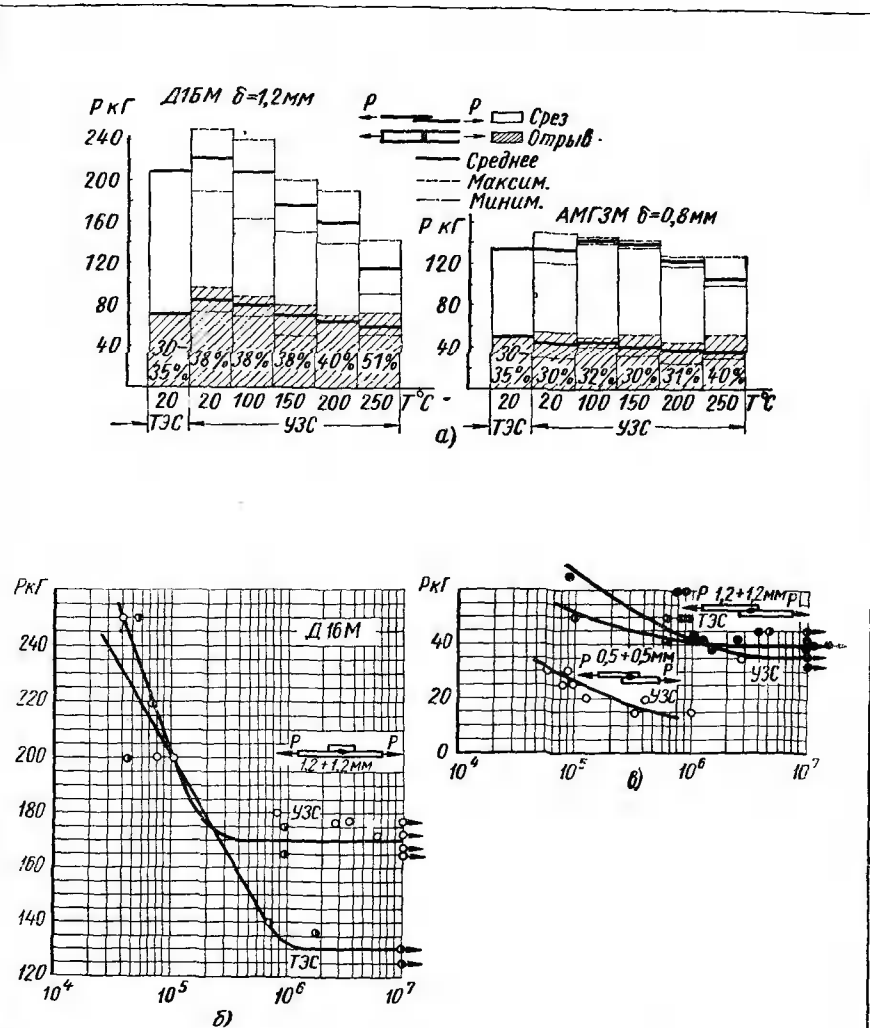
Фиг. 40. Типовые зависимости статической прочности точечного соединения на растяжение — срез (Q): а — от амплитуды A (АМГ6; 0,5 + 0,5 мм; $P = 50$ кг, $\tau = 1,5$ сек.); б — от времени сварки τ (Д16М; 1,2 + 1,2 мм; $A = 23$ мм и АМГ6; 0,5 + 0,5 мм, $A = 17$ мм); в — от контактного усилия P (Д16М; 1,2 + 1,2 мм, $A = 23$ мм, $\tau = 2$ сек.).

упругих колебаний (f). Для сварки ультразвуком применяются частоты от 15 до 70 *кГц*. Прочность точечного соединения в зависимости от A , τ и P характеризуется наличием максимума при некоторых оптимальных значениях этих параметров (фиг. 40). При малых их значениях соединение образуется на незначительной площади, при чрезмерно больших — прочность точки снижается как из-за увеличения деформации поверхности верхней детали, так и вследствие усталостного разрушения металла в пограничных зонах соединения. Изменение формы и размеров наконечника (при неизменном удельном давлении в контакте) позволяет изменять площадь сварного соединения и тем самым величину усилия, разрушающего точку. Время достижения максимальной прочности соединения можно изменять, применяя различные P (фиг. 40, б). Производительность процесса повышается также с увеличением значения A . Примеры режимов сварки ультразвуком приведены в табл. 14.

14. Режимы ультразвуковой сварки односторонних соединений и значения срезающего усилия

Материал	Толщина свариваемых деталей в мм	Режим УЗ сварки			Наконечник		Диаметр точки в мм	Среднее значение усилия среза в кг	Характер разрушения
		P в кг	τ в сек	A в мм	Материал	R сферы в мм			
А1	0,5 1,0 1,5	30 60 90	0,5 1,0 2,5	10 15 15	Сталь 45		4	53 103 150	Вырыв Срез
	0,5 1,0 1,2 1,5	30 80 100 100	0,5 1,5 2,0 3,5	15 23 23 22				72 220 250 236	Вырыв Срез
	0,8 1,0 1,5	90 110 140	2 2,5 3	22 22 22				146 163 170	То же
Д16АМ	0,5 1,0 1,2 1,5	30 80 100 100	0,5 1,5 2,0 3,5	15 23 23 22	ШХ-15		10		
Д16АТ	0,8 1,0 1,5	90 110 140	2 2,5 3	22 22 22	ШХ-15			146 163 170	То же
АМГ6Т АМГ3М Д1АМ	0,5 0,8 0,5	50 80 50	1,5 0,5 0,5	18 22 10	Сталь 45			109 140 74	
М1	0,5 1,0	65 80	1,5 2	20 22			3	113 224	Вырыв
ВТ1Д	0,5 1,0	80 80	0,5 1,0	22 22	ВК-20			200 280	
Zr ВТ1Д+Zr	0,5+0,5 0,5+0,5	90 90	0,25 0,25	25 25				70 67	

Соединения, сваренные ультразвуком, обладают высокой статической прочностью на срез и отрыв при комнатной и повышенной температурах (фиг. 41, а). При циклических нагрузках предел выносливости рабочих соединений, сваренных ультразвуком, практически равен, а связующих — выше, чем предел выносливости соединений, выполненных контактной точечной сваркой (фиг. 41, б и в).

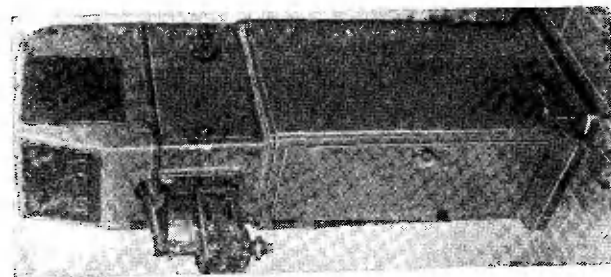


Фиг. 41 Прочность точечных соединений деталей из алюминиевых сплавов, сваренных ультразвуком (УЗС) и точечной электросваркой (ТЭС) в условиях статического нагружения на срез и отрыв при различных температурах (а); кривые усталости для связующих (б) и рабочих (в) соединений.

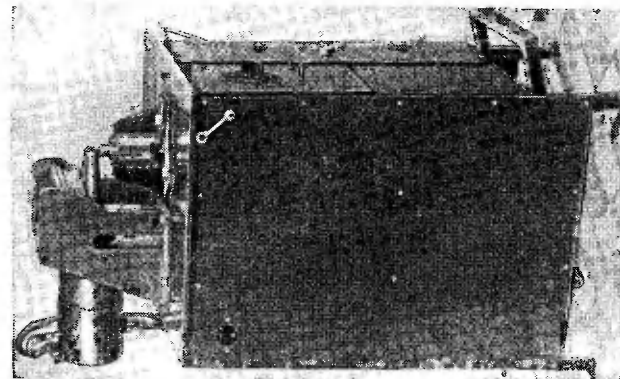
Оборудование для сварки ультразвуком
16. Технические характеристики установок для точечной и шовной ультразвуковой сварки (фиг. 42—46)

Характеристики	Тип установки			
	УЗСМ-1*	УЗСМ-2*	УЗТШ-1**	УТ-4***
Мощность магнотриционного ультразвукового преобразователя в кгс	2,5—4,0	2,5—4,0	4,0	до 6,0
Рабочая частота в кГц	19,5	19,5	20	20
Пределы регулирования контактного усилия в кгс	20—200	20—140	10—200	5—200
Пределы плавного регулирования времени сварки в сек.	0,1—4,0	—	0,2—8	0,1—2,0
Скорость сварки в м/час	—	4,5—150	4,5—145	—
Полезный пульт сварочного инструмента в мм	75	135	130	130
Род привода, создающего контактное усилие	Пневматический	Рычажно-механический	Пневматический	Рычажно-механический
Расход воздуха в м ³ /мин	0,003	—	0,005	—
Расход воды в л/мин	3	3	3	3
Габаритные размеры в мм:				
высота	1250	1320	1440	1020
ширина	430	490	570	635
длина	670	950	745	680
Вес сварочного аппарата в кг	120	200	240	70

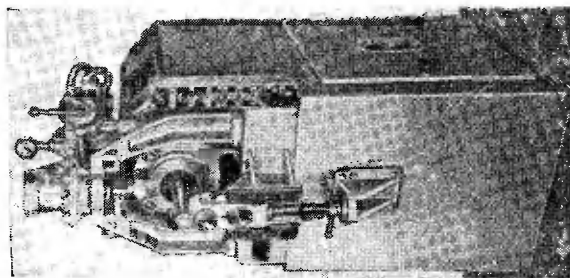
* Конструкция Научно-исследовательского технологического института и Института металлургии АН СССР.
 ** Конструкция Научно-исследовательского института технологии и организации производства. При замене акустического узла машина может выполнять как точечную, так и шовную сварку.
 *** Конструкция Московского высшего технического училища и Московского энергетического института.



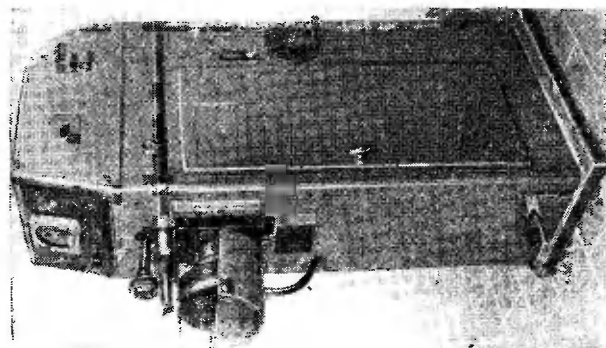
Фиг. 42 Точечная ультразвуковая сварочная машина УЗСМ-1 (конструкция Научно-исследовательского технологического института и Института металлургии АН СССР).



Фиг. 45. Точечная ультразвуковая сварочная машина УТ-4 (конструкция Московского высшего технического училища и Московского энергетического института)



Фиг. 44. Ультразвуковая сварочная машина УЗП-1 в поворотном варианте (конструкция Научно-исследовательского института технологии и организации производства).



Фиг. 43. Шовная ультразвуковая сварочная машина УЗСМ-2 (конструкция Научно-исследовательского технологического института и Института металлургии Академии Наук СССР).

ЛИТЕРАТУРА

1. Китайгородский Ю. И., Коган М. Г., Кузнецов В. А., Рыкалин Н. Н., Силин Л. Л., Соединение металлов в твердом состоянии при воздействии ультразвуковых колебаний, «Известия АН СССР ОТН № 8», 1958, стр. 88—90.
2. Применение ультразвука в сварочной технике. Сборник статей под редакцией Г. А. Николаева, ЦБТИ НИИ Электропромышленности № 305, Москва, 1959.
3. Применение ультразвука в сварке. ЦИ НТО Машпром. Тезисы докладов научно-технического совещания, Москва, 1959.
4. Силин Л. Л., Кузнецов В. А., Сысолин Г. В., Ультразвуковая сварка алюминия и его сплавов, «Сварочное производство» № 3, 1960.
5. Силин Л. Л., Кузнецов В. А., Эльяшева М. А., Прочность соединений из алюминиевых сплавов, выполненных ультразвуковой сваркой, «Сварочное производство» № 7, 1960.
6. Силин Л. Л., Применение ультразвука в сварочных и литейных процессах, ВИНТИ, Москва, 1959.
7. Сиротюк М. Г., Превращение продольных колебаний в сдвиговые или крутильные, «Акустический журнал», т. V, вып. 2, 1959.

СВАРКА ЭЛЕКТРОННЫМ ЛУЧОМ В ВАКУУМЕ

Развитие способа сварки электронным лучом в вакууме вызвано растущим применением в промышленности в качестве конструкционных материалов тугоплавких и химически высокоактивных металлов (молибдена, вольфрама, тантала, ниобия, циркония, ванадия и др.) и их сплавов. Способность этих металлов поглощать водород, азот и кислород при сравнительно невысоком нагреве и связанное с этим охрупчивание сварных соединений вызывают необходимость производить их сварку в среде с минимальным содержанием указанных газов.

В связи с высокой температурой плавления и снижением пластичности металла в результате рекристаллизации целесообразно использовать источники с высокой концентрацией теплоты, обеспечивающие эффективное расплавление свариваемого металла при минимальной зоне термического влияния.

Сварка электронным лучом осуществляется в камерах с разрежением до 10^{-4} — 10^{-6} мм рт. ст. Источником питания служит высоковольтная выпрямительная установка мощностью до 50 квт. Анодом является свариваемая деталь, а катодом — вольфрамовая нить или спираль, нагретая до температуры $\geq 2300^\circ \text{C}$. Потенциал между ними поддерживается в пределах 10—140 кв (обычно до 30 кв), а ток от 10 ма до 1 а. Под действием высокого потенциала электроны, излучаемые катодом, разгоняются до больших скоростей. При соударении электронов с поверхностью активного пятна на свариваемой детали большая часть их кинетической энергии переходит в тепловую и металл плавится.

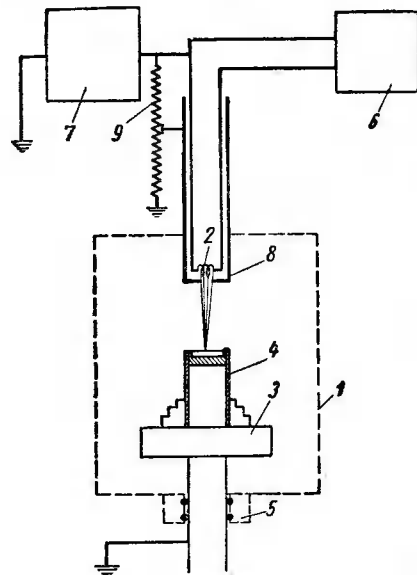
Энергия, выделяющаяся на поверхности, пропорциональна числу электронов, ударяющихся о поверхность в единицу времени, и кинетической энергии электронов, определяемой катодным напряжением.

В результате интенсивного испарения металла в активном пятне на поверхности изделия образуется глубокая коническая лунка, и тепло поглощается в основном слоями металла, лежащими под поверхностью. Это позволяет получать швы с отношением глубины к ширине зоны проплавления, равным 2 : 1 и более. Размеры этой зоны можно регулировать изменением электронного тока, напряжения, повторными прерываниями луча и скоростью его перемещения по изделию.

При сварке электронным лучом в вакууме молекулы оставшего газа, а также окислы, нитриды и карбиды испаряющегося основного металла ионизируются при бомбардировке электронами, а положительные ионы концентрируются у катода. Это повышает чистоту атмосферы в зоне сварки и способствует удалению неметаллических включений из шва.

Для концентрации электронного потока в активном пятне его сжимают электростатическим полем фокусирующих линз в виде молибденовых или вольфрамовых колец или магнитным полем, создаваемым электромагнитной катушкой, помещенной в железном каркасе, через центральное отверстие которого про-

ходит электронный луч. При сварке очень тонкого металла фокусировкой удается получить пятно нагрева площадью около $0,1 \text{ мм}^2$, а для больших толщин диаметр электронного луча может быть изменен от 1,5 до 5 мм. Такая точность фокусировки практически недостижима при других методах сварки. Удельный поток энергии в активном пятне на поверхности металла составляет



Фиг. 46. Схема установки для сварки электронным лучом.

около $120\,000 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{сек}$. Этот тепловой поток превышает примерно в 20 раз наибольший удельный тепловой поток пятна нагрева сварочной дугой мощностью около 34 кВт, горящей под флюсом. Луч направляется на место сварки электростатической или электромагнитной отклоняющей системой либо изменением угла наклона самой электронной пушки (системы катодного и анодного блоков с фокусирующими линзами). Отклоняющие системы используются и для колебаний электронного луча поперек или вдоль направления сварки. Это позволяет применять присадочный металл и регулировать ширину шва.

При сварке легко испаряющихся металлов эффективность электронного потока и количество выделяющегося тепла уменьшаются вследствие значительной ионизации пространства над пятном нагрева. В этом случае сварку ведут импульсами, используя луч с большой плотностью энергии. Луч прерывают модуляцией напряжения, подаваемого на фокусирующее устройство. Частота модуляции от 1 до 3000 гц при продолжительности импульса от 0,01 до 0,00005 сек.

Сочетание точно регулируемого высококонцентрированного нагрева с очень низким атмосферным давлением позволяет сваривать активные и тугоплавкие металлы, а также листы и трубы очень малой толщины из нержавеющей стали и легких сплавов. Необходимость ведения процесса в вакуум-камерах снижает его производительность, что наряду со сложностью аппаратуры ограничивает область применения этого прецизионного способа сварки. Он применяется в атомной технике при изготовлении оболочек теплоделяющих элементов (ТВЭЛ) атомных реакторов, в радиотехнической промышленности, например при изготовлении металлических оболочек электронных ламп.

Принципиальная схема установки для сварки электронным лучом показана на фиг. 46. Внутри вакуумной камеры 1 помещаются электронная пушка 2 и приспособление 3 для крепления и перемещения свариваемых деталей 4. Снаружи камеры расположен привод 5. Электрооборудование состоит из накального трансформатора 6 и высоковольтного трансформатора с выпрямительным устройством 7. На схеме показана система с электростатической фокусировкой луча. Отрицательное напряжение, подаваемое на фокусирующий колпачок 8, регулируется с помощью потенциометра 9.

Вакуумная система состоит из форвакуумного насоса, высоковакуумного паро-масляного насоса и системы вентилей с задвижками.

В установке ЭЛВ-4 (МВТУ) используются две электронные пушки: пушка для плавки металлов с мощным электронным лучом при напряжении до 100 кВ и малогабаритная пушка, создающая электронный луч при напряжении до 50 кВ и токе до 3—5 а. Фокусировка — электромагнитная. Сварка металлов толщиной 1—1,5 мм ведется при токе и напряжении соответственно около 25—35 мА и 15—30 кВ. Установка ИЭС-ЛП (Институт электросварки

им. Е. О. Патона) характеризуется следующими данными: ток до 150 мА, напряжение до 15 кВ. Электронный луч фокусируется электростатической системой.

Во Франции Исследовательским центром атомной энергии создана установка, работающая при напряжении 10—14 кВ и токе до 100 мА. Фокусировка осуществляется электростатической или электромагнитной системой.

В США для сварки электронным лучом используется установка, дающая ток до 10 мА при напряжении 100 кВ с электростатической или электромагнитной фокусировкой. Сварку можно производить импульсами, используя луч с большой плотностью энергии. Все эти установки являются лабораторными для сварки электронным лучом (в частности, фирмой Сиаки во Франции).

ЛИТЕРАТУРА

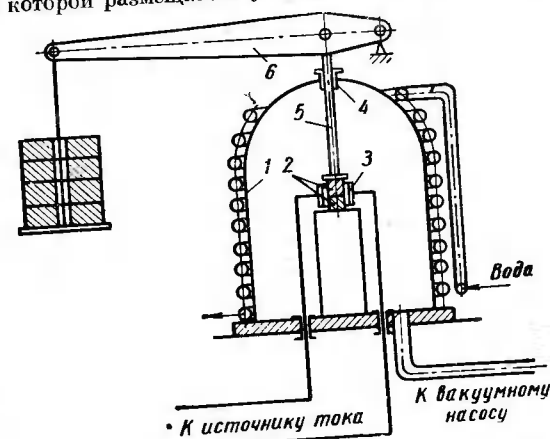
1. Burton G., Frankhouser W. Elektron — beam welding. «Welding Journal», № 10, 38, 1959.
2. Мовчан Б. А., Рабкин Д. М., Гуревич С. М., Загребенюк С. Д. Некоторые технологические особенности сварки электронным лучом в вакууме, «Автоматическая сварка» № 8, изд. АН УССР, 1959.
3. Another firm offers electron — beam welder to industry. «Welding Engineer», 1959, May, v. 44, № 5.
4. Burton G., Matchett R. L., Elektron beams — new technique for welding. «Metalwork Product», 1959, 103, № 21.
5. Ольшевский Н. А. Метод сварки электронным лучом в вакууме, «Автоматическая сварка» № 8, изд. АН УССР, 1959.
6. Stohr I. A., Vacuum welding by electron beam. «Nuclear Power», June, 1958, 3, № 26.

ДИФФУЗИОННАЯ СВАРКА В ВАКУУМЕ

Диффузионная сварка основана на взаимной диффузии элементов контактирующей пары металлов, находящихся в твердом состоянии.

Установка для сварки (фиг. 47) состоит из металлической, обычно медной охлаждаемой камеры 1, внутри которой размещается устройство для крепления свариваемых деталей 2 и молибденовый нагреватель 3 или индуктор. Через уплотнение 4 в крышке камеры проходит шток 5, передающий на детали сжимающее усилие от нагружающего устройства 6. В более совершенных конструкциях камер усилие передается от гидроцилиндра. Сварка производится в условиях безокислительного нагрева; для этого в камере поддерживается разрежение 10^{-3} — 10^{-5} мм рт. ст.

После откачки воздуха включается нагревательное устройство и начинается нагрев деталей до заданной температуры сварки. Основным условием получения качественного соединения является равномерный нагрев деталей по всему сечению. Усилия сжатия прикладывается после выравнивания температуры и поддержания при этой температуре процесса сварки постоянным. Время выдержки под нагрузкой при этой температуре составляет от нескольких минут до десятков минут. Давление в контакте



Фиг. 47. Схема установки для диффузионной сварки в вакууме.

соединяемых деталей в зависимости от температуры сварки и рода свариваемых металлов может изменяться от 0,3—0,5 до 10 кг/мм². Температура при нагреве и охлаждении контролируется термодарами.

При охлаждении сваренных деталей нагрузка снимается не сразу, а при температурах 100—400°. Этим предупреждается разрушение соединения из-за различной термической усадки соединяемых элементов. Чем больше разница между коэффициентами линейного расширения свариваемых материалов, тем ниже должна быть эта температура.

Для создания надежного контакта свариваемые поверхности должны быть обработаны с высокой степенью чистоты и свободны от окислов и загрязнений. Рекомендуется очистка металлической щеткой, так как после очистки пескоструйным аппаратом возможны включения абразивов. При химическом травлении необходима тщательная промывка для удаления продуктов реакции.

Вакуумная установка типа СДВУ-2 имеет следующие технические характеристики: температура нагрева 400—1300°, продолжительность сварки в зависимости от состава и свойств свариваемых металлов 6—18 мин. Нагрев производится токами высокой частоты при помощи индуктора, соответствующего форме свариваемых деталей. Нагревающее устройство питается ламповым генератором ЛГЗ-40А.

Диффузионной сваркой в вакууме можно соединять однородные и разнородные цветные и черные металлы и сплавы, а также металло-керамические изделия с металлами.

К числу преимуществ диффузионной сварки в вакууме относится отсутствие необходимости в присадочных материалах и флюсах, отсутствие окисления, возможность получения равнопрочного соединения без заметного изменения физико-механических свойств свариваемых металлов. Недостаток заключается в значительной трудоемкости процесса и большом вспомогательном времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Казаков Н. Ф., Диффузионная сварка в вакууме, «Автоматическая сварка» № 8, (65), изд. АН УССР, 1958.
2. Казаков Н. Ф., Сварка давлением в вакууме разнородных металлов, «Сварочное производство» № 8, 1958.
3. Казаков Н. Ф., Установка для диффузионной сварки в вакууме, «Автоматическая сварка» № 2, изд. АН УССР, 1960.

ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ ДУГОВОЙ ПЛАЗМЕННОЙ СТРУЕЙ

Дуговая плазменная струя — высокоинтенсивный источник теплоты с очень высокой температурой (10 000—15 000° К и выше) и широким диапазоном регулирования технологических свойств.

Получение плазменной струи. Плазменная струя создается дуговым разрядом 4 (фиг. 48, а), возбуждаемым между электродом 1 и электродом 5 с отверстием (соплом). Дуговой разряд происходит в канале 2, электрически изолированном от сопла и электрода. Диаметр отверстия канала соизмерим с диаметром столба дуги. Через канал вдоль столба дуги пропускается газ, который, проходя по направлению от электрода к соплу через плазму дуги, в результате соударения с электронами ионизируется и выходит из сопла в виде яркосветящейся струи 6.

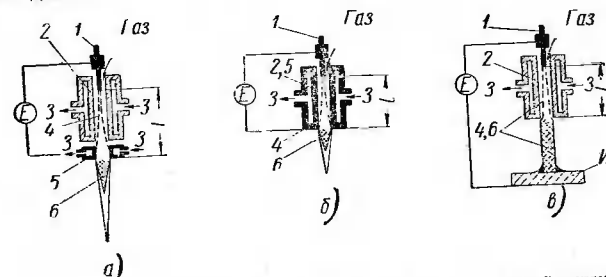
Малоионизированная, сравнительно холодная струйная оболочка газа, соприкасающаяся со стенками сопла и канала, изолирует последние от теплового воздействия разряда. Опусканием электрода в канал регулируются напряжение дуги и мощность плазменной струи.

При создании плазменной струи по схеме с совмещенными каналом и соплом (фиг. 48, б) электрически активное пятно дуги в зависимости от состава и расхода газа, длины канала и других факторов, располагается или на боковой поверхности канала или на торце сопла. В этом случае длина дуги не является независимым параметром регулирования эффективной мощности плазменной струи.

В обеих схемах плазменная струя, выделенная из токоведущего столба дуги, используется как независимый источник теплоты.

При обработке плазменной струей электропроводных материалов для увеличения эффективной тепловой мощности, вводимой в изделие, последнее может подключаться к источнику питания (фиг. 48, в). В этом случае плазменная струя совпадает с токоведущим столбом разряда.

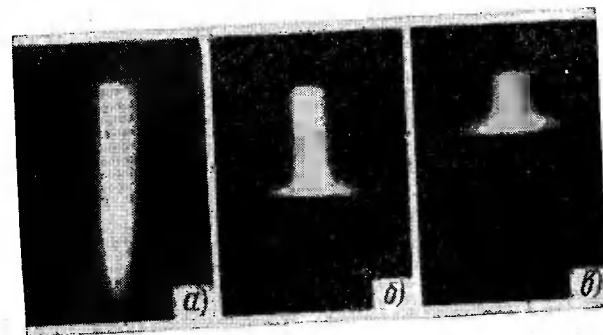
Создание плазменной струи возможно при подаче в канал любых газов с избыточным давлением от сотых долей до десятка и более атмосфер. При



Фиг. 48. Принципиальные схемы устройств для создания плазменной струи: а — с раздельными соплом и каналом, со струей, выделенной из столба дуги; б — с совмещенными соплом и каналом, со струей, выделенной из столба дуги; в — с совмещенными соплом и каналом, со струей, совпадающей со столбом дуги; 1 — электрод; 2 — канал; 3 — охлаждающая вода; 4 — столб дуги; 5 — сопло; 6 — плазменная струя; Е — источник тока; И — изделие; 1 — углубление дуги в канал

решении же практических задач необходимо учитывать защиту электрода, канала и сопла головки, а также зоны нагрева от воздействия пропускаемого газа.

Характеристики плазменной струи. Яркосветящееся ядро струи с основанием, несколько меньшим размера выходного отверстия сопла, окружено менее све-



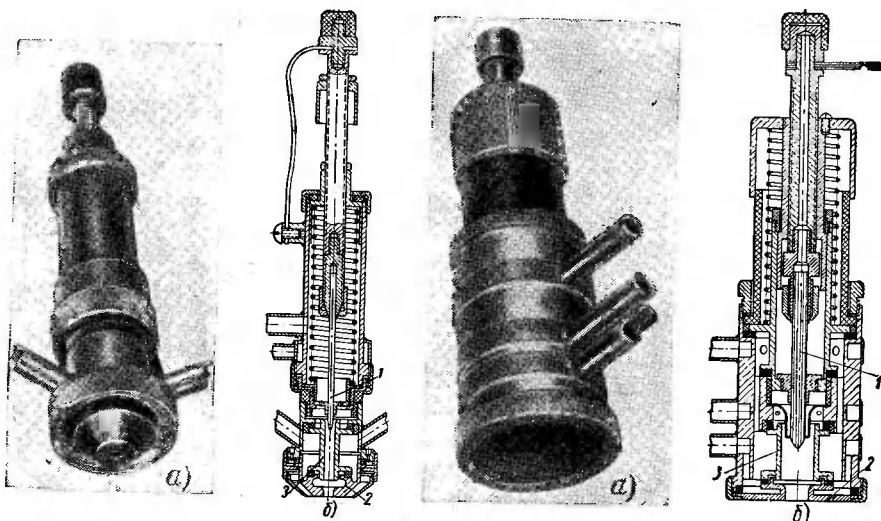
Фиг. 49. Плазменная струя, выходящая из отверстия сопла диаметром 6 мм: а — свободная струя, выделенная из столба дуги; б — струя, выделенная из столба дуги, соприкасающаяся с плоской поверхностью изделия (ток 200 а, напряжение дуги 40 в, диаметр электрода 2,4 мм, расход аргона 0,25 атм, давление аргона 2,4 мм³/час); в — струя, совпадающая со столбом дуги (ток 100 а, напряжение дуги 31 в, диаметр электрода и сопла 6 мм, расстояние сопла от изделия 10 мм, давление аргона 0,11 атм, расход аргона 1,92 мм³/час).

тящимся факелом (фиг. 49). Длина ядра может изменяться от 2—3 мм до 40—50 мм и более в зависимости от размеров сопла и канала, состава и расхода газа, величины тока и длины дуги. Формой сопла можно задавать очертание струи и тем самым нужное распределение тепловой и механической нагрузки по поверхности нагреваемого тела.

Наименьший износ сопла имеет место при работе на инертных газах (аргон, гелий), а также на водороде и азоте. При использовании кислородосодержащих газов износ сопла резко возрастает (табл. 17).

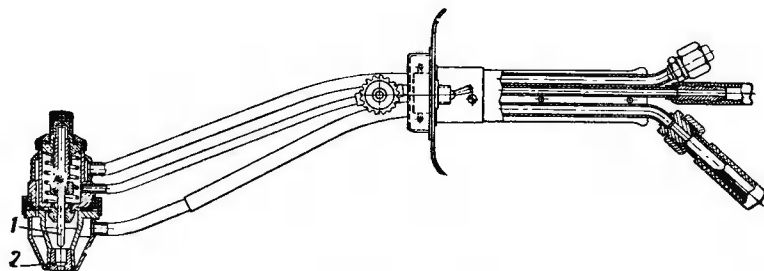
Плазменные головки имеют охлаждаемое водой сопло, канал, электрододержатель и корпус. Головка снабжается сменными медными каналами и соплами с различными размерами выходных отверстий.

Держатель с вольфрамовым электродом может устанавливаться на необходимую глубину относительно сопла. Характеристики головок конструкции Института металлургии им. А. А. Байкова АН СССР (фиг. 54—56) приведены в табл. 18.



Фиг. 54. Плазменная головка ИМЕТ-104: а — общий вид; б — разрез; 1 — электрод; 2 — сопло; 3 — канал.

Фиг. 55. Плазменная головка ИМЕТ-105: а — общий вид; б — разрез; 1, 2, 3 — (см. фиг. 54).



Фиг. 56. Разрез плазменной головки ИМЕТ-106; 1, 2 — (см. фиг. 54).

17. Влияние состава газа на износ медного сопла диаметром 1 мм плазменной головки ИМЕТ-105 с раздельными каналом и соплом (диаметр канала 8 мм) при работе с плазменной струей выделенной из столба дуги

Состав газа (по объему) в %	Ток дуги в а	Напряжение дуги в в	Расход рабочего газа в л/час	Износ сопла в г/катч
100 Ar	200	42	3,4	0,005
50 Ar 50 H ₂		100	5,5	0,1
50 Ar 50 N ₂	230	90	4,7	0,05
50 Ar воздух 50	220	85	3,8	0,4

В плазменных головках для резки, конструкции ВНИИАвтогена и ВНИИЭСО, вольфрамовый электрод при возбуждении дуги не перемещается. Возбуждение дуги производится высокочастотным высокочастотным разрядом.

Плазменные головки ВНИИЭСО имеют сменные медные сопла (фиг. 57).

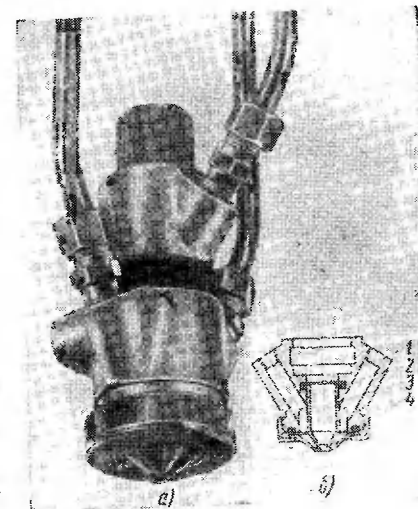
Система охлаждения головок (фиг. 58) подключается к водопроводной сети гибкими шлангами, в которых для подвода тока к электроду и соплу проложены голые гибкие медные провода сечением 4 мм². Расход газа регулируется вентилями В₁ и В₂ и контролируется ротаметром или манометром.

Электрическая схема головки состоит из источника питания постоянного тока Е, балластного реостата R_б, осциллятора Ос, контактора К, промежуточного реле РП, кнопок З и Г, а также вольтметра V и амперметра А.

В качестве источника питания используются сварочные мотор-генераторы (ПС-300, ПС-500, ПСМ-1000) или выпрямители. При работе с чистым аргонном напряжение холостого хода источника тока не должно быть ниже 60—65 в. При использовании водорода, азота или гелия требуется более высокое напряжение холостого хода.

Применение плазменной струи возможно для разнообразных видов обработки различных материалов (проводников, полупроводников и диэлектриков): для сварки, наплавки, пайки, резки, строжки, нанесения покрытий, термической обработки, плавки и др. (табл. 19).

Сварка. Плазменной струей свариваются металлы и неметаллы, а также их сочетания. Плазменная струя удобна для сварки тонколистового материала, включая тугоплавкие металлы. Формирование шва как по толщине, так и по длине очень стабильное.

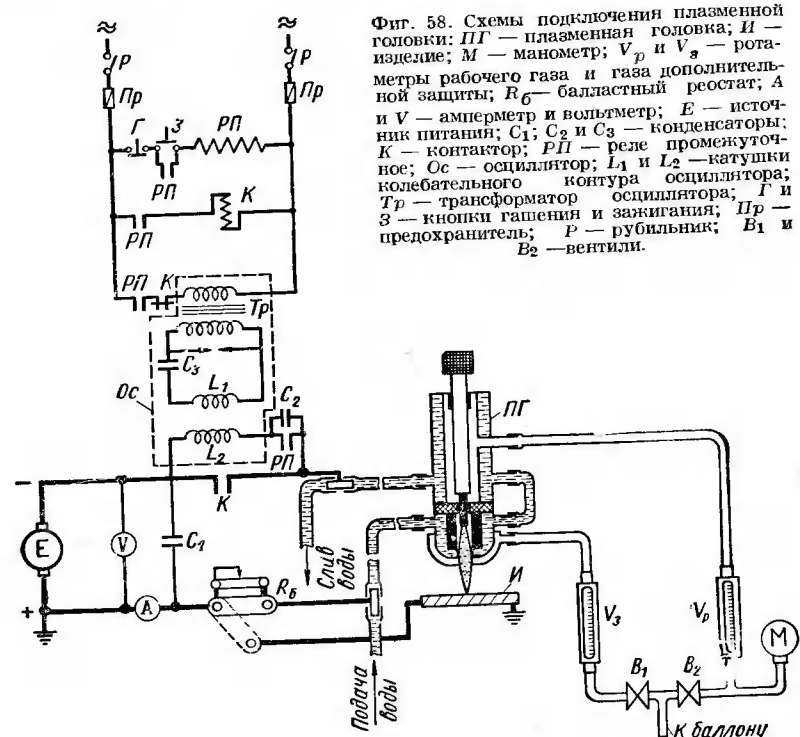
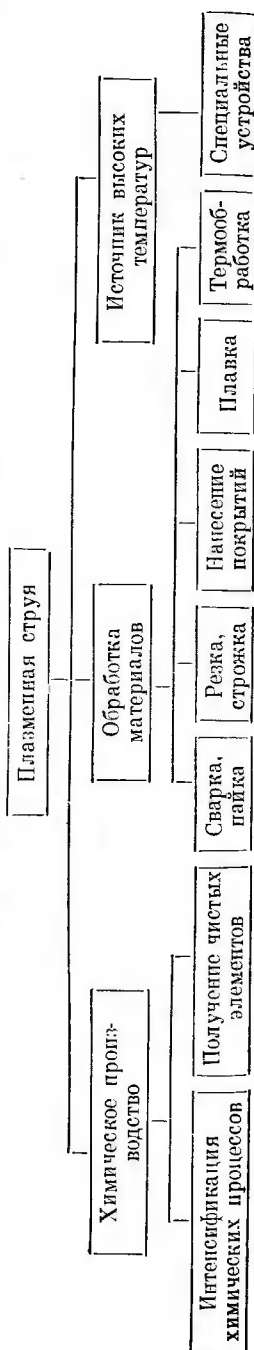


Фиг. 57. Плазменная головка ВНИИЭСО для резки: а — внешний вид; б — разрез нижней части головки; 1 — корпус; 2 и 3 — уплотнительные кольца; 3 — сменное сопло.

18. Характеристики плазменных головок конструкции ИМЕТ

Тип головки	Мощность головной в кВт	Максимальный ток в а		Головка работает по схеме	Диаметр сопла в мм	Длина канала сопла в мм	Диаметр канала в мм	Диаметр электродов в мм	Углубление электродов в мм	Основные области применения	Варианты непользования	Газариты в мм	Вес в кг
		по схеме Фиг. 48, а	по схеме Фиг. 48, б										
ИМЕТ-104	45	180	300	Фиг. 48, а, б и в	4,5—5	4—10	4—8	2—6	15—30	Сварка, резка	Для автоматической работы То же	50×240	600
ИМЕТ-105	25	250	500	То же	3—10	5—10	6—10	4—8	15—27	Нанесение покрытий, резка, плавка	То же	60×220	1400
ИМЕТ-106	45	—	300	Фиг. 16, б и в	3—5	6—8	—	4—6	10—12	Резка	Для ручной и автоматической работы	50×110	Автоматическая 350, ручная 1100

19. Область применения дуговой плазменной струи



Фиг. 58. Схемы подключения плазменной головки: ПГ — плазменная головка; И — изделие; М — манометр; Vp и Vg — ротаметры рабочего газа и газа дополнительной защиты; R6 — балластный резистор; A и V — амперметр и вольтметр; E — источник питания; C1, C2 и C3 — конденсаторы; K — контактор; РП — реле промежуточное; Ос — осциллятор; L1 и L2 — катушки колебательного контура осциллятора; Тр — трансформатор осциллятора; Г и З — кнопки гашения и зажигания; Пр — предохранитель; P — рубильник; B1 и B2 — вентили.

Сварка в стык возможна как с отбортовкой, так и без отбортовки кромок. Листы тоньше 1 мм свариваются в приспособлении с прижимами. Расстояние между соплом и поверхностью листов, определяемое размерами прижимов, должно быть минимальным.

Режимы автоматической сварки тонких листов в стык без отбортовки кромок приведены в табл. 20. Скорость сварки увеличивается при использовании схемы на фиг. 48, в. Механические и коррозионные свойства сварного соединения листов толщиной 0,8 мм из стали 1Х18Н9Т приведены в табл. 21.

20. Режимы сварки плазменной струей

Параметры режима	Материал	
	Малоуглеродистая сталь; δ=0,6 мм	Нержавеющая сталь 1Х18Н9Т; δ=0,8 мм
Ток I в а	60	160
Напряжение дуги U в в	29	29
Диаметр сопла dс в мм	5	4
Расход аргона:		
в сопле V _{Ар} в л/час	155	170
в насадке V _{Ар} в л/час	—	580
Расстояние сопла до изделия h в мм	3	4,5
Скорость сварки vсв в м/час	10	12

21. Свойства сварных соединений

(параметры режима сварки см. в табл. 20)

Место вырезки образца	Механические свойства			Общая коррозия в г/см ² (кипящий 65%-ный раствор HNO ₃ в течение 50 час.)
	σ_b в кг/мм ²	δ в %	ψ в %	
Основной металл . . .	68—72	40—50	50—55	0,000960—0,001178
Сварное соединение . .	66—70	25—30	36—48	0,001027—0,001288

Испытания по ГОСТу 6032-58 (метод АМ) показали, что сварное соединение не склонно к межкристаллической коррозии, трещины в соединении не обнаруживаются.

Резка. Плазменной струей целесообразно резать материалы, не поддающиеся или трудно обрабатываемые такими общеизвестными способами, как кислородная или газо-флюсовая резка (неэлектропроводные материалы, алюминий, медь и их сплавы, нержавеющая сталь и др.).

Плазменной струей независимой дуги (см. фиг. 48, а, б) режут неэлектропроводные материалы и тонкие металлические листы.

Струей, создаваемой зависимой дугой (см. фиг. 48, в), режут более толстые листы (например, листы алюминия толщиной до 80—120 мм).

При резке используется аргон и его смесь с водородом (до 35% H₂).

Скорость резки зависит от толщины разрезаемого металла, параметров плазменной головки и режима резки (фиг. 59). Скорость резки струей прямого действия при прочих равных условиях выше скорости резки струей независимого действия.

Сравнительные данные по скорости резки приведены в табл. 22.

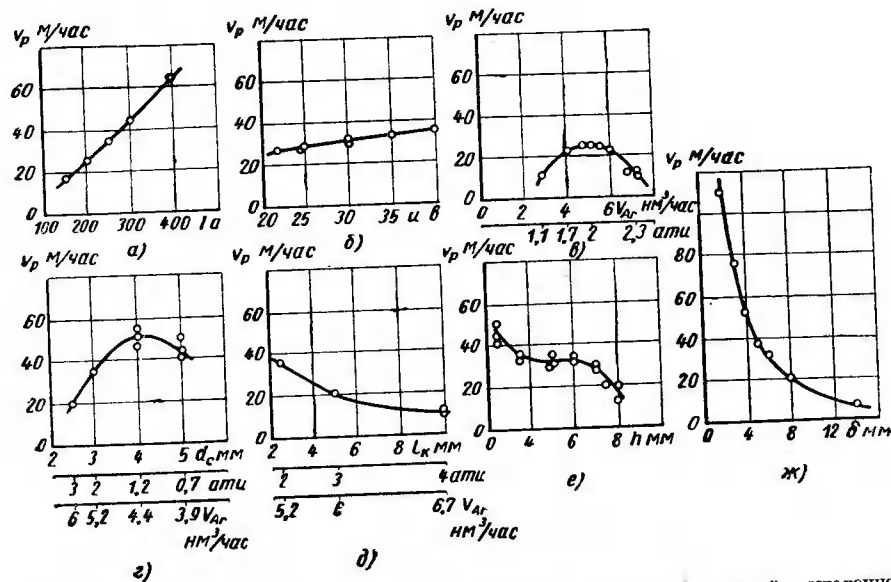
22. Скорости резки различными способами в м/час [8], [14], [15].

Способ резки	Материал	Толщина материала в мм							
		6	10	12	20	30	40	50	60
Плазменной струей, совпадающей со столбом дуги	Алюминий*	—	450	—	130	80	50	35	—
	Нержавеющая сталь**	—	80	—	50	30	20	15	12
	Медь**	—	50	—	20—30	12—15	8—10	—	5—6
Плазменной струей, выделенной из столба дуги	Нержавеющая сталь***	80	—	55	30	15	12	—	—
Кислородно-флюсовый	Нержавеющая сталь	21	20	19	18	—	—	12	—
	Медь	9,6	7,8	7,2	4,8	2,5	—	1,3	—
Кислородный	Углеродистая сталь	36	33	31	27	24	20	—	16

* Резка в смеси аргона с водородом в соотношении 1:1 (по объему); расход 3 м³/час.

** Резка в техническом водороде; расход 3 м³/час.

*** Резка в смеси аргона с 20% азота (по объему); расход 2,5 м³/час; ток 250 а; напряжение 45 в.



Фиг. 59. Влияние на скорость резки нержавеющей стали плазменной струей, выделенной из столба дуги (головка ИМЕТ-104; опыты В. А. Петруничева) следующих параметров: а — тока дуги I (напряжение дуги $U = 40$ в, расход аргона $V_{Ar} = 3$ м³/час при давлении $P = 1,7 \div 2$ атм, диаметр сопла $d_c = 3$ мм, длина канала сопла $l_k = 5$ мм, расстояние сопла до поверхности разрезаемых листов $h = 3$ мм, толщина листа $\delta = 5$ мм); б — напряжения дуги U ($I = 250$ а, $V_{Ar} = 3$ м³/час, $P = 1,7 \div 2$ атм, $d_c = 3$ мм, $l_k = 5$ мм, $h = 3$ мм, $\delta = 5$ мм); в — расхода аргона V_{Ar} ($I = 200$ а, $U = 40$ в, P — указаны на графике, $d_c = 3$ мм, $l_k = 5$ мм, $h = 3$ мм, $\delta = 5$ мм); г — диаметра сопла d_c ($I = 250$ а, $U = 35 \div 40$ в, V_{Ar} и P — указаны на графике, $l_k = 5$ мм, $h = 3$ мм, $\delta = 5$ мм); д — длины канала сопла l_k ($I = 250$ а, $U = 40$ в, V_{Ar} и P — указаны на графике, $d_c = 2,5$ мм, $h = 3$ мм, $\delta = 5$ мм); е — расстояния сопла до поверхности разрезаемого листа h ($I = 250$ а, $U = 40$ в, $V_{Ar} = 3$ м³/час, $P = 1,7 \div 2$ атм, $d_c = 3$ мм, $l_k = 5$ мм, $\delta = 5$ мм); ж — толщины листов δ ($I = 230 \div 240$ а, $U = 35 \div 40$ в, $V_{Ar} = 3$ м³/час, $P = 2,1$ атм, $d_c = 3$ мм, $l_k = 5$ мм, $h = 3$ мм).

ЛИТЕРАТУРА

- Кулагин И. Д., Николаев А. В., Применение дугового ионизированного потока электрической дуги для нагрева материалов // Известия Академии наук СССР, ОТН. Металлургия и топливо № 2, 1959.
- Кулагин И. Д., Николаев А. В., Дуговая плазменная струя как источник теплоты при обработке материалов, «Сварочное производство» № 9, 1959.
- Васильев К. В., Дуговая резка алюминиевых сплавов в струе аргоно-водородной смеси, «Сварочное производство» № 4, 1958.
- Быковский Д. Г., Газоэлектрическая резка цветных металлов и нержавеющей стали. Издательство Ленинградского дома научно-технической пропаганды, 1960.
- Глизиененко Д. Л., Евсеев Г. Б., Газовая сварка и резка металлов, Машино, 1954.
- Gage R. M., «The Principles of the Modern, Arc Torch» Weld. Journal, № 10, 1959.
- Weiss R., «Untersuchung des Plasmastrahles der aus einem Hochleistungsbogen austritt», Zeitschrift für Physik. Bd 138 1954.

ГЛАВА XIV

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Дефекты сварки и причины их появления в сварных соединениях, выполненных сваркой плавлением, контактной и другими видами сварки, весьма разнообразны. Наиболее характерные из них с описанием способов выявления, приведены в табл. 1 и 2.

1. Дефекты сварных соединений, выполненных сваркой плавлением, и способы их выявления

Дефекты	Способы выявления
Дуговая и газовая сварка (включая сварку в защитных газах)	
<i>Дефекты подготовки и сборки изделий под сварку</i>	Внешний осмотр и замеры швов с применением измерительного инструмента
Слишком малый или большой угол скоса кромок; непостоянство угла скоса кромок; слишком большое или малое притупление; непостоянство притупления по длине кромок; слишком малый или большой зазор для данной толщины листов; непостоянство зазора по длине; несовпадение плоскостей кромок; загрязнения на кромках, рванины и зарезы кромок	
<i>Дефекты формы и отклонения в размерах сварных швов</i>	То же
Неравномерность усиления шва, образование бугров и седловин	
Неодинаковая ширина шва по длине	
Неравномерность катета валикового шва	Внешний осмотр
<i>Наружные и внутренние дефекты сварных швов и соединений</i>	
Пропуски и перетяжки в шве	

Дефекты	Способы выявления
Незаваренные кратеры, наплывы или натеки	Внешний осмотр, металлографическое исследование
Подрезы	То же
Прожоги и протечи	То же
Непровары в вершине угла стыковых соединений с Y- и X-образной подготовкой и в центре шва при двухсторонней сварке соединений без подготовки кромок; непровары нижней кромки в тавровых, нахлесточных и угловых соединениях; непровары по кромкам в стыковых и нахлесточных соединениях; непровары между отдельными слоями наплавленного металла в многослойном шве	Внешний осмотр, рентгеновское и гамма-просвечивание, магнитный контроль, ультразвуковая дефектоскопия, металлографическое исследование
Пористость наплавленного металла наружная и внутренняя. Поры могут быть в виде сплошной сетки, в виде групп или цепочки, а также единичные	Внешний осмотр поверхности и излома шва; просвечивание рентгеновскими и гамма-лучами; металлографическое исследование; магнитный контроль; ультразвуковая дефектоскопия
Шлаковые включения, крупные макроскопические и микроскопические; включения нитридов, пленки окислов по границам зерен	То же
Трещины макроскопические и микроскопические в шве и зоне термического влияния, продольные и поперечные; трещины в кратере	Электродуговая сварка
<i>Подрезы в местах усиления</i>	
	Внешний осмотр и замеры швов с применением измерительного инструмента

Дефекты	Способы выявления
Несплавление	Просвечивание рентгеновскими и гамма-лучами (для толщин до 200 мм), ультразвуковая дефектоскопия
Поры	То же
Непровары	»
Уменьшение проплавления	Металлографические исследования
Трещины	Просвечивание рентгеновскими и гамма-лучами (для толщин до 200 мм); ультразвуковая дефектоскопия; металлографические исследования
Общие дефекты сварки	
Коробление сварных деталей и конструкций	Внешний осмотр с применением измерительных инструментов
Дефекты структуры, состава и свойств сварных соединений	Механические испытания на растяжение, изгиб, ударную вязкость и усталость; испытание на коррозию; определение химического состава металла шва и металлографические исследования

2. Дефекты сварных соединений, выполненных контактной сваркой (стыковой, точечной и шовной)

Дефекты	Внешние признаки дефекта	Способы выявления
Пережог, перегрев	Стыковая сварка Чрезмерный разогрев детали (определяется по зоне цветов побежалости); окислы и трещины на поверхности соединения; раковины, трещины и крупнозернистая структура поверхности излома	Внешний осмотр
Непровар	Расслоение в виде полосы на выдавленном металле; малая зона нагрева; пленка окислов по всей поверхности излома или местами	Ультразвуковая дефектоскопия; металлографические исследования

Дефекты	Внешние признаки дефекта	Способы выявления
Подгар поверхности детали	Подкаленные места на детали вдали от зоны сварки; раковины и трещины в местах подгара	Внешний осмотр; магнитная и ультразвуковая дефектоскопия; металлографические исследования
Трещины (главным образом при сварке конструктивных легированных сталей)	Кольцевые и продольные трещины, выходящие на поверхность и скрытые	Внешний осмотр; магнитная и ультразвуковая дефектоскопия; металлографические исследования
Смещение свариваемых поверхностей	Перекос стыка, смещение от осей, заданных чертежом	Внешний осмотр
Точечная и шовная сварка		
Пережог	Большая и глубокая вмятина; большая зона цветов побежалости; губчатая поверхность; сильное окисление; краевой наружный выплеск; раковины, трещины, выплески и укрупненное зерно на поверхности излома	Внешний осмотр, металлографические исследования
Непровар	Отсутствует или слишком мала зона цветов побежалости; отсутствует вмятина. На изломе матовая окисленная поверхность с отдельными частицами кристаллического строения	Внешний осмотр; ультразвуковая дефектоскопия
Трещины (при сварке закаливающих сталей)	Во вмятине видны трещины, расходящиеся в виде паутины от средней точки или в виде серпа по окружности точки	Внешний осмотр; магнитная (для сталей) и ультразвуковая дефектоскопия

КОНТРОЛЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ВНЕШНИМ ОСМОТРОМ

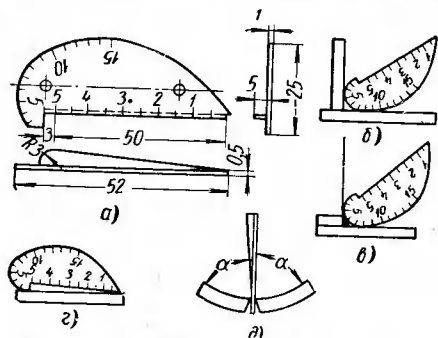
Внешнему осмотру подвергаются заготовки и их сборка под сварку; в процессе сварки проверяется правильность наложения прихваток и швов, после сварки — готовые швы. Внешний осмотр совмещается с промером швов измерительными инструментами во всех сварных изделиях и конструкциях независимо от их назначения и последующего способа контроля.

Внешний осмотр заготовок и сборки под сварку

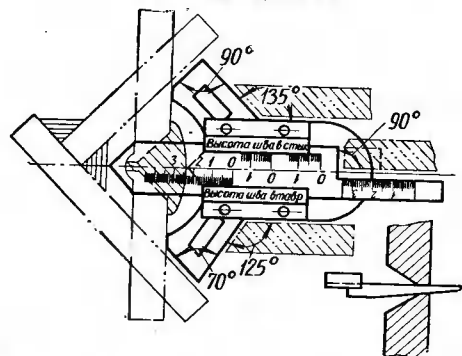
В заготовках проверяются чистота кромок, отсутствие ржавчины, заусенцев, вмятин, закатов, расслоений.

При сборке контролируются зазоры, притупления, углы скоса кромок, правильная расстановка прихваток, правильное закрепление свариваемых деталей в кондукторах и приспособлениях.

Для контроля размеров заготовок и сборки применяются универсальные шаблоны (фиг. 1 и 2). Основные контролируемые размеры заготовок и сборки под ручную и автоматическую сварку представлены на фиг. 3.



Фиг. 1. Универсальный шаблон А. И. Красовского для контроля размеров сварных швов: а — общий вид шаблона; б — измерение углового шва таврового соединения; в — измерение шва нахлесточного соединения; г — измерение стыкового шва; д — измерение зазора между кромками.

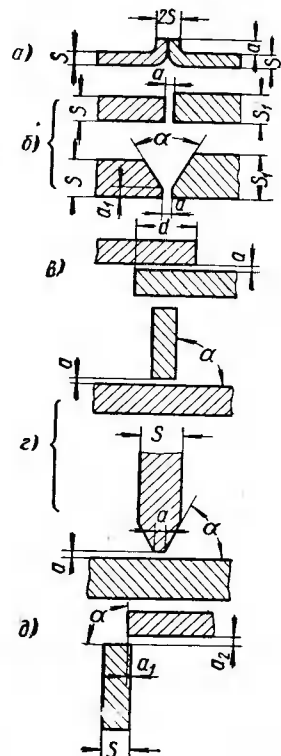


Фиг. 2. Универсальный шаблон Ушера — Маршана.

Внешний осмотр в процессе сварки

В процессе сварки контролируется последовательность сварки в соответствии с технологической картой; проверяются отдельные швы в конструкции и отдельные слои в многослойном шве (каскадная сварка, обратноступенчатая и т. п.); контролируется первый слой многослойного шва на наличие наружных дефектов шва с последующей проверкой неразрушающими методами.

Одновременно ведется наблюдение за режимом сварки при помощи измерительных приборов на сварочных машинах и аппаратах.



Фиг. 3. Размеры, проверяемые после сборки перед сваркой: а — бортовых соединений; б — стыковых; в — нахлесточных; г — тавровых; д — угловых.

Внешний осмотр и замеры готового сварного соединения

Осмотр производится после зачистки швов от шлака, брызг и других загрязнений. Невооруженным глазом или через лупу в сварных швах выявляются трещины, поры, подрезы, наплывы. Определение границ трещин производится травлением (по ГОСТу 3242-54). Вопрос о допустимости подрезов, пористости и других дефектов в шве решается в соответствии с техническими условиями на приемку швов в изделия.

Правильность оценки величины дефектов, выявленных при наружном осмотре, может подтверждаться другими методами контроля — рентгеновским просвечиванием, ультразвуком и т. д.

Измерение швов для проверки размеров по чертежу производится шаблонами, указанными на фиг. 1 и 2.

ИСПЫТАНИЕ ШВОВ НА НЕПРОНИЦАЕМОСТЬ

Испытания на непроницаемость производятся после внешнего осмотра швов и применяются как для промежуточного контроля, так и для сдачи готовой продукции.

Испытание керосином

Сварной шов окрашивается мелом с одной стороны. После высыхания мелового покрытия обратная сторона шва обильно смачивается керосином и выдерживается 15—50 мин. и более в зависимости от толщины шва и его расположения в пространстве. Время испытания указывается в технических условиях. При контроле вертикальных швов смачивание керосином производится путем наложения на шов концов, пропитанных керосином. Неплотности швов выявляются по появлению жирных ржавых пятен керосина на меловой окраске. Дефектные участки шва вырубают и заваривают, предварительно смыв керосин в целях пожарной безопасности.

Испытание газом

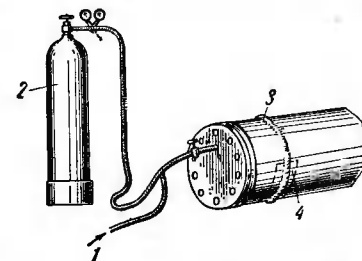
Испытуемое изделие наполняется воздухом до установленного техническими условиями давления; сварные швы смачиваются мыльным раствором. Неплотности определяются по появлению пузырей на шве.

Малогабаритные сварные изделия, заполненные воздухом, погружаются в воду. Течь определяется по пузырькам воздуха в воде.

Крупногабаритные изделия испытываются струей сжатого воздуха, продуваемого через шов. Струя воздуха подается под давлением не менее 4 атм перпендикулярно шву на расстоянии от конца планга до поверхности шва не более 30 мм. Неплотности шва определяются по пузырям в мыльном растворе, покрывающем обратную сторону шва.

Мыльный раствор для смачивания швов готовится в следующей пропорции: 100 г хозяйственного мыла на 1 л воды.

По способу, разработанному автором статьи, испытание производится сжатым воздухом в смеси с аммиаком. Испытуемые швы покрываются бумажной лентой или медицинским бинтом, пропитанным 5%-ным водным раствором азотнокислой ртути или фенолфталеина. Внутри изделия нагнетается воздух в смеси с аммиаком в количестве 1% от объема воздуха в испытуемом изделии при нормальном давлении. Изделие выдерживается под давлением в течение 5—10 мин. Неплотности шва выявляются по появлению черных или фиолетовых пятен на бумаге, наложенной на шов. Схема определения плотности швов аммиаком представлена на фиг. 4.



Фиг. 4. Схема определения плотности швов аммиаком: 1 — сжатый воздух; 2 — аммиак; 3 — сварной шов; 4 — бумага.

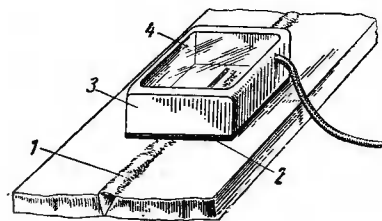
Растворы азотнокислой ртути и фенолфталеина, фиксирующие неплотности шва, можно наносить непосредственно на шов.

Испытание сварных сосудов и трубопроводов сжатым воздухом с выдержкой под давлением и выявление неплотностей по падению давления во времени определяет общую герметичность изделия. Испытания производят с тщательным соблюдением правил по технике безопасности. Испытания сосудов производят в изолированном, закрытом помещении. Сосуд, проходящий испытание, не должен подвергаться сотрясению. После нагнетания воздуха до нужного давления магистраль для подачи воздуха должна быть отсоединена.

Предельные величины спада давления по времени устанавливаются техническими условиями на данное изделие.

Определение неплотностей вакуумированием

На сварной шов крупногабаритного изделия накладывается камера-коробка (фиг. 5) с резиновой прокладкой, по ребрам прилегающей к изделию, и прозрачной камерой для осмотра шва. Вакуумные камеры изготавливаются для любых конфигураций швов в изделии.



Фиг. 5. Схема определения неплотности швов вакуумом: 1 — сварной шов; 2 — резиновая прокладка; 3 — коробка; 4 — окно для наблюдения (из органического стекла).

На очищенный от грязи и смоченный пенообразующим раствором сварной шов накладывается вакуумная камера, из которой откачивается воздух до разрежения порядка 500—600 мм рт. ст.

Летний раствор состоит из 50 г мыла хозяйственного, 5 г глицерина и 10 г сухого лакричного экстракта на 1 л воды; в зимний раствор входит то же с добавлением 150—200 г CaCl_2 и 150—200 г NaCl .

При наличии пор, свищей, непроваров, трещин и других дефектов, нарушающих плотность шва, на мыльной эмульсии образуются стойкие пузырьки, по которым и определяются неплотности.

Контроль вакуумированием позволяет выявлять неплотности более мелких размеров, чем при контроле керосином, воздухом и гидравликой.

Гидравлические испытания

Гидравлические испытания производятся с целью проверки плотности и частично прочности сварных швов. Испытательное давление берется в 1,5 или 2 раза большим, чем рабочее. Время выдержки сосуда под давлением устанавливается техническими условиями и составляет обычно 30—60 мин. После выдержки давление снижается до рабочего. По достижении рабочего давления производится обстукивание околосшовной зоны на расстоянии 15—20 мм от края шва молотком весом 1—1,5 кг и одновременный осмотр течи в шве по струйкам или потению.

Испытания струей воды производят путем обливания швов из шланга. Неплотности определяются по появлению капель, струй или намочения швов с обратной стороны.

Высота водяной струи должна быть не менее 10 м, диаметр выходного отверстия брандспойта не менее 15 мм, расстояние от шва не более 0,5 м при скорости перемещения порядка 1 м/мин.

Люминесцентный метод

Метод основан на свойстве некоторых химических соединений флуоресцировать (светиться) под действием ультрафиолетовых лучей. Флуоресцирующий состав (люминофор) проникает в невидимые глазом мелкие дефекты в сварном

шве, которые при облучении ультрафиолетовыми лучами светятся ярким желто-зеленым светом и поэтому лучше выявляются.

Сварной шов перед контролем тщательно очищается от загрязнений и поливается подогретой до температуры 60—70° С смесью, состоящей из 25% автола и 75% керосина или 50% керосина, 25% бензина, 25% трансформаторного масла и дефектоскопического 0,5 Г на 1 л смеси. После нанесения на шов люминофора и выдержки в течение 15—20 мин. для проникновения люминофора в трещины сварной шов обтирается, просушивается и рассматривается в затемненном помещении под ультрафиолетовым светом. Осветительная аппаратура типа ЛЮМ-7 или Л-84, выпускаемая заводом «Красногвардеец» в Ленинграде, снабжена ультрафиолетовым светофильтром типа УФС-3 и ртутно-кварцевой горелкой типа ПРК-4.

Метод применяется для выявления мелких трещин, выходящих на поверхности швов на немагнитных материалах. Чувствительность метода позволяет выявлять трещины шириной 0,01 мм и уступает чувствительности магнитного порошкового метода.

Контроль методом красок

Метод цветной дефектоскопии позволяет выявлять мельчайшие поверхностные трещины на немагнитных материалах без источника ультрафиолетовых лучей при дневном свете невооруженным глазом.

На контролируемую поверхность изделия наносится слой подкрашенной жидкости следующего состава: керосин 80%, трансформаторное масло 15%; скипидар 5%, краска «Судан» 10 г на 1 л жидкости. Нанесение жидкости повторяется 3—4 раза. После выдержки в течение 10—15 мин. поверхность промывается 5%-ным водным раствором кальцинированной соды и протирается насухо. На сухую поверхность с помощью пульверизатора наносится тонкий слой каолина (на 1 л воды 600—700 г каолина). После просушки выделяющаяся из трещин жидкость окрашивает каолин в красный цвет. Осмотр поверхности при выявлении дефектов производится дважды (через 3—5 и 20—30 мин), что требуется для выявления более мелких трещин. Чувствительность метода не ниже, чем люминесцентного, и близка к магнитному методу.

Методом цветной дефектоскопии надежно выявляются поверхностные трещины шириной около 0,01 мм при глубине 0,3—0,4 мм. Его можно применять для контроля швов, выполненных ручной сваркой, без снятия усиления.

КОНТРОЛЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ РЕНТГЕНОВСКИМИ И ГАММА-ЛУЧАМИ

Рентгеновские и гамма-лучи являются разновидностью электромагнитных колебаний. Они получают в рентгеновских электронных трубках в результате электронных переходов в оболочке атома анода трубки, вызванных бомбардировкой свободными электронами катода трубки.

При ударе электрона об антикатод часть энергии превращается в теплоту, другая часть переходит в энергию рентгеновского излучения.

Длина волны излучения определяется формулой

$$\lambda_{\min} = \frac{hc}{eU},$$

где $\lambda_{\min}$ — длина волны в см;

h — постоянная Планка, равная $0,55 \cdot 10^{-27}$ эрг/сек;

c — скорость света, равная $3 \cdot 10^{10}$ км/сек;

e — заряд электрона, равный $4,8025 \cdot 10^{-10}$ абс. эл. ст. ед.

U — напряжение в трубке в мм.

Чем короче длина волны рентгеновских лучей, тем больше их проникающая способность. Как видно из формулы, длина волны излучения уменьшается с увеличением напряжения на трубке.

Гамма-лучи получают от естественных или искусственных радиоактивных веществ в результате энергетических изменений внутри ядра.

Для просвечивания материалов используются лучи от рентгеновских аппаратов напряжением на трубке от 50 до 1000 кВ и от бетатронов на 10—30 МэВ.

Источниками гамма-лучей для просвечивания материалов в настоящее время являются искусственные радиоактивные вещества — изотопы, получаемые путем облучения исходного вещества нейтронами в атомных реакторах.

Для того чтобы просветить деталь, на нее направляют лучи, а за деталью, по направлению лучей, устанавливают фотопластинку или иной регистратор лучей, проходящих через объект.

Рентгеновская и гамма-дефектоскопия основаны на законе ослабления лучей при прохождении через вещество.

Закон ослабления рентгеновских и гамма-лучей в общем виде выражается формулой

$$I_1 = I_0 l^{-\mu d},$$

где I_1 — интенсивность лучей, прошедших через вещество;

I_0 — интенсивность падающих на вещество лучей;

l — основание натуральных логарифмов;

μ — линейный коэффициент поглощения;

d — толщина вещества, через которое проходят лучи.

Линейный коэффициент поглощения μ является мерой ослабления интенсивности излучения и изменяется в зависимости от природы вещества и длины волны излучения.

Рентгеновские и гамма-аппараты

Применяемые для рентгеновского контроля металлов аппараты разделяются по напряжению или энергии излучения на следующие группы: а) аппараты на малые напряжения 60, 100, 150 кВ для просвечивания изделий из легких сплавов, пластмасс и из стали малой толщины; б) аппараты на среднее напряжение 200, 300 и 400 кВ для просвечивания изделий из стали средней толщины (до 100 мм); в) аппараты на напряжение 1 и 2 МэВ для изделий из стали и тяжелых сплавов большой толщины (до 200 мм); г) аппараты — бетатроны для сверхжестких рентгеновских лучей с энергией от 10 до 30 МэВ для просвечивания стальных изделий большой толщины (до 500 мм).

В Советском Союзе для рентгенодефектоскопии применяются аппараты на 200 кВ типа РУП-1, РУП-2, РУП-200-20-5, аппараты на 400 кВ типа РУП-400-5 и аппараты на 60 кВ типа РУП-5, а также бетатроны на 15 и 25 МэВ.

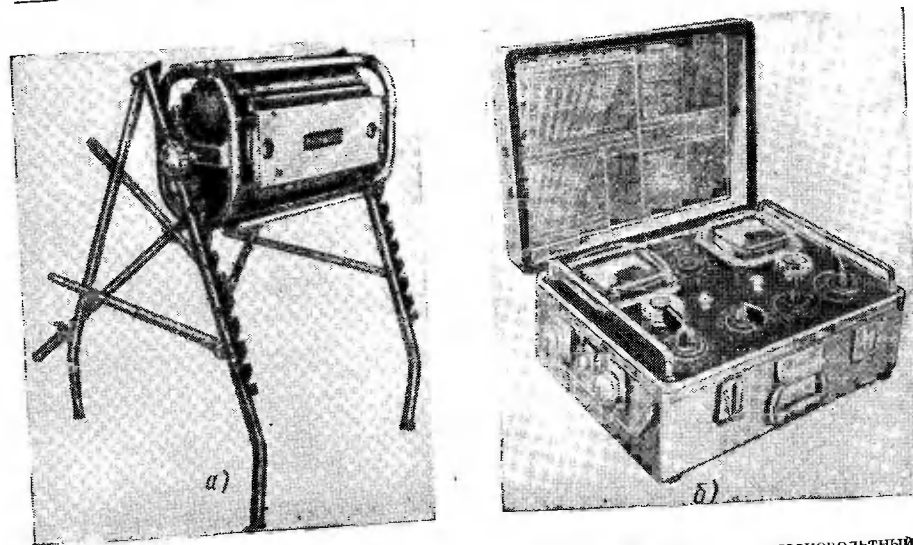
Наибольшее применение в промышленности нашли аппараты типа РУП-1, РУП-2 и РУП-200-20-5. В аппаратах этого типа высоковольтная часть помещается в двух блоках, рентгеновская трубка типа 3 БПМ-200 находится в защитном кожухе и охлаждается трансформаторным маслом, подаваемым специальным насосом.

Подводка высокого напряжения к рентгеновской трубке осуществляется при помощи высоковольтного кабеля. Пульт управления позволяет производить плавную регулировку напряжения от 50 до 200 кВ. Аппарат питается от сети 220/380 В, потребляемая мощность 6 кВА, максимальный ток трубки 20 мА.

Для просвечивания крупногабаритных изделий непосредственно в цехе нашли применение переносные рентгеновские аппараты на напряжения до 250 кВ. Аппарат состоит из высоковольтного блока и пульта управления. Общий вес аппарата на 150 кВ около 70 кг (фиг. 6).

Гамма-установки для дефектоскопии материалов представляют собой простейшие устройства. Основное требование, которое к ним предъявляется, — хорошая защита от вредного действия гамма-лучей на операторов и окружающих.

Типовой гамма-установкой является ГУП-Со-0,5-1, устройство которой показано на фиг. 7. Она предназначена для просвечивания в лабораториях и цехах, а также для контроля на монтаже различных сварных конструкций. Установка рассчитана на работу с зарядом кобальта-60 активностью 0,5 кюри



Фиг. 6. Рентгеновский переносный аппарат фирмы «Балту», Бельгия: а — высоковольтный блок; б — пульт управления.

и может быть использована с другим радиоактивным изотопом активностью, эквивалентной 0,5 кюри кобальта-60.

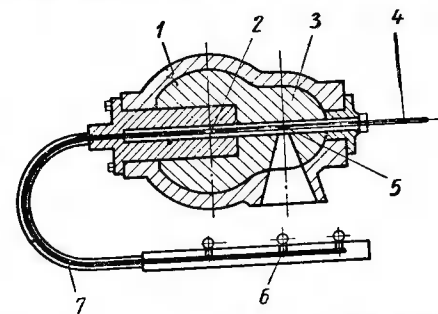
Безопасное расстояние от защитного кожуха при нерабочем положении препарата за 6-час. рабочий день — 0,7 м, при работе направленным пучком (вне зоны пучка) — 1,4 м.

Допустимое время работы по переноске малого контейнера не более 1,5 часа в течение рабочего дня.

Габариты аппарата со штативом 1,5 × 1,5 × 2,7 м. Общий вес 164 кг.

Переносная гамма-установка МВТУ, представленная на фиг. 8, предназначена для контроля сварных стыков трубопроводов, сварных деталей машин и т. п. открытой ампулой с дистанционным управлением ею. Установка рассчитана на работу с различными радиоактивными изотопами активностью кобальта-60—0,3 кюри, цезия — 137—0,78 кюри, иридия — 192—1,7 кюри. При указанной активности источников установка обеспечивает защиту от вредного действия излучения в пределах допустимой дозы 0,05 р за 6-час. рабочий день на расстоянии 0,5 м от контейнера в нерабочем положении препарата.

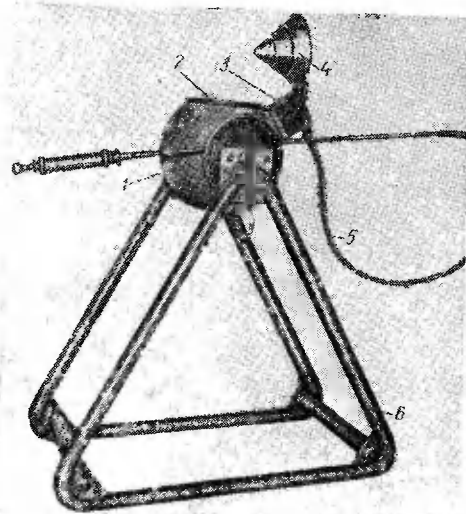
Стационарная гамма-установка МВТУ (фиг. 9) для просвечивания сварных швов большой толщины рассчитана на работу с зарядом цезия-137 активностью 1 кюри или эквивалентной активностью другого изотопа. Защита в установке обеспечивает снижение мощности дозы до допустимой в 0,05 р за 6-час. рабочий день на расстоянии 0,5 м.



Фиг. 7. Устройство гамма-установки типа ГУП-Со-0,5 — 1: 1 — чулун; 2 — ампула (при хранении); 3 — свинец; 4 — ампула (в открытом виде); 5 — ампула (в рабочем положении); 6 — рукоятка для фиксации положения ампулы; 7 — трос для перемещения ампулы.



Фиг. 8. Передвижная гамма-установка МВТУ для контроля сварных стыков труб

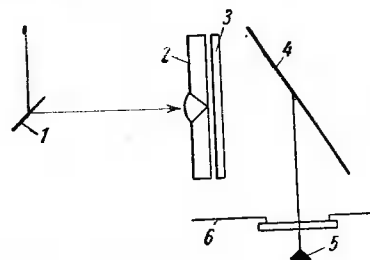


Фиг. 9. Стационарная гамма-установка МВТУ:
1 — кожух-контейнер; 2 — отверстие для выхода лучей; 3 — редуктор перемещения пробки; 4 — пробка; 5 — гибкий вал управления пробкой излучающего отверстия; 6 — стойка.

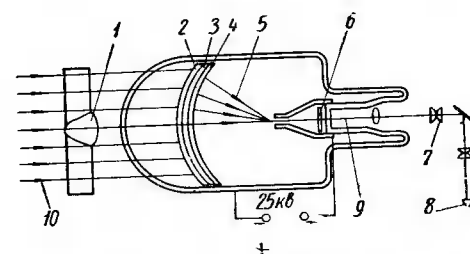
Техника контроля рентгеновскими и гамма-лучами

Просвечивание рентгеновскими лучами на экран по схеме, представленной на фиг. 10, применяется для контроля сварных соединений из легких сплавов. Чувствительность метода к выявлению минимального дефекта ниже фотографического. Визуальное определение дефектов на экране требует темного помещения, напряжения и остроты зрения наблюдателя-контролера.

Просвечивание с применением электронно-оптического преобразователя схематически представлено на фиг. 11.



Фиг. 10. Схема просвечивания сварного шва на экран: 1 — рентгеновская трубка; 2 — сварной шов; 3 — экран; 4 — зеркало; 5 — наблюдатель; 6 — ширма.



Фиг. 11. Схема просвечивания сварного шва с применением электронно-оптического преобразователя: 1 — сварной шов; 2 — алюминиевый экран; 3 — рентгеновский экран; 4 — фотокатод; 5 — фотоэлектроны; 6 — экран наблюдения; 7 — фотокатод; 8 — наблюдатель; 9 — свет; 10 — рентгеновские лучи.

Пучок рентгеновских лучей, проникая через объект просвечивания и стеклянную стенку цилиндрической вакуумной трубки, вызывает свечение флуоресцирующего экрана. Свет этого изображения освобождает электроны чувствительного фотокатода, который нанесен на флуоресцирующий экран. В каждой точке фотокатода число освобожденных в секунду электронов пропорционально яркости флуоресцирующего экрана в этом месте и интенсивности рентгеновских лучей.

Таким образом, скрытое рентгеновское изображение превращается со всеми его изменениями в интенсивности в электронное изображение с соответственными изменениями в количестве электронов.

Освобожденные электроны фотокатода получают ускорение от внешнего источника высокого напряжения. Электронное изображение появляется на втором флуоресцирующем экране — экране наблюдения. Чем выше скорость электронов, тем больше яркость свечения на экране наблюдения. Кроме того, за счет девятикратного электронно-оптического уменьшения изображения от переднего экрана до экрана наблюдения электроны концентрируются на поверхности, в 80 раз меньшей. Общее увеличение яркости, получаемой в результате двух указанных факторов, более чем в 1000 раз. Изображение, излучаемое видимым светом на экране наблюдения, рассматривается через оптическую систему, которая увеличивает его примерно в 9 раз. Это оптическое увеличение не влияет на уменьшение яркости. Изображение, наблюдаемое через оптическую систему, имеет такие же размеры, как непосредственно на нормальном флуоресцирующем экране.

Чувствительность метода в сравнении с просвечиванием на обычный экран и фотоленку (по исследованиям МВТУ) для алюминия иллюстрируется фигурой 12.

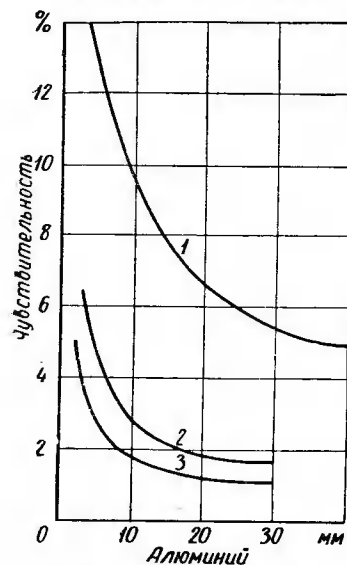
Метод просвечивания сварных швов с применением электронно-оптических преобразователей позволяет автоматизировать контроль. На фиг. 13 представлена схема автоматизированного контроля (разработанного в МВТУ) с наблюдением дефектов сварки на экране телевизионной установки. На установке

можно контролировать сварные швы на алюминии толщиной 5 мм со скоростью до 5 м в минуту.

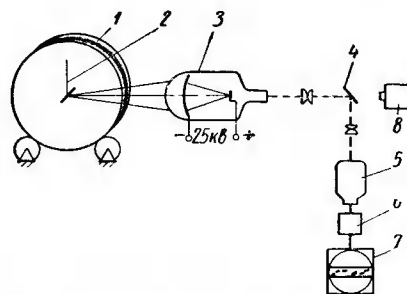
Фотографический способ с фиксированием изображения на фотопленке является основным видом рентгеновского и гамма-контроля сварных швов.

Общая схема получения рентгеновского и гамма-снимка сварного шва представлена на фиг. 14.

Чувствительность рентгеновских и гамма-снимков к выявлению минимального дефекта в шве зависит от жесткости излучения, величины излучающего пятна (фокуса) рентгеновской трубки или радио-



Фиг. 12. График сравнительной чувствительности определения дефектов в алюминии рентгеновским просвечиванием; 1 — рентгеноскопия с обычным экраном; 2 — визуальные наблюдения с ЭОП; 3 — рентгеновские снимки.



Фиг. 13. Схема автоматизированного контроля сварных швов: 1 — сварное изделие; 2 — рентгеновская трубка; 3 — электронно-оптический преобразователь; 4 — оптическая система; 5 — трубка кинескопа; 6 — усилитель; 7 — трубки кинескопа телевизора; 8 — фото или кинокамера.

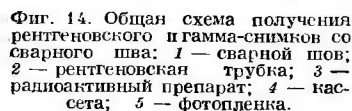
активного препарата, толщины и рода материала, расположения дефекта в шве, направления лучей при просвечивании швов, условий экранирования, состава проявителя и качества пленки.

На фиг. 15 представлен график чувствительности рентгеновских и гамма-снимков при просвечивании стальных эталонов с бороздками.

Как видно из графика, для просвечивания стали наиболее целесообразным является применение следующих изотопов: для толщины материала свыше 60 мм — кобальт-60; свыше 30 мм — цезий-137; свыше 10 мм — иридий-192 и европий-152-154; до 15 мм — тулий-170.

В табл. 3 приведены характеристики радиоактивных изотопов, наиболее распространенных в практике контроля швов.

От размеров излучающего фокусного пятна рентгеновской трубки или радиоактивного препарата зависит четкость (резкость) изображения дефекта на пленке. На фиг. 16



Фиг. 14. Общая схема получения рентгеновского и гамма-снимков со сварного шва: 1 — сварной шов; 2 — рентгеновская трубка; 3 — радиоактивный препарат; 4 — каскада; 5 — фотопленка.

представлена схема просвечивания с различным излучающим пятном. Наибольшая четкость достигается съемкой с минимальным пятном излучения. При

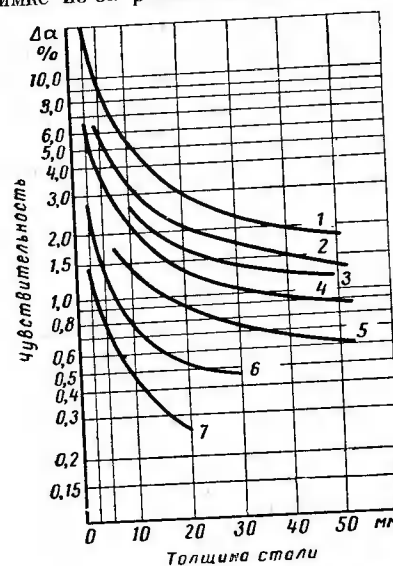
3. Радиоактивные изотопы, применяемые для контроля сварных соединений

Наименование изотопа	Энергия излучения в Мэв	Период полураспада
Кобальт-60 (Co^{60})	1,17; 1,33	5,3 года
Цезий-137 (Cs^{137})	0,66	33 года
Иридий-192 (Ir^{192})	0,13—0,88	75 дней
Европий-152-154 ($\text{Eu}^{152-154}$)	0,12—1,11	16 лет
Селен-75 (Se^{75})	0,06—0,4	127 дней
Тулий-170 (Tl^{170})	0,084	129 дней

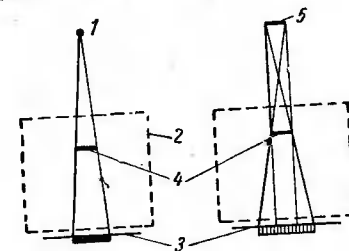
невозможности уменьшить излучающее пятно увеличивают фокусное расстояние, уменьшающее размытие контуров дефекта на снимке.

Толщина и род материала влияют на четкость изображения дефектов на снимке из-за рассеянности излучения. Рассеяние направленного пучка лучей при съемке вызывается атомами просвечиваемого материала. Оно тем больше, чем меньше плотность вещества.

Дефекты швов, расположенные ближе к источнику излучения, при большой толщине шва дают на пленке размытое увеличенное по размерам изображение. Чем ближе дефект к пленке, тем меньше искажений при проектировании его на плоскость снимка. Направление лучей при съемке сварных соединений различных типов выбирается с таким расчетом, чтобы



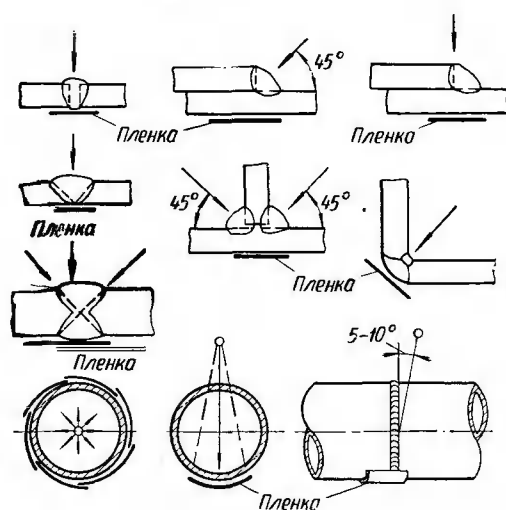
Фиг. 15. График чувствительности рентгеновских и гамма-снимков со стали: 1 — кобальт-60; 2 — цезий-137; 3 — иридий-192; 4 — европий-152-154; 5 — рентгеновские лучи 200 кэВ; 6 — рентгеновские лучи 120 кэВ; 7 — тулий-170.



Фиг. 16. Зависимость четкости изображения на снимке от размеров фокусного пятна на трубке: 1 — фокус точки; 2 — деталь; 3 — рентгеновский снимок; 4 — дефект; 5 — фокусное пятно.

направление центрального луча совпадало с направлением дефектов по их протяженности в толщину шва. В стыковых соединениях центральный луч протягивается перпендикулярно шву. В особых случаях стыковые швы просвечиваются при направлении лучей по скосам кромок. Угловые швы нахлесточных соединений и швы тавровых соединений контролируются с направлением центрального луча под углом 45° к плоскости листа. Кольцевые и продольные швы в цилиндрических изделиях контролируются внутри или снаружи изделия. На фиг. 17 с расположением источника лучей внутри или снаружи изделия представлены различные варианты просвечивания сварных швов в различных соединениях.

Выбор экспозиции при съемке сварных швов производится по графикам экспозиции.



Фиг. 17. Направление лучей при съемке различных сварных соединений.

Усиливающее действие фольги вызывается фотоэлектронами, освобождаемыми из фольги под действием лучей. Экраны из фольги являются фильтром для вторичного излучения.

Проявление снимков производится в растворах, изготовляемых по рецептам, примерный состав которых приводится ниже.

Проявители

а) теплая вода	800 см ³	б) вода	1000 см ³
метол	3 г	метол	2 г
сульфит	90 г	сульфит	80 г
гидрохинон	7 г	гидрохинон	7 г
поташ безводный	50 г	поташ безводный	50 г
бромистый кальций	5 г	бромистый кальций	7 г
холодная вода	До 1000 см ³	Закрепитель	
		гипосульфит	250 г
		вода теплая	1000 г

Снимки обрабатываются при температуре проявителя 18—20° С. Время проявления в свежем проявителе 4—6 мин. Проявитель составляется из расчета проявления 3000 см² пленки в 1 л проявителя. Клеймение снимков производится специально устроенными клеймителями из свинца (фиг. 20).

Шлаковые включения и газовые поры в сварных швах, трещины и непровары, совпадающие с направлением лучей при съемке и имеющие размеры в пределах чувствительности фотографического метода, хорошо выявляются на снимке.

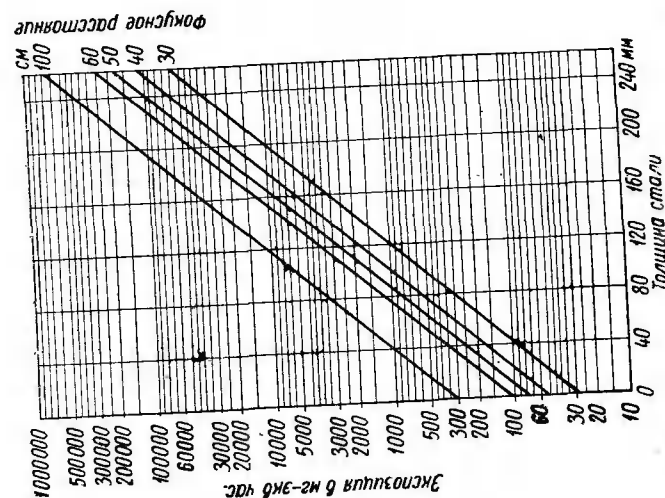
Трещины на рентгеновском или гамма-снимке имеют вид резких черных (на негативе) зигзагообразных линий.

Непровары различного рода видны, как правильные темные линии с различной степенью почернения в зависимости от величины непровара.

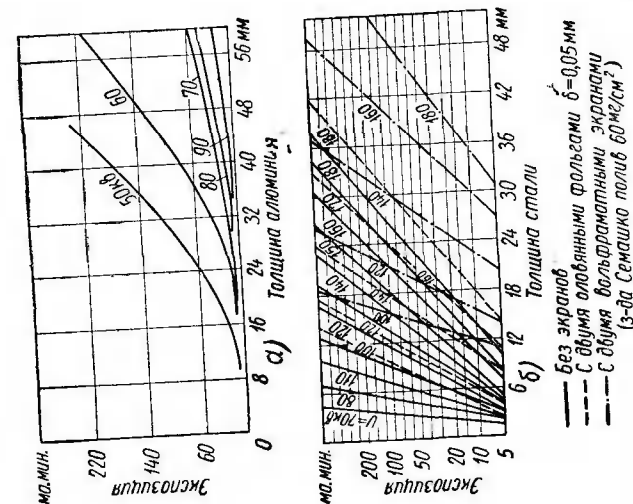
На фиг. 18, а и б представлены графики экспозиций для рентгеновских снимков алюминия (а) и стали (б).

На фиг. 19 представлена номограмма для выбора экспозиции при съемке гамма-лучами.

Влияние усиливающих экранов при съемке сказывается на уменьшении времени экспозиции, на контрастности и четкости изображения на снимке. Люминесцирующие экраны сокращают время экспозиции до 20 раз. Пленка при съемке укладывается между двумя картонными экранами с нанесенным на них слоем вольфрамата кальция весом 40—80—120—160 мг/см². Крупное зерно на экране рассеивает свет люминесценции больше, и рентгеновский снимок получается менее четким. Металлические экраны сокращают экспозицию в 2—3 раза.



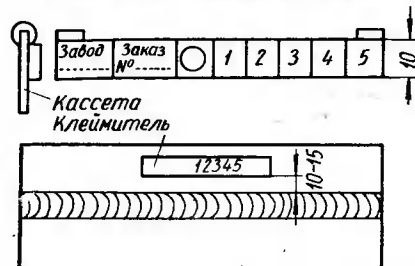
Фиг. 19. Номограмма экспозиций при съемке гамма-лучами кобальта-60.



Фиг. 18. Графики экспозиций: (по С.В. Черноброву); а — для снимков с алюминиевых сплавов; б — для снимков с углеродистых сталей. Аппарат РУП-2; f — фокусное расстояние, равное 75 мм; пленка чувствительностью 400 обратных нос 75 мм; пленка 400 обратных нос 75 мм; РУП-2; f = 75 см, пленка 400 обратных нос 75 мм.

Газовые поры получают на снимках в виде неправильных точек сферической формы с различной степенью почернения.

Шлаковые включения в сварных швах имеют форму неправильных точек, примерно как и газовые поры, и форму вытянутых полос.



Для проверки чувствительности снимков к выявлению минимальных дефектов применяются проверочные эталоны двух типов — проволоочные и пластинчатые.

Проволоочные эталоны представляют собой набор проволоочек различного диаметра из стали, меди и алюминия в соответствии с просвечиваемым металлом. Проволока укладывается на шов в центре снимаемого участка ступенями в зависимости от толщины просвечиваемого металла.

Выявленный снимком отпечаток проволоки наименьшего диаметра для данной толщины является показателем достигнутой максимальной чувствительности. Размеры проволоки указаны в табл. 4.

4. Диаметры проволоки для проверочных эталонов

Степень	Диаметр проволоки в мм	Степень	Диаметр проволоки в мм	Степень	Диаметр проволоки в мм
1	0,1	2	0,8	3	1,5
для толщин от 0	0,2	для толщин от 50	1,0	для толщин от 100	2,0
до 50 мм	0,3	до 100 мм	1,2	до 150 мм	2,5
	0,4		1,4		3,0
	0,5		1,6		3,5
	0,6		1,8		4,0
	0,7		2,0		4,5

Пластинчатые эталоны с бороздками и лунками изготавливаются так же, как и проволоочные из материала, подвергающегося контролю и так же укладывается на поверхности изделия, обращенной к источнику лучей, в центре снимаемого участка, на расстоянии 10 мм от края шва. Форма и размеры эталонов (ГОСТ 7512-55) показаны на фиг. 21. Чувствительность рентгеновских и гамма-снимков оценивается по наименьшей глубине канавки, выявленной снимком для данной толщины металла, и может вычисляться по формуле

$$K = \frac{x \cdot 100}{st} \%$$

где x — наименьшая глубина канавки эталона в мм, выявленная на снимке;
 s — толщина металла в мм в месте установки эталона;
 t — толщина эталона чувствительности в мм.

Чувствительность рентгеновских и гамма-снимков, определяемая по эталонам, должна соответствовать данным табл. 5.

Оценка сварных швов по рентгеновским и гамма-снимкам производится в том случае, если контрольный снимок удовлетворяет следующим требованиям: а) четкое изображение всего контролируемого участка шва; б) наличие отпечатка дефектометра с отметкой, определяющей чувствительность данного снимка в соответствии с ГОСТом 7512-55; наличие изображения клеймителя или маркировочных знаков на снимке; г) плотность почернения снимка должна быть в пределах 0,8—1,5 единиц оптической плотности для рентгеновских снимков и в пределах 1,0—2,0 для гамма-снимков; д) снимок не должен иметь

5. Чувствительность рентгеновских и гамма-снимков

Толщина металла в мм	Чувствительность в %			
	Сталь всех марок, медь, латунь и другие металлы и сплавы плотностью от 6 и выше		Алюминий и его сплавы, сплавы магния и кремния	
	Рентгеновские снимки	Гамма-снимки (номинальн. 60)	Рентгеновские снимки	Гамма-снимки (номинальн. 60)
5	3,5	6,0	6	12
10	2,5	4,0	4	8
20	1,5	3,0	3	6
50	2,0	2,5	2,5	3,5
100	2,5	3,0	3	4
150	—	4,0	—	—

Фиг. 21. Устройство пластинчатых эталонов с бороздками: а — и б — для малых и средних толщин; в и г — для больших толщин

пятен, полос и повреждений эмульсионного слоя пленки, затрудняющих выявление дефектов.

Рассмотрение снимков для оценки качества производится на негатоскопе — светящемся фонаре с регулировкой силы света.

Расшифровка гамма-снимков должна производиться с большей тщательностью, так как гамма-снимки менее контрастны, чем рентгеновские.

В заключении, составляемом по каждому снимку, указываются длина участка шва в мм, подвергнутого контролю снимком, а также количество и размеры дефектов на этом участке и соответствие снимков техническим условиям и эталонам, принятым для браковки и приемки данного изделия соответствиям стандартам. Дефекты, выявленные снимками, разбиваются на ствующими стандартами. Дефекты, выявленные снимками, разбиваются на виды и группы; их размеры указываются в мм, причем размером дефекта считается наибольшая протяженность его на снимке. В заключении могут быть указаны и размеры дефекта по протяженности в глубину шва в случае необходимости такого определения при помощи фотометрирования.

Для сокращенного обозначения вида дефекта должны применяться следующие знаки: Г — газовые поры; Ш — шлаковые включения; Н — непровар; НС — непровар сплошной (на протяжении снимка); ТП — трещины поперечные; ТПР — трещины продольные; ТР — трещины радиальные.

Группа А — отдельные дефекты; группа Б — цепочка дефектов; группа В — скопление дефектов.

Пример оценки дефектов по снимкам.
 На рентгеновском или гамма-снимке на участке шва 300 мм выявлены: цепочка пор диаметром 2 мм на протяжении 100 мм и продольная трещина длиной 75 мм.

Запись производится в следующем виде: П. Б—(1—2)—100, Тпр—1—75.
 На большинстве заводов регистрация контроля изделий рентгено- и гамма-графированием производится в специальном журнале, в который заносятся следующие сведения: а) дата контроля; б) условное обозначение сварного шва; в) маркировка рентгено- и гамма-снимков; г) условия рентгено- и гаммаграфирования; д) дефекты, выявленные снимком (заключение о качестве).

Качество сварных швов определяется по рентгеновскому или гамма-снимку в соответствии с техническими условиями на изготовление того или иного сварного изделия и конструкции. Во всех технических условиях на приемку и браковку сварных швов имеются указания на обязательную браковку швов при

Методика ультразвукового контроля сварных швов

Для контроля сварного шва щупом, дающим излучение под углом к поверхности, возможно применение схем прозвучивания «прямым» и «отраженным» лучом (фиг. 23 и 24).

Применение щупа, дающего излучение под углом к поверхности металла, затрудняет определение глубины залегания дефекта, так как можно измерить только время между посылкой импульса и приемом отраженного сигнала, эквивалентное расстоянию щуп-дефект, считая по ходу ультразвукового луча.

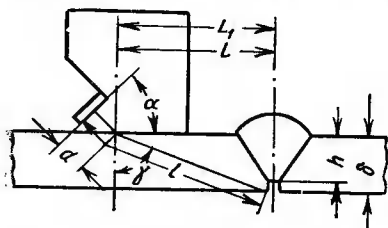
Используя допущение о малом диаметре ультразвукового луча, можно установить математическую зависимость между истинной глубиной залегания дефекта и расстоянием от пьезоэлемента щупа до дефекта, отсчитанным по ходу луча, а также определить расстояние от щупа до места, под которым залегает дефект.

Для схемы прозвучивания «прямым» лучом (см. фиг. 23) имеем:

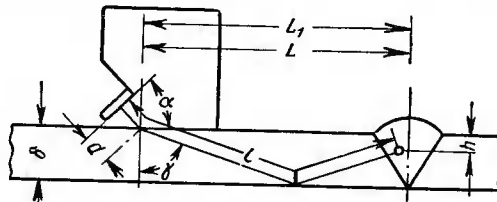
$$h = (l - d) \cos \gamma \quad (1)$$

$$L = (l - d) \sin \gamma - a. \quad (2)$$

Здесь h — глубина залегания дефекта от плоскости, на которой установлен щуп; L — расстояние от передней грани щупа до точки, под которой расположен дефект; l — расстояние от пьезоэлемента щупа до дефекта, отсчитанное по ходу луча (определяется по показаниям эталона времени ультразвукового дефектоскопа); d — эквивалентное расстояние (скорости ультразвука в призме и металле различные) по оси пьезоэлемента от пьезоэлемента до



Фиг. 23. Схема прозвучивания сварного шва наклонным лучом.



Фиг. 24. Схема прозвучивания с однократным внутренним отражением.

точки выхода центра ультразвукового луча из призмы щупа (определяется замерами); γ — угол преломления; величина его зависит от угла падения α и от материала призмы щупа и контролируемого изделия; a — ширина щупа (определяется замерами).

Для схемы прозвучивания «отраженным» лучом аналогично получаем:

$$h = 2\delta - (l - d) \cos \gamma, \quad (3)$$

где δ — толщина основного металла.

Для контроля сварных швов малых толщин следует пользоваться многократным внутренним отражением ультразвукового луча. Расчетные формулы можно составить аналогично формулам (3).

Основные расчетные параметры щупов конструкции ЦНИИТМАШ, входящие в комплект дефектоскопа УЗД-7, приведены в табл. 6.

Производить вычисления в каждом случае контроля сварного соединения нерационально. Графическое решение уравнений (1), (2), (3) и соответствующих уравнений для многократно отраженного луча может быть выражено номограммами подобно приведенной на фиг. 25. Аналогичные номограммы можно составить для щупов с $\alpha = 30^\circ$ и $\alpha = 50^\circ$.

1 Методика разработана в МВТУ.

Пользование номограммой для прозвучивания сварного соединения сводится к следующему.

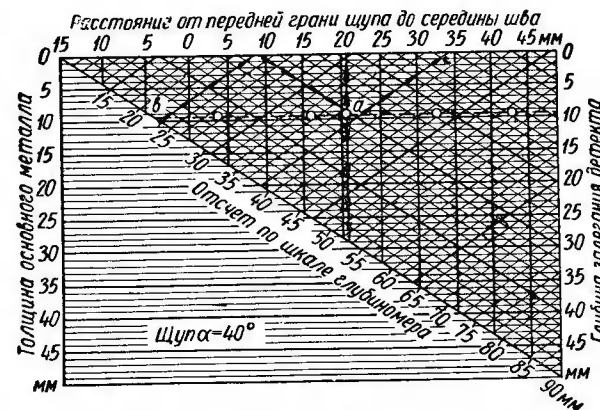
Допустим, что необходимо проконтролировать сварной шов при толщине основного металла 10 мм. При такой толщине максимальная глубина залегания дефекта составляет 10 мм от плоскости, на которой установлен щуп. Проводим по номограмме (см. фиг. 25) горизонтальную линию справа налево от отметки 10 мм по шкале глубин залегания дефекта. Пересечение с основной наклонной прямой в точке b дает расстояние от пьезоэлемента до дефекта по ходу луча (в данном случае 23 мм). Идя вверх из точки b , по верхней шкале определяем необходимое расстояние от передней грани щупа до середины шва. В данном случае оно равно 4 мм.

Полученная отрицательная величина показывает, что применить прозвучивание «прямым» лучом при толщине 10 мм щупом с $\alpha = 40^\circ$ нельзя, так как щуп придется установить над швом. Чтобы установить щуп над швом, необходимо убрать усиление сварного шва.

По этой причине приходится использовать двукратное внутреннее отражение ультразвукового луча. В этом случае следует из точки пересечения горизонтали 10 мм (толщина основного металла) с основной наклонной прямой провести прямую вправо и вверх. Прямая пересечет верхнюю шкалу в точке 9 мм. Из

6. Параметры щупов конструкции ЦНИИТМАШ

Угол падения α в град.	Угол преломления в град.	Эквивалентное расстояние пути луча в призме щупа в мм	Ширина щупа в мм
30	41	4,5	12
40	51	9	16
50	69	10,5	21



Фиг. 25. Номограмма для щупа с углом 40° .

этой точки спускаемся вправо вниз до пересечения горизонтали 10 мм и получаем точку a .

Из точки a , идя по вертикали вверх, получаем на верхней шкале отсчет 20,5 мм. Полученная величина определяет оптимальное расстояние от середины шва до передней грани щупа для контроля неперова нижней кромки стыкового шва при толщине основного металла 10 мм и двукратном внутреннем отражении ультразвукового луча при контроле щупом с углом падения $\alpha = 40^\circ$.

Спускаясь из точки a по вертикали вниз до пересечения с основной наклонной прямой, получаем отсчет 53 мм. Полученная величина определяет длину пути ультразвукового луча от пьезоэлемента до дефекта при двукратном отражении луча. Контроль дефектов, залегающих в толще шва, производится с использованием трехкратного отражения луча.

Для контроля сварного шва по всей толщине определяются пределы перемещения щупа по поверхности металла. В разбираемом примере для толщины основного металла 10 мм эти пределы при дву- и трехкратном отражении ультразвукового луча будут от 21 до 35 мм, считая от середины шва. Соответственно сигналы, отраженные от дефекта, будут находиться в пределах от 53 до 72 мм по шкале глубиномера дефектоскопа.

При пользовании глубиномером дефектоскопа УЗД-7 следует учитывать, что шкала градуирована для продольных колебаний. Поскольку призматические щупы дают поперечные колебания, отсчеты по шкале нужно умножать на 0,49, так как скорость распространения поперечных колебаний равна 0,49 скорости распространения продольных колебаний.

С помощью ультразвука можно также успешно контролировать угловые швы призматическим щупом с использованием однократного или многократного отражения ультразвукового луча.

Номограмма для контроля угловых швов должна быть построена с учетом того, что дефекты залегают выше плоскости, на которой установлен щуп. Чтобы избежать случайных импульсов на экране дефектоскопа при слишком большом коэффициенте усиления приемного усилителя, а также пропуска дефекта при малом усилении приемного усилителя, следует правильно отрегулировать чувствительность ультразвукового дефектоскопа.

Регулирование чувствительности дефектоскопа удобно производить при помощи эталона, т. е. образца с дефектами известной величины. Эталон для регулировки чувствительности ультразвукового дефектоскопа должен отвечать следующим основным требованиям:

а) глубина залегания дефекта в эталоне и его положение по отношению к ультразвуковому лучу должны быть по возможности близки к глубине залегания дефекта в изделии;

б) размеры дефекта на эталоне должны быть равны минимально выявляемым, а также соответствовать ряду больших величин (примерно 5—7 мм в зависимости от прозвучиваемой толщины);

в) чистота поверхности эталона должна соответствовать чистоте поверхности изделия;

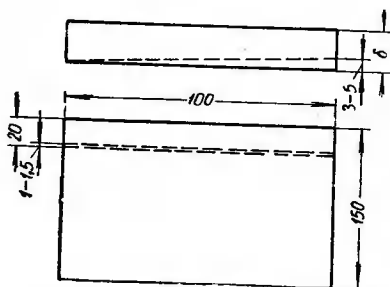
г) кривизна поверхности эталона должна соответствовать кривизне поверхности изделия;

д) материал эталона и изделия должен быть одинаковым.

Для контроля стыковых сварных швов удобно применять эталон, изображенный на фиг. 26. Эталон имеет канавку переменной глубины.

Регулирование чувствительности дефектоскопа производится следующим образом. Например, в сварном шве толщиной 10 мм техническими условиями допускается непровар 5%, т. е. 0,5 мм. Устанавливаем щуп с $\alpha = 40^\circ$ на расстоянии, определяемом по вышеописанной методике (в данном случае 20 мм), против части канавки, средняя глубина которой составляет 0,5 мм; регулировкой усиления дефектоскопа добиваемся отчетливого выявления этой канавки. Отрегулировав таким способом дефектоскоп, не меняя регулировки усиления, проводим контроль. Дефекты, площадь которых превышает или равна площади канавки глубины 0,5 мм, будут выявлены прибором.

Используя описанный эталон, можно приблизительно определить размер выявленного дефекта. Для этого, получив на экране импульс, отраженный от дефекта, регулировкой чувствительности дефектоскопа изменяем высоту импульса до 10—12 мм на экране трубки. Далее, не изменяя полученной регулировки, переносим щуп на эталон и определяем глубину канавки, дающую импульс такой же примерно высоты.



Фиг. 26. Устройство эталона для настройки дефектоскопа.

Глубина канавки определяет эквивалентную площадь дефекта, выявленного прибором.

В сварном соединении при контроле ультразвуковым дефектоскопом УЗД-7 могут быть выявлены трещины и непровары глубиной 0,15—0,2 мм и больше при их длине не менее 5 мм; газовые поры и шлаковые включения диаметром 1—1,5 мм и более для толщины сваренного металла свыше 5 мм.

Ультразвуковой контроль качества контактной точечной и шовной сварки

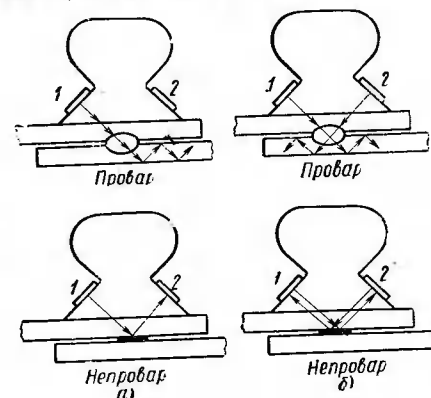
До настоящего времени контроль готовой сварной точки без разрушения являлся неразрешенной задачей. Применение для этих целей рентгеновского просвечивания, магнитной дефектоскопии, метода контроля термокраской и других физических методов дает весьма ненадежные результаты, не удовлетворяющие производство.

Для контроля может быть применен дефектоскоп типа УЗД-7н ЦНИИТ-МАША, доукомплектованный специальным щупом. Щуп (фиг. 27) представляет собой плексигласовую призму, на которой укреплены два пьезоэлемента.

Для контроля сварной точки используется импульсный метод ультразвукового дефектоскопии. Принципиальная схема ультразвукового контроля сварной точки показана на фиг. 28. Как видно из фигуры, контроль можно производить по двум вариантам работы дефектоскопа.

По первой схеме (см. фиг. 28, а) излучатель-пьезоэлемент 1 дает направленный лучок ультразвуковых колебаний. Ультразвуковой луч (направленный под углом 40° к поверхности прилегающего к точке металла) проходит через верхний лист, попадает в хорошо сваренную точку и проходит сквозь ядро и нижний лист, где рассеивается, не давая импульса на экране трубки дефектоскопа. Если точка имеет непровар и другие дефекты, то в нижний лист уходит только часть энергии ультразвукового луча. Остальная энергия из верхнего листа попадает на приемный пьезоэлемент 2, возбуждая в нем электрические колебания. На экране трубки дефектоскопа в этом случае появляется импульс, определяющий наличие дефекта.

По второй схеме (см. фиг. 28, б) пьезоэлементы 1 и 2 дают два направленных навстречу друг другу лучка ультразвуковых колебаний. При этом, так же как и в первом случае,



Фиг. 27. Щуп для контроля сварных точек: 1 — призма из оргстекла; 2 — пьезоэлемент; 3 — корпус датчика.

Фиг. 28. Принципиальная схема ультразвукового контроля точки: а — с одним излучающим пьезоэлементом (1); б — с двумя излучающими пьезоэлементами (1 и 2).

в точке с хорошим проваром оба луча проходят через ядро точки и рассеиваются в нижнем листе. В случае непровара оба луча проходят только в верхнем листе, многократно отражаются и принимаются каждым щупом. Так как оба щупа работают по отношению к приемной схеме усилителя параллельно, то на экране трубки дефектоскопа появляется импульс, указывающий на наличие непровара в точке.

Вторая схема контроля требует более тщательной установки щупа на контролируемом изделии и большего внимания при наблюдении за импульсами на экране трубки, чем первая. Точность контроля равновалена для обеих схем.

Наличие импульса не только свидетельствует о выявленном дефекте точки, но и позволяет определять фактический диаметр ядра сваренной точки, что является весьма важным фактором, характеризующим прочность сварной точки.

Чтобы определить размеры ядра точки, щуп перемещают над точкой. В момент исчезновения импульса на экране трубки дефектоскопа при контроле точек с проваром положение щупа отмечается на поверхности изделия. Дальнейшее перемещение щупа на диаметрально противоположный край точки опять приводит к появлению импульса. Это положение также отмечается. Расстояние между отметками и составляет фактический диаметр точки с точностью $\pm 0,5$ мм.

Чтобы обеспечить необходимый акустический контакт между щупом и изделием, поверхность в зоне установки щупа смачивают жидким минеральным маслом типа «автол 10».

Как показали опыты, с помощью описанной методики можно контролировать сварные точки практически в любых материалах (в стали, алюминии и его сплавах, в титане и др.). Во всех случаях можно определить несправ и фактический диаметр ядра точки с точностью $\pm 0,5$ мм, а также выявить поры и трещины площадью выше $1,5$ мм².

Установлено также, что данная методика пригодна для контроля сварных точек и шовной сварки в листовых конструкциях при толщине элементов $1 + 1$ мм и выше, в соединениях элементов с различной толщиной при толщине верхнего элемента, равной 1 мм и выше, и при толщине сопрягаемого элемента более 1 мм.

МАГНИТНЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Методы магнитной дефектоскопии сварных соединений ферромагнитных металлов основаны на намагничивании проверяемых изделий и возникновении полей рассеивания в местах дефектов в сварных швах.



Фиг. 29. Образование потока рассеивания над дефектом.

Например, если в сварном шве имеется трещина или другой дефект, то магнитные силовые линии стремятся обойти его и образуют местный поток рассеивания (фиг. 29).

При выходе на поверхность поля рассеивания от дефектов обнаруживаются по скоплению частиц магнитного порошка (метод магнитного порошка) или индукционной катушкой (индукционный метод).

Чувствительность магнитного метода зависит от многих причин, основными из которых являются величина и форма дефекта, его ориентация в толще шва по отношению к магнитному потоку и роду намагничивающего тока.

Способы намагничивания

Выбор способа намагничивания определяется магнитными свойствами материала, формой и величиной детали, характером и расположением дефектов.

Существует несколько способов намагничивания: продольное (фиг. 30), поперечное (фиг. 31) — для выявления продольных дефектов;

циркулярное (фиг. 32), наиболее точно выявляющее продольные дефекты в валах, осях и т. д.;

комбинированное намагничивание, при котором в различных сочетаниях применяются указанные выше способы намагничивания.

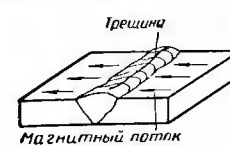
В качестве источников для намагничивания при контроле сварных швов можно использовать сеть переменного тока, сварочный трансформатор, сеть

постоянного тока, сварочный генератор, аккумуляторные батареи, постоянные магниты из специальных сплавов, электромагниты.

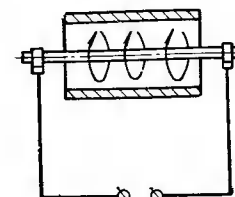
Для размагничивания деталей (когда это необходимо) используется магнитное поле соленоида



Фиг. 30. Продольное намагничивание шва.



Фиг. 31. Поперечное намагничивание шва.



Фиг. 32. Циркулярное намагничивание полого цилиндра.

или биполярного электромагнита; можно также размагничивать пропусканием тока через деталь или через проводник, помещенный в центре ее.

Контроль методом магнитного порошка

Для обнаружения дефектов методом магнитного порошка применяются магнитные порошки и суспензии.

В качестве магнитного порошка могут применяться: чистая измельченная железная окалина; восстановленный железный крокус Fe_2O_3 , переведенный в Fe_3O_4 ; магнетит (Fe_3O_4), полученный химическим путем; стружка (отожженная), получающаяся при шлифовании стальных изделий, порошок никеля или кобальта.

Частицы магнитного порошка должны иметь размер 5—10 мк. Существуют магнитные порошки красного, серого и черного цветов.

В качестве жидкостей для магнитной суспензии применяются масло (трансформаторное, газелиновое, герметичное и др.), керосин, вода, спирт или четыреххлористый углерод.

Наиболее часто применяются трансформаторное масло и керосин. На каждый литр масляной магнитной суспензии берется 200—250 г магнитного порошка.

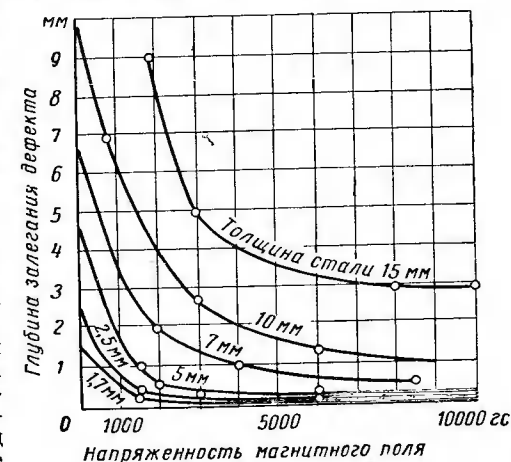
Различают способ контроля при включенном источнике намагничивания и способ, основанный на остаточном магнетизме.

При контроле сухим методом магнитный порошок наносится на испытываемую поверхность с помощью ручных сит, пульверизаторов, пистолетов и т. п. Этот метод наиболее применим при контроле горизонтальных поверхностей.

Контроль методом суспензии может производиться одним из следующих способов:

- погружением намагниченной детали в суспензию;
- поливкой детали суспензией;
- опрыскиванием детали суспензией, находящейся под давлением;
- применением замкнутого сосуда с суспензией;

Неровности поверхности шва не препятствуют выявлению поверхностных дефектов, но затрудняют обнаружение дефектов, скрытых в глубине.

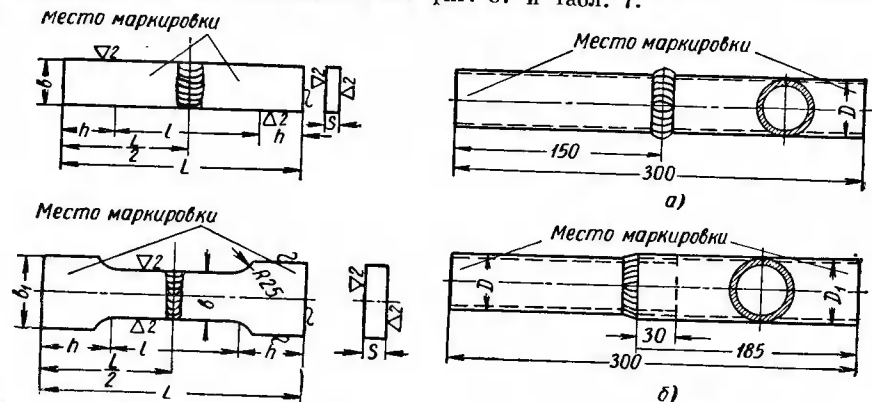


Фиг. 33. Минимальный размер дефекта по протяженности в глубину от поверхности в зависимости от магнитной индукции.

После разрушения образца производится осмотр излома для выявления пор, трещин, шлаковых включений и других пороков металла шва.

Испытание сварного соединения на растяжение производится для определения прочности сварного соединения и прочности металла шва в стыковом соединении.

Форма и размеры плоских образцов для определения прочности сварного соединения должны соответствовать фиг. 37 и табл. 7.

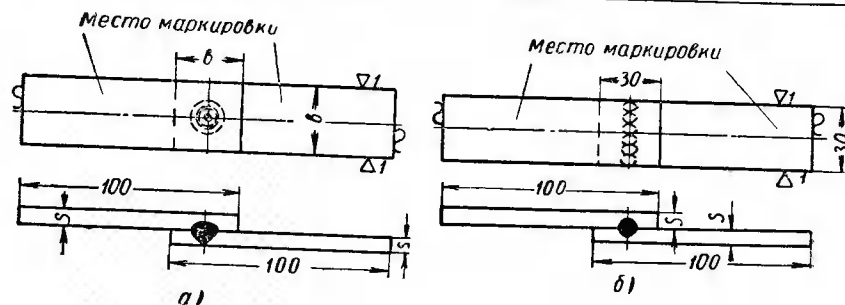


Фиг. 37. Образцы для испытаний сварного соединения на растяжение.

7. Форма и размеры плоских образцов (размеры в мм)

Толщина металла	Ширина рабочей части образца b	Ширина захватной части образца b_1	Длина рабочей части образца l	Общая длина образца L
До 4,5	$15 \pm 0,5$	25	50	$L = l + 2h$
Более 4,5 до 10	$20 \pm 0,5$	30	60	
Более 10 до 25	$25 \pm 0,5$	35	100	
Более 25 до 50	$30 \pm 0,5$	40	160	

Примечания: 1. Длина захватной части образца h устанавливается в зависимости от конструкции испытательной машины.
2. Размеры образца при толщине металла более 50 мм устанавливаются соответствующими техническими условиями.



Фиг. 39. Образцы для испытания на срез соединений, выполненных точечной и шовной сваркой: а — точечная, б — шовная (s — толщина металла в мм).

Образцы указанного типа служат для определения абсолютной прочности сварного соединения.

Для контроля прочности сварных соединений в трубах с толщиной стенки до 6 мм включительно, сваренных в стык и внахлестку, применяются образцы, показанные на фиг. 38.

Образцы сварных соединений, выполненных точечной и шовной сваркой и сваркой электрозаклепками, испытываемые на срез путем растяжения, показаны на фиг. 39, а и б.

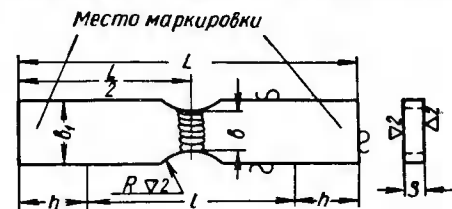
Размеры образцов для определения прочности сварного шва должны соответствовать фиг. 40 и табл. 8.

Предел прочности образца определяется по формуле

$$\sigma_s = K \frac{P}{F},$$

где K — поправочный коэффициент.

Для углеродистых конструкционных и низколегированных сталей



Фиг. 40. Образец для определения прочности сварного шва.

8. Образцы для определения прочности сварного соединения (размеры в мм)

Толщина металла	Ширина рабочей части образца b	Ширина захватной части образца b_1	Радиус закругления R	Длина рабочей части образца l	Общая длина образца L
До 4,5	$15 \pm 0,5$	25	8 ± 1	40	$L = l + 2h$
Более 4,5	$20 \pm 0,5$	30	15 ± 1	60	
До 10	$25 \pm 0,5$	38	20 ± 2	70	
Более 10	$30 \pm 0,5$				

Примечание. Длина захватной части образца h устанавливается в зависимости от конструкции испытательной машины.

коэффициент K равен 0,9. Для других случаев значение K устанавливается соответствующими техническими условиями. Форма образцов для испытания фланговых, лобовых и тавровых швов показана на фиг. 41.

Испытанием на изгиб определяется пластичность стыкового соединения при изгибе.

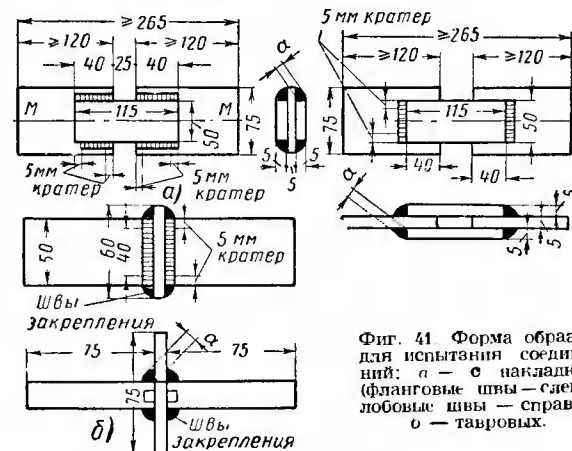
Показателем пластичности служит угол при образовании первой трещины в любом месте образца.

Формы образцов для испытаний на изгиб показаны на фиг. 42 (ГОСТ 6996-54).

Для формы по фиг. 42, а

$b = s + 30$ мм при толщине металла от 5 мм и более;
 $b = s + 15$ мм при толщине металла до 5 мм;
 $L = D + 2,5s + 80$;

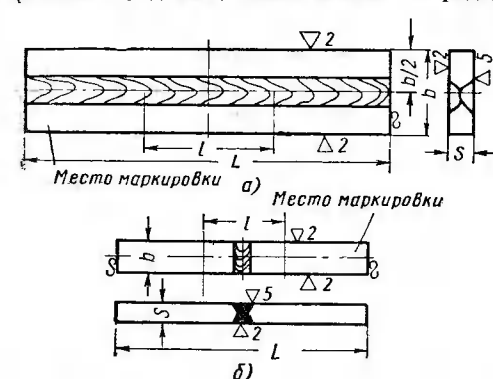
$$l = \frac{L}{3}.$$



Фиг. 41. Форма образца для испытания соединений: а — с накладкой (фланговые швы — слева, лобовые швы — справа); б — тавровых.

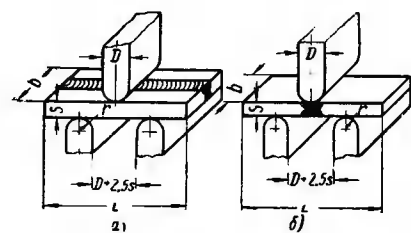
Для формы по фиг. 42, $b = 1,5s$, но не менее 10 мм;
 $L = D + 2,5s + 80$;
 D — диаметр оправки в мм;
 s — толщина металла в мм.

Усиление сварного шва снимается; грани образца на его среднем участке l , равном $1/3$ длины, спиливаются по радиусу $r = 0,2s$, но не больше 3 мм.



Фиг. 42. Форма образцов для испытания на изгиб: а — поперек шва; б — по оси шва.

Испытание металла шва и металла зоны термического влияния на ударный изгиб проводится для определения ударной вязкости при заданной температуре.



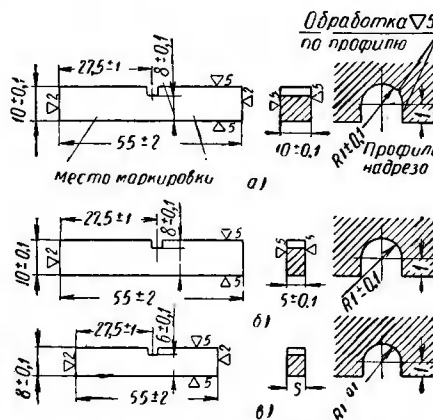
Фиг. 43. Схемы испытания сварных соединений на изгиб: а — для образцов по фиг. 42, а; б — для образцов по фиг. 42, б. (D — по техническим условиям; $r = 2$ — 25 мм, в зависимости от s)

Ударная вязкость на надрезанном образце (a_n) в кгм/см^2 определяется по формуле

$$a_n = \frac{A_n}{F}$$

где A_n — работа удара в кгм , затраченная на излом образца;
 F — площадь поперечного сечения образца в см^2 в месте надреза до испытания.

Форма и размеры образца должны соответствовать фиг. 44.



Фиг. 44. Образцы для испытания на ударный изгиб.

прессе.

Нагрузка должна прикладываться равномерно со скоростью не больше 15 мм/мин.

В протоколе испытания указывается место образования трещины (металл шва, переходная зона, основной металл).

Схемы испытания сварных соединений на изгиб представлены на фиг. 43.

При испытании односторонних швов в растянутой зоне образца должны располагаться поверхностные слои шва, а при многослойной сварке — шов, заверенный последним.

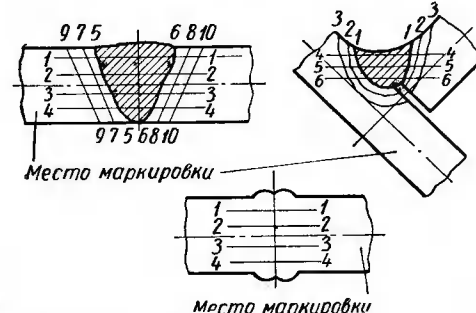
При отсутствии трещин испытание заканчивается загибом образца до параллельности сторон.

Образец по фиг. 44, а применяется при толщине металла от 10 мм и выше, по фиг. 44, б — от 5 до 10 мм, по фиг. 44, в — от 2 до 5 мм.

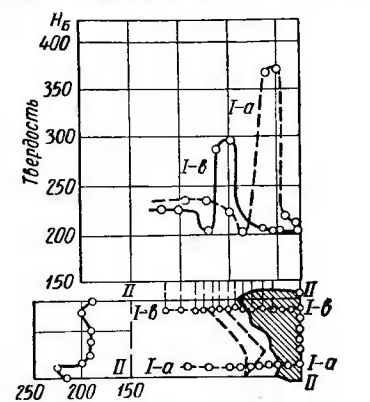
В зависимости от цели испытания надраз в образце располагается по оси шва, по линии сплавления или по зоне термического влияния.

Метод нанесения и обработки надреза, требования к машинам для испытания, метод проведения испытания и обмера образцов, подсчет результатов испытания — по ГОСТам 9454-60 и 9455-60.

Определение твердости сварного соединения по ГОСТу 6996-54



Фиг. 45. Схема разметки сварных соединений для измерения твердости.



Фиг. 46. Кривые твердости по сечению шва на закалывающей стали.

рекомендуется производить по направлениям, указанным на фиг. 45. Число измерений для каждого участка должно быть не менее трех. Для всех видов соединений замеры твердости производятся в поперечном сечении образца.

По полученным значениям строятся кривые твердости по сечению шва (фиг. 46), что позволяет дать некоторую количественную оценку механических свойств соединения и уточнить характер структур.

Проверка твердости производится на приборах Роквелла (шкала А, В и С) по ГОСТу 9013-59 или Виккерса по ГОСТу 2599-59.

Испытания при переменных нагрузках могут производиться как на специальных образцах, так и на готовых деталях машин и конструкциях.

Пределом выносливости металла принято считать наибольшее напряжение, которое выдерживает металл без разрушения при весьма большом числе циклов (для стали принимают 10^7 циклов.)

Метод определения предела выносливости (усталости) основного металла регламентирован ГОСТом 2860-45. Для испытания образцов, подвергающихся чистому изгибу, служат машины типов Шенк и Мур, для испытания консольных образцов — типа Белер. Образцы типа Шенк и Белер изготавливаются с надрезом для фиксирования места разрушения.

Действующее напряжение в опасном сечении определяют по уравнению

$$\sigma_e = \frac{M}{W} = \frac{32Pl}{\pi d^3},$$

где P — нагрузка, приложенная к образцу;
 l — длина образца от точки приложения нагрузки до сечения излома;
 d — диаметр образца.

Форма образцов для испытаний устанавливается этим же ГОСТом.

Сварные соединения, выполненные различными методами, обладают различным пределом выносливости. Его численное значение зависит не только от свойств испытуемого материала, но и от многих технологических, конструк-

ционных и эксплуатационных факторов (размер образца и изделий, чувствительность к надрезу, форма изделия и т. д.). При сравнении результатов испытаний необходимо следить за полной идентичностью условий их проведения. В связи с указанными особенностями вибрационных испытаний в настоящее время все шире применяются натурные и модельные испытания деталей машин и сооружений. В этом случае для сравнительных испытаний сварных и клепаных балок, ферм, мостов и т. п. применяют пульсаторы или вибраторы, позволяющие развить мощное переменное усилие.

МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Макроанализ

Макроанализ сварных соединений производится для определения глубины проплавления, ширины зоны термического влияния, структуры металла шва, а также для выявления внутренних дефектов сварного соединения. Рассмотрение макроструктуры производится на специально приготовленных шлифах и изломах сварного шва.

По излому шва можно судить о характере разрушения металла.

Образцы для исследования макроструктуры вырезаются из контрольных пластин или изделия таким образом, чтобы можно было изготовить шлиф в плоскости поперечного сечения сварного шва. Поверхность шлифа должна включать весь шов, а также зону термического влияния и часть основного металла. Поэтому их размеры и форма устанавливаются в каждом отдельном случае.

Образцы вырезаются механическим способом или газовой резкой на расстоянии 20—30 мм (не менее) от начала или конца шва.

В последнем случае обязательна механическая обработка для удаления слоя металла в 2—5 мм, претерпевшего структурные изменения в процессе резки.

Исследуемая поверхность образца обрабатывается режущим или абразивным инструментом, а затем шлифуется наждачной бумагой с постепенным переходом от грубой к мелкой.

Перед травлением поверхность образца промывается и просушивается. При исследовании макроструктуры применяются следующие реактивы. Для углеродистых и низколегированных сталей:

а) 10 частей серной кислоты (технической); 65 частей соляной кислоты (технической); 25 частей воды (для глубокого травления при температуре 60—70° в течение 20—60 мин.);

б) 120 см³ соляной кислоты; 90 г хлорной меди; 100 см³ воды;

в) 10 г двойной соли хлорной меди и аммония; 100 см³ воды;

г) 25 частей азотной кислоты; 75 частей воды (по весу);

д) реактив Вагана: смесь растворов азотной и уксусной кислоты в равных количествах (50 см³ азотной кислоты + 50 см³ воды и 50 см³ уксусной кислоты + 50 см³ воды);

Для аустенитных сталей:

а) 10 г хлорного железа; 30 см³ соляной кислоты; 120 см³ воды.

б) раствор пикарновой кислоты (10 г шевелевой кислоты на 100 см³ воды).

Для чугуна хорошие результаты дает 5%-ный раствор пикарновой кислоты в этиловом спирте.

Для меди и медных сплавов: 1 часть гидрата окиси аммония, 2 части 5%-ного водного раствора персульфата аммония и 1 часть воды.

Для алюминиевых сплавов — 10—20% раствор едкого натра в воде.

По макроструктуре можно установить глубину провара, а также глубину и очертания зоны термического влияния;

характер первичной кристаллизации наплавленного металла;

различные дефекты сварки (непровары, раковины, шлаковые включения и трещины, ликвацию и неоднородность структуры в наплавленном металле, крупнозернистость в основном или наплавленном металле);

обычно макроструктура фотографируется с увеличением до 5 раз.

Для выявления ликвации серы в металле применяется метод Баумана. На приготовленный макрошлиф накладывается засвеченная фотографическая бромсеребряная бумага, предварительно выдержанная 5—8 мин. в 5%-ном водном растворе серной кислоты. Через 3—5 мин. бумага осторожно снимается и фиксируется.

Микроанализ

При микроскопическом исследовании выявляется строение металла в отдельных участках или зонах сварного соединения. Исследование микроструктуры производится под микроскопом с увеличением в 100—1000 раз.

Вырезка образцов для этой цели производится в таком же порядке и с соблюдением таких же требований, как и для макроанализа. Шлифы полируются наждачной крокусной бумагой или пастами ГОИ.

Для окончательной полировки употребляют окись алюминия, железа или магнетита.

При вырезке или обработке макрошлифов не допускается разогрев образца до температуры выше 100—150° С и его излом при неполной разрезке инструментом.

После полировки, до травления, шлиф просматривают под микроскопом при увеличении в 100—150 раз для установления степени загрязненности металла шва включениями, наличия микротрещин и других дефектов.

Для выявления микроструктуры применяются следующие реактивы.

Для углеродистых и низколегированных сталей:

а) 2—5%-ный раствор азотной кислоты в этиловом спирте. Продолжительность травления 1 мин. Перлит окрашивается в черный цвет.

б) 2—4%-ный раствор пикарновой кислоты в этиловом спирте.

в) пикрат натрия. 25 г едкого натрия растворяют в 60—70 см³ воды, добавляют 2 г кристаллической пикарновой кислоты, после растворения которой добавляют 100 г воды.

В результате травления этим реактивом при 100° С (в кипящей водяной бане) продолжительностью от 5 мин. до 2 час. цементит и нитриды окрашиваются в темный цвет. При холодном травлении выявляются только = цементит.

Для высоколегированных сталей:

а) электролитическое травление в растворе павелевой кислоты;

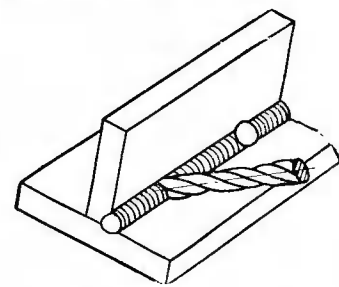
б) для аустенитной нержавеющей стали — 3 части соляной кислоты и 1 часть азотной кислоты.

Для макрошлифов при сварке меди и ее сплавов, а также алюминия и его сплавов применяются те же реактивы, что и при исследовании основного металла.

По микроструктуре сварного соединения можно установить примерное содержание углерода, наличие микротрещин, непроваров, нитридных и кислородных включений, выпадение карбидов в специальных сталях и др.

Контроль швов засверловкой

Особенностью указанного способа является металлографическое исследование шва на самом изделии. Схема засверловки приведена на фиг. 47. Полученные канавки зачищаются и протравливаются 10—12%-ным водным раствором двойной соли хлористой меди и аммония. При осмотре можно выявить наличие непроваров, включений и трещин. Порядок контроля определяется техническими условиями на приемку изделия.



Фиг. 47. Схема контроля засверловкой.

ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И КОРРОЗИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ СВАРНЫХ ШВОВ

Контрольному химическому анализу подвергаются основной, наплавленный и электродный металлы, а также компоненты электродных покрытий и флюсов.

Химический анализ дает возможность определить правильность выбора материалов для сварной конструкции и технологии сварки данного металла.

Методы отбора проб для химического анализа регламентированы ГОСТом 7122-54. Отбор проб и химический анализ электродной проволоки производятся в соответствии с ГОСТом 2246-60.

Пробу можно брать различными способами (сверлением, строганием, фрезерованием и т. п.) в зависимости от местных условий.

Химический анализ проводится либо на все составляющие элементы металлов, либо только на интересующие.

Коррозионные испытания проводятся для определения стойкости сварного шва в коррозионной среде и сравнительной коррозионной стойкости металла шва, зоны термического влияния и основного металла; для выбора технологии сварки, обеспечивающей наименьшую коррозию сварного соединения.

Коррозионной средой может быть воздух, вода или химические реагенты. Основными методами определения стойкости против коррозии являются:

- 1) весовой — взвешивание образцов до и после испытания;
- 2) профилографический — измерение профиля;
- 3) электрохимический — измерение электродных потенциалов;
- 4) объемный — определение количества газов;
- 5) метод определения коррозионной стойкости по изменению механических свойств;

6) качественная оценка по внешнему виду.

Для малоуглеродистой стали применяют 25%-ный водный раствор серной кислоты при комнатной температуре.

Для меди — кипячение в течение 100 час. в одном из следующих составов: 50% крепкой уксусной кислоты + 50% воды; 50% крепкой уксусной кислоты + 1,5% серной кислоты + 48,5% воды; 50% крепкой уксусной кислоты + 1% крепкой серной кислоты + 1,5% крепкой соляной кислоты + 47,5% воды.

Для аустенитных и аустенито-ферритных нержавеющих сталей особое значение имеют методы испытания на межкристаллитную коррозию, которые регламентированы ГОСТом 6032-58.

Склонность к межкристаллитной коррозии определяется одним из следующих методов.

Метод А — испытание образцов сталей в водном растворе медного купороса и серной кислоты.

Метод АМ — испытание образцов сталей в водном растворе медного купороса и серной кислоты в присутствии медной стружки.

Метод Б — анодное травление участков поверхности деталей и изделий.

Метод В — испытание образцов сталей в водном растворе медного купороса и серной кислоты с добавкой цинковой пыли.

Метод Г — испытание образцов сталей в растворе азотной кислоты и фтористого натрия.

Метод Д — испытание образцов сталей в кипящей 65%-ной азотной кислоте.

Размеры образцов по ширине и длине должны устанавливаться для проката и сварных образцов с одним швом — 20×80 мм; для сварных образцов с перекрывающимися швами — 35×80 мм. Допускаются другие формы и размеры образцов.

Метод А предназначен для контроля сталей марок X13H4Г9, X14Г14НЗТ, 1X18H9T, X22H6T, 2X18H9, X20H14C2, ЭИ694, ЭИ695 и их сварных соединений.

Раствор для испытания должен содержать 110 г $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (ГОСТ 4165-48) + 55 мл серной кислоты уд. в. 1,835 (ГОСТ 4204-48) + 1 л воды.

В указанном растворе образцы кипятятся непрерывно. Продолжительность кипячения образцов из сталей марок X20H14C2, 2X18H9, X13H4Г9, X14Г14НЗТ — 24 часа; для сталей марок X18H9T, X22H6T, ЭИ694, ЭИ695 продолжительность кипячения устанавливается по особым техническим условиям на поставку металла, но не менее 72 час.

После испытания образцы промываются и просушиваются, затем подвергаются загибу на угол 90° .

Метод АМ предназначен для контроля сталей марок 0X18H9, 1X18H9, X23H18, 0X18H9T, 1X18H9T, 1X18H12T, X18H11B, X18H12M2T, X18H12M3T и их сварных соединений.

Раствор для испытания должен содержать 160 г $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (ГОСТ 4165-48) + 100 мл серной кислоты уд. весом 1,835 (ГОСТ 4204-48) + 1 л воды + медная стружка.

Кипячение образцов производят непрерывно; не допускается нагрев холодильника. Продолжительность испытания образцов 24 часа.

По окончании испытания промытые и просушенные образцы подвергаются загибу на угол 90° .

Метод В предназначен для контроля сталей марок 0X23H28M3ДЗТ, X23H28M3ДЗТ, X23H27M2T и их сварных соединений.

Раствор для испытания должен содержать 110 г $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (ГОСТ 4165-48) + 55 мл серной кислоты уд. весом 1,835 (ГОСТ 4204-48) + 1 л воды + 5 г цинковой пыли.

Кипячение образцов производится непрерывно; не допускается нагрев холодильника. Длительность кипячения 144 часа.

По окончании испытания промытые и просушенные образцы подвергаются загибу на угол 90° .

Метод Г предназначен для контроля сталей марок X23H27M2T, 0X23H28M3ДЗТ на предприятиях-поставщиках металла и предприятиях-изготовителях изделий, а также для контроля правильности технологии сварки и других технологических операций, связанных с нагревом металла до опасных температур.

Раствор для испытания должен содержать 10%-ный раствор (по весу) азотной кислоты (ГОСТ 4461-48) + 2% фтористого натрия (ГОСТ 4463-48).

По окончании испытания промытые и просушенные образцы подвергаются загибу на угол 90° .

Наличие поперечных трещин на поверхности изогнутого образца при испытании по методам А, АМ, В и Г являются признаком брака.

В таких случаях испытание повторяют на двойном количестве образцов. Если и в этом случае хотя бы на одном из образцов при изгибе имеет место образование поперечных трещин, металл считается не выдержавшим испытание на межкристаллитную коррозию.

Когда загиб образцов невозможен, необходимо производить металлографические исследования.

Металлографическое исследование образцов, прошедших коррозионное испытание, производится на шлифах.

Просмотр и фотографирование шлифа осуществляется при увеличении в 300—400 раз.

При обнаружении трещин на нетравленных шлифах характер коррозионного разрушения определяется на травленном шлифе.

Браковочным признаком является разрушение границ зерен металла:

- а) на глубину более 30 мк в случае повышенной травимости границ зерен по всей поверхности шлифа;
- б) на глубину более 50 мк в случае повышенной травимости границ единичных зерен.

Метод Д применяют по согласованию между предприятием-изготовителем изделий и предприятием-поставщиком металла для контроля закаленных на аустенит хромоникелевых сталей марок 0X18H9T, 1X18H9T, X18H11B и сварных соединений из них, предназначенных для эксплуатации в азотной кислоте концентрации до 65% при температурах от 60°C до температуры кипения.

Раствор для испытания состоит из 65%-ной (по весу) азотной кислоты (ГОСТ 4461-48).

Испытание проводят при кипении раствора. Продолжительность испытания — 3 цикла по 48 часов. Если в первые два цикла испытания скорость коррозии образцов больше чем $1,5 \text{ г/м}^2\text{час}$, испытание прекращают.

Образцы считают не выдержавшими испытание, если скорость коррозии стали после любого цикла превышает $1,5 \text{ г/м}^2\text{час}$ или после металлографического исследования пенногнутых образцов наблюдается разрушение границ зерен металла хотя бы на один слой кристаллов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бергман Л., Ультразвук, изд. иностранной литературы, 1957.
2. Гамма-дефектоскопия металлов. Сборник статей, издательство АН СССР, 1955.
3. Губанова М. Р. и Пушкин В. П., Ультразвуковой контроль аустенитных сварных стыков паропровода, изд. Инст. научно-технической информации, 1957.
4. Гурвич А. К., Ультразвуковая дефектоскопия стыковых сварных швов. Информационный листок № 64 Ленинградского дома научно-технической пропаганды, 1958.
5. Еремин Н. И., Магнитная порошковая дефектоскопия, Машгиз, 1947.
6. Жигалло А. Р., Контроль деталей методом магнитного порошка. Оборонгиз, 1951.
7. Керлин В., Ультразвук, изд. иностр. литературы, 1950.
8. Назаров С. Т., Контроль качества сварных соединений, Машгиз, 1950.
9. Пацкевич П. Р., Дефекты в сварных соединениях, Машгиз, 1947.
10. Погодин-Алексеев Г. И., Назаров С. Т., Гапченко М. Н., Методы испытаний сварных соединений и конструкций, Машгиз, 1952.
11. Поляк Э. В., Люминесцентный метод контроля деталей «Заводская лаборатория» № 7, 1952.
12. Румянцев С. В. и Григорович Ю. А., Контроль качества металлов гамма-лучами, Металлургиздат, 1954.
13. Соколов В. С., Дефектоскопия материалов, Госэнергоиздат, 1957.
14. Соколов С. Я., Современные проблемы применения ультразвука «Успехи физических наук», т. XI, вып. I, январь 1950.
15. Таточенко Л. К. и Медведев С. В., Промышленная гамма-дефектоскопия, Металлургиздат, 1955.
16. Трапезников А. К., Рентгенодефектоскопия, Машгиз, 1948.
17. Фалькевич А. С., Новые методы контроля качества сварки резервуаров и нефтегазопроводов, «Нефтяное хозяйство» № 1, 1956.
18. Химченко Н. В., Инструкция по контролю сварных швов аустенитных сталей цветным методом.
19. Шрайбер Д. С., Промышленное применение ультразвуковой дефектоскопии, «Заводская лаборатория», № 7, 1952.
20. Янус Р. И., Магнитная дефектоскопия. Госиздат, 1946.

СПРАВОЧНИК ПО СВАРКЕ

Том II

Технический редактор Б. И. Моделё Корректоры: Е. А. Давыдкина и В. П. Крылова

Подписано к печати 29/XII 1961 г. Т-08011. Тираж 35000 (2-й завод 20001—35000) экз.
Печ. л. 42. Бум. л. 21. Уч.-изд. л. 52,5. Формат 60 × 92¹/₁₆. Зак. 945.

Типография «Красный Печатник». Ленинград. Московский проспект, 91.