

СВАРКА И РЕЗКА МЕТАЛЛОВ

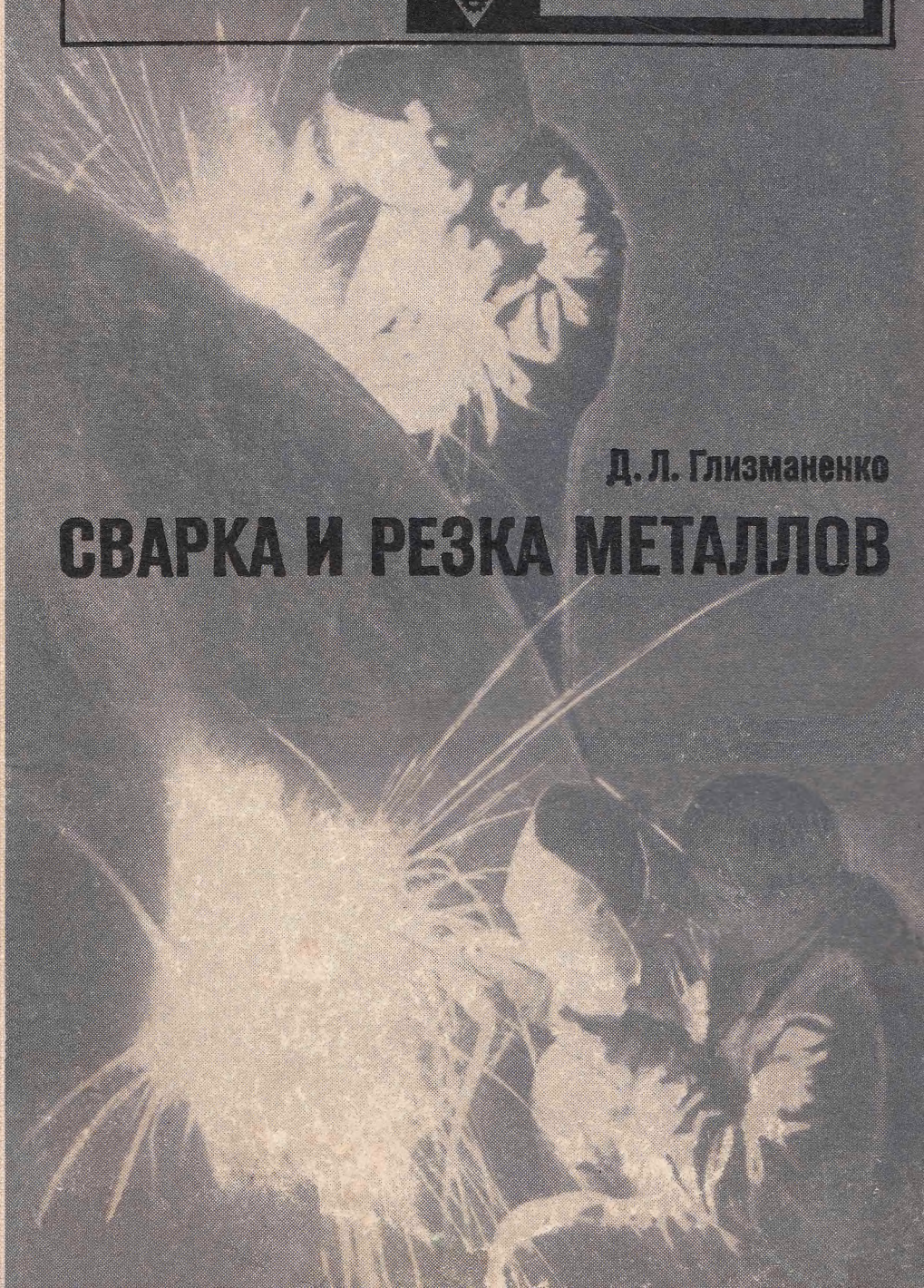
ПРОФТЕХОБРАЗОВАНИЕ



СВАРКА

Д. Л. Глизманенко

СВАРКА И РЕЗКА МЕТАЛЛОВ



Д. Л. ГЛИЗМАНЕНКО

СВАРКА И РЕЗКА МЕТАЛЛОВ

ИЗДАНИЕ 8-е, ДОПОЛНЕННОЕ

Одобрено Ученым советом
Государственного комитета
Совета Министров СССР
по профессионально-техническому образованию
в качестве учебника
для профессионально-технических училищ



МОСКВА «ВЫСШАЯ ШКОЛА» 1975

Отзывы о книге просим направлять по адресу: Москва, К-51,
Неглинная ул., 29/14, издательство «Высшая школа».

Глизманенко Д. Л.

Г 54 Сварка и резка металлов. Изд. 8-е, доп. Учеб.
для проф.-техн. училищ. М., «Высш. школа», 1975. 3.
479 с. с ил.

В книге описана технология ручной дуговой сварки, излагаются основы полуавтоматической дуговой сварки в защитных газах, газовой сварки, кислородной, кислородно-флюсовой, воздушно-дуговой и плазменно-дуговой резки металлов.

Приводятся основные сведения по современному сварочному оборудованию, методам контроля производства, организации труда, технике безопасности и нормированию сварочных работ.

Книга предназначена в качестве учебника по специальной технологии при обучении электросварщиков в профессионально-технических училищах с двухгодичным сроком обучения.

Она может быть использована для подготовки и повышения квалификации рабочих сварочного производства на курсах, в школах, технических кружках и для самостоятельного изучения сварочного дела.

Г $\frac{31206-045}{052(01)-75}$ 86—74

6П4.3

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящая книга является учебником по специальной технологии и предназначена для подготовки электрогазосварщиков в профессионально-технических училищах с двухгодичным сроком обучения. Названия глав, параграфов, объем материала и порядок его расположения отвечают программе и учебному плану по данному предмету, устанавливающим последовательность проработки тем в соответствии с параллельными занятиями по производственному обучению.

Занятия по производственному обучению в профессионально-технических училищах начинаются уже на первом году. Поэтому в главе II приводятся общие краткие сведения о сварочном оборудовании и его обслуживании. Более подробно эти вопросы изложены в главах XXI, XXII и XXIII, изучаемых на втором году обучения. Так как программой предусмотрена подготовка электрогазосварщиков широкого профиля для ручной сварки — в учебнике изложена лишь общая технология сварки различных металлов. Специализация по видам конструкций (строительных, машиностроительных, судостроительных, трубопроводов, резервуаров и пр.) должна осуществляться в процессе выполнения заданий по производственному обучению.

В книге не приводятся сведения по электротехнике, технологии металлов и общей экономике производства, так как они изучаются по специальным программам и учебникам.

Вопросы автоматизации сварки изложены в пределах требований программы с учетом того, что в профессионально-технических училищах производится обучение рабочих по профессии «Электросварщик-автоматчик», для чего изданы специальные учебники. По этим же соображениям и в целях сокращения объема учебника в него не включена тема «Полуавтоматическая сварка под флюсом», которая должна прорабатываться по учебнику для профессии «Электросварщик-автоматчик» *.

Для ознакомления учащихся с современным уровнем развития сварки в начале учебника приводятся сведения о новых способах сварки и областях их применения. Освещаются также основные этапы истории развития сварки в СССР, показывающие приоритет советской сварочной науки и техники, роль сварки в народном хозяйстве.

Все отмеченные выше особенности данного учебника читатель должен иметь в виду, пользуясь настоящей книгой.

* См. указатель литературы, пункт 11.

ВВЕДЕНИЕ

В Директивах XXIV съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1971—1975 гг. указано, что главная задача девятой пятилетки состоит в том, чтобы обеспечить значительный подъем материального и культурного уровня жизни народа на основе высоких темпов развития социалистического производства, повышения его эффективности, научно-технического прогресса и ускорения роста производительности труда. Среди других важных задач, подлежащих разрешению в период 1971—1975 гг., XXIV съезд КПСС также указал на необходимость ускоренного развития специализированных мощностей по производству сварных конструкций, повышения качества и точности сварных изделий за счет внедрения в производство новых технологических процессов, современных конструкционных и сварочных материалов, поточных и автоматических линий.

В наш век научно-технической революции сварка имеет огромное значение. Сварка является мощным средством ускоренного развития машиностроения, строительства и транспорта, так как вносит важные изменения в конструкцию и технологию производства изделий, оказывает большое влияние на организацию и экономику производства. Благодаря применению сварки стало возможным создание многих конструкций машин, аппаратов и сооружений, которые практически нельзя было изготовить другими способами обработки.

Непрерывный рост производства и строительства, осуществляемый в нашей стране в соответствии с планами развития народного хозяйства, требует расширения масштабов применения сварки и резки металлов, повышения производительности, а также механизации и автоматизации этих процессов. Поэтому партия и правительство уделяют большое внимание дальнейшему расширению сварочного производства и повышению его технического уровня.

Начиная с 1958 г. в СССР сварочное производство развивается по государственным комплексным программам, утверждаемым на текущее пятилетие. На основе этих планов за сравнительно короткие сроки удалось создать самостоятельный вид сварочного производства и превзойти передовые в промышленном отношении капиталистические страны по масштабам и темпам развития сварки.

В ряде Постановлений ЦК КПСС и Совета Министров СССР определены следующие основные направления и задачи развития сварки в Советском Союзе, а именно: замена клепаных, литых, кованых и других конструкций более экономичными — сварными; создание специализированных предприятий и цехов для централизо-

ванного изготовления сварных конструкций; внедрение износостойкой наплавки деталей машин и механизмов; расширение производства сварочного оборудования и сварочных материалов; внедрение современных высокопроизводительных методов автоматической сварки.

Выпуск сварных конструкций и уровень механизации сварочных работ растет из года в год. Получаемая за счет применения сварки ежегодная экономия в народном хозяйстве исчисляется многими сотнями миллионов рублей.

За 1965—1970 гг. выпуск сварных конструкций в нашей стране возрос в 2 раза и в 1970 г. достигал 50,0 млн. т. Из этого количества 73% конструкций изготовлено в промышленности и 27% в строительстве. В настоящее время 98% всех металлоконструкций изготавливается с применением сварки.

Выпуск сварных конструкций на одного рабочего-сварщика составил 93,1 т в год. Количество сварщиков в стране достигло 543 тыс. человек, в том числе в промышленности 387 тыс. и в строительстве 156 тыс. человек.

Уровень механизации сварочных работ в целом по стране достиг 57—58%. В 1975 г. уровень механизации сварки намечено довести до 60%, а выпуск сварных конструкций увеличить по сравнению с 1970 г. на 30—35%.

Достигнутые успехи в области автоматизации и механизации сварочных процессов позволили осуществить коренные изменения в технологии строительства и изготовлении таких важных объектов, как доменные печи и другие металлургические агрегаты, мосты, нефте- и газопроводы, суда, вагоны, химическое оборудование, мощные прессы, гидротурбины, тепловозы, электровозы, паровые котлы электростанций, опоры линий электропередач, шагающие экскаваторы, атомные реакторы, космические ракеты и корабли и множество других машин и конструкций из металла.

На многих заводах работают автоматические линии для механизированной сварки сосудов и резервуаров, корпусов судов, труб, автомобильных кузовов и колес, деталей электрооборудования и приборов, арматуры для железобетона и др. Быстро расширяется сварка специальных сталей и сплавов, в том числе таких, которые прежде считались трудносвариваемыми. В настоящее время насчитывается более 60 способов сварки. Применяя соответствующий способ сварки, можно сваривать металлы как очень большой (до 2500 мм), так и малой (5 мм и менее) толщины.

Быстрыми темпами внедряются новые прогрессивные способы сварки: в атмосфере защитных газов (аргоне, углекислом газе и др.), порошковой проволокой, трением, прессовая (холодная) сварка, сварка электронным лучом, сварка токами высокой частоты, диффузионная в вакууме, ультразвуковая, плазменная и микроплазменная сварка, наплавка и резка металлов и тугоплавких материалов и др.

Одной из главных тенденций развития сварки в настоящее время является расширение ее применения в самых различных усло-

виях, механизация и автоматизация сварочных процессов, специализация сварочного производства.

В Советском Союзе впервые в мире проведены успешные эксперименты по сварке в условиях космического пространства, что позволяет в дальнейшем разработать методы сварки орбитальных космических станций.

Показательное комплексно-механизированное сварочное производство создано в уникальном блоке цехов сварных машиностроительных конструкций на Уралмашзаводе. За создание этого производства большая группа работников удостоена в 1969 г. Государственной премии.

Значительно возросла подготовка специалистов по сварке, получают необходимое развитие научно-исследовательские и конструкторские работы в области сварочного производства.

В текущей пятилетке вводится в действие ряд крупных межотраслевых заводов сварных конструкций, в том числе очень крупных, с выпуском до 200 тыс. *t* конструкций в год. Производственные мощности предприятий для изготовления сварных строительных конструкций в 1971—1975 гг. возрастут до 2,5 млн. *t* в год, что позволит осуществить дальнейшую индустриализацию строительства и ускорить его темпы.

Глава I

ЗНАЧЕНИЕ И РАЗВИТИЕ СВАРКИ. ВИДЫ СВАРКИ

§ 1. СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА СВАРКИ

Сваркой называется процесс неразъемного соединения металлических изделий путем местного нагревания их до расплавленного или тестообразного (пластичного) состояния (без применения или с применением механического усилия). Существует также способ прессовой («холодной») сварки, при котором свариваемый металл не подвергается нагреву, а сварка происходит только в результате сжатия деталей механическим усилием.

Сварка является одним из способов обработки материалов сосредоточенными (концентрированными) потоками энергии.

Для получения прочного соединения свариваемых частиц металла необходимо, чтобы их поверхности, соприкасающиеся друг с другом, были свободны от пленок окислов и других загрязнений.

Применяемое при сварке давление, называемое *осадочным давлением*, способствует свариванию, так как вызывает пластическую деформацию (осадку) металла в месте соединения. При этом разрушается поверхностный слой металла, вследствие чего имевшиеся на нем окислы удаляются из зоны сварки; частицы чистого металла вступают в тесное соприкосновение друг с другом и свариваются.

Величина осадочного давления зависит от вида металла и его температуры в месте сваривания.

Для сваривания двух частиц металла в одно целое нужно сблизить их атомы настолько, чтобы между ними начали действовать силы взаимного притяжения. Это возможно при расстоянии между атомами около $4 \cdot 10^{-8}$ см (четыре стотысячные доли сантиметра). В металлах электроны, расположенные на внешних орбитах атомов, слабо связаны с ядрами последних. При



Рис. 1. Зависимость между давлением и температурой сваривания чистого технического железа

достаточном сближении свободные электроны образуют общее электронное облако, что обуславливает их прочную связь.

Сварка осуществима при следующих условиях:

- 1) применении очень больших удельных давлений сжатия деталей, без нагрева;
- 2) нагревании и одновременном сжатии деталей умеренным давлением;
- 3) нагревании металла в месте соединения до расплавления, без применения давления для сжатия.

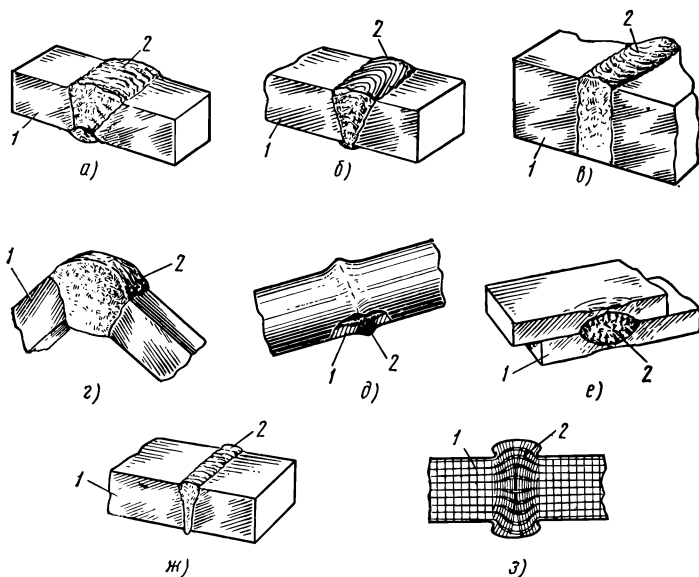


Рис. 2. Сварные соединения при некоторых видах сварки:

а — ручной дуговой, *б* — автоматической дуговой под флюсом, *в* — электрошлаковой, *г* — аргоно-дуговой без присадки, *д* — электроконтактной стыковой, *е* — электроконтактной точечной, *ж* — электронно-лучевой, *з* — прессовой (холодной) стыковой для алюминия (сеткой показана схема деформации металла); 1 — основной металл, 2 — сварной шов

На рис. 1 показан график, характеризующий условия, необходимые для сваривания чистого технического железа. Качественная сварка может осуществляться только при давлениях и температурах, расположенных выше кривой *АБ*. Точка *Б* соответствует температуре плавления железа. Вправо от этой точки железо сваривается в расплавленном состоянии без давления, влево — при нагревании до пластического состояния, но с применением соответствующего давления, которое тем выше, чем ниже температура нагрева. Точка *А* соответствует ограниченной свариваемости железа, так как лежит в области температур ниже 900°C и требует применения высокого удельного давления сжатия.

Без подогрева (в холодном состоянии) можно сваривать только очень пластичные металлы, например алюминий, медь, свинец, при условии применения высоких удельных давлений сжатия.

На рис. 2 показаны сварные соединения, получаемые при некоторых способах сварки.

§ 2. ПРЕИМУЩЕСТВА СВАРКИ

Сварка по сравнению с другими способами изготовления конструкций (клепкой, литьем, ковкой) имеет следующие преимущества:

1. Экономия металла вследствие полного использования рабочих сечений элементов в соединительных узлах сварных конструкций; придания конструкциям более целесообразной формы в соответствии с действующими нагрузками; резкого уменьшения веса соединительных элементов в сварных узлах; применения более тонкостенных конструкций, отсутствия расхода металла на литники и прибыли, уменьшения брака и припусков на механическую обработку при замене литья сваркой.

В сварных конструкциях вес металла сварных швов обычно составляет от 1 до 2%, в то время как в клепаных вес заклепок и козынок — не менее 4% от веса изделия. Вследствие этого, а также учитывая возможность применения в сварных изделиях более рациональных конструктивных решений, при которых лучше используется затрачиваемый металл, можно при сварке получить до 25% экономии металла по сравнению с клепкой.

При замене литых изделий из стали сварными из стального проката экономия металла достигает 25—30%. В случае замены литых деталей из чугуна сварными из стального проката экономия металла увеличивается и достигает 50—60%.

Использование сварки на строительстве зданий позволяет уменьшить вес стальных конструкций на 15%, облегчает изготовление и увеличивает жесткость всей конструкции. При сооружении доменных печей применение сварки вместо клепки позволяет экономить от 12 до 15% металла, в конструкциях стропильных ферм — 10—20%, в конструкциях подъемных кранов — 15—20%.

2. Сокращение сроков работ и уменьшение стоимости изготовления конструкций за счет снижения расхода металла и уменьшения трудоемкости работ.

3. Возможность изготовления изделий сложной формы путем сварки их из отдельных штампованных или литых элементов вместоковки или отливки изделия в целом. Такие конструкции называются соответственно штампо-сварными или сварно-литыми и широко применяются в автомобилестроении, самолетостроении, вагоностроении, энергомашиностроении и других областях.

4. Удешевление технологического оборудования. Сварочное оборудование сравнительно несложно, относительно дешево и весьма высокопроизводительно. Это сокращает капи-

тальные затраты на строительство металлообрабатывающих цехов, заводов и ускоряет их ввод в действие.

5. Облегчение комплексной механизации массового производства однотипных сварных изделий, возможность создания поточного производства со 100%-ной механизацией и автоматизацией производственного цикла, что резко увеличивает съём продукции с единицы производственной площади цеха.

6. Возможность широкого использования в сварных конструкциях прогрессивных современных видов материалов: высокопрочных сталей, гнутых облегченных профилей, многослойного листового проката, легких сплавов, сверхчистых металлов и др.

7. Облегчение изготовления микроминиатюрных узлов и деталей в производстве некоторых видов изделий — сверхминиатюрных ламп, полупроводниковых приборов, радиодеталей и пр.

8. Возможность широкого использования сварки, наплавки и резки при ремонте, где эти способы обработки металла позволяют быстро и с наименьшими затратами восстанавливать изношенное, вышедшее из строя оборудование и разрушенные сооружения.

Наплавка износостойкими сплавами и материалами повышает сроки службы деталей и узлов оборудования как нового, так и отремонтированного. В 1970 г. объем наплавочных работ (по весу наплавленного металла) составил более 32 тыс. т.

9. Герметичность и надежность сварных соединений.

10. Уменьшение производственного шума и улучшение условий труда в цехах.

Сваркой можно получать сварные соединения, обладающие прочностью выше, чем у основного металла.

§ 3. РАЗВИТИЕ СВАРКИ

Сварка металлов является одним из выдающихся русских изобретений и впервые была освоена в нашей стране, которая является родиной многих важных открытий в области науки и техники.

В 1802 г. русский академик Василий Владимирович Петров впервые изучил и описал явление электрической дуги, имеющей очень высокую температуру и возникающей при пропускании электрического тока через два угольных электрода или через один металлический и второй угольный электроды; он указал на возможность использования тепла электрической дуги для расплавления металлов.

Спустя 80 лет в России Николай Николаевич Бенардос и Николай Гаврилович Славянов изобрели и разработали промышленные способы электрической сварки металлов.

Н. Н. Бенардос в 1882 г. изобрел способ дуговой сварки с применением угольного электрода. В последующие годы им были

изобретены и другие способы сварки: дугой, горящей между двумя или несколькими электродами в атмосфере защитного газа; контактной точечной электросварки с помощью клещей. Н. Н. Бенардосом создан ряд конструкций сварочных автоматов, запатентовано в России и за границей большое количество различных изобретений в области сварочного оборудования и процессов сварки.

Инженер Н. Г. Славянов в 1888 г. разработал способ дуговой сварки плавящимся металлическим электродом и запатентовал его в различных странах. Он широко применял этот способ, исправляя с помощью обученной им бригады рабочих-сварщиков брак литья, восстанавливая детали паровых машин и другого крупного оборудования. Н. Г. Славянов создал первый сварочный генератор и автоматический регулятор длины сварочной дуги, разработал флюсы, повышающие качество наплавленного металла.

После победы Великой Октябрьской социалистической революции и окончания гражданской войны начинается широкое строительство промышленности в нашей стране, а вместе с ним и быстрое развитие сварки.

В начале 20-х годов во Владивостоке под руководством проф. В. П. Вологодина дуговой сваркой ремонтировали небольшие суда. С 1929 г. сварка уже широко применялась на строительных объектах Магнитогорского и Кузнецкого металлургических комбинатов, прокладке первых магистральных нефтепроводов и многих других объектах. В последующие годы сварку стали использовать при производстве вагонов, автомобилей, кранов, шахтных подъемников, прокатных станов, строительстве железобетонных мостов и пр.

Широкое применение получила сварка во время Великой Отечественной войны в производстве вооружения, боеприпасов, строительстве промышленных и оборонных объектов, а также в послевоенный период при восстановлении разрушенных войной предприятий.

Развитие сварочной науки и техники, а также внедрение в производство передовых методов сварки достигнуто благодаря трудам советских ученых, инженеров и рабочих-новаторов сварочного производства. Ими создано большое количество типов сварочного оборудования, марок электродов, разработаны новые прогрессивные сварочные процессы, в том числе высокоавтоматизированные и автоматизированные, освоена техника сварки многих металлов и сплавов.

Большой вклад в развитие сварки вносят работы Института электросварки им. Е. О. Патона (ИЭС им. Е. О. Патона). Видный советский ученый, академик Евгений Оскарович Патон в 1934 г. организовал в Киеве Институт электросварки Академии наук Украинской ССР. Под руководством Е. О. Патона коллектив института разработал новый прогрессивный метод автоматической дуговой сварки под слоем флюса, который начал широко применяться в нашем народном хозяйстве с 1940 г., а также многие другие современные способы сварки.

В области автоматизации сварки и создания теории сварочных процессов в последующие годы много сделано также Центральным научно-исследовательским институтом технологии машиностроения (ЦНИИТМАШ), разработавшим и внедрившим в 1952 г. полуавтоматическую дуговую сварку стали в атмосфере углекислого газа.

Много новых совершенных конструкций сварочного оборудования разработано рядом специализированных институтов: по электросварке — ВНИИЭСО, по газовой сварке и резке — ВНИИАвтомаш, а также заводами по выпуску сварочного оборудования. За последние годы выпуск сварочного оборудования значительно увеличен и расширена его номенклатура.

За разработку и внедрение новых способов сварки ряд ученых, инженеров и новаторов сварщиков удостоены Государственных и Ленинских премий.

Большим достижением отечественной сварочной науки является осуществленная впервые в мире космонавтами Г. С. Шониным и В. Н. Кубасовым сварка в космосе, в условиях глубокого вакуума и невесомости, с использованием аппаратуры и методов сварки, разработанных советскими учеными. В космосе испытаны следующие способы сварки нержавеющей стали и титанового сплава сжатой дугой (плазменно-дуговая), электронным лучом и плавящимся электродом.

§ 4. КЛАССИФИКАЦИЯ СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ

В зависимости от условий, при которых осуществляется сваривание частиц металла, все существующие сварочные процессы можно разделить на две основные *группы*, а именно:

1 — способы сварки *пластическим деформированием* с применением осадочного давления;

2 — способы сварки *плавлением*.

В первом случае соединение обеспечивается путем совместной пластической деформации (осадки) металла свариваемых частей в месте их соприкосновения, осуществляемой приложением внешнего усилия (давления). При сварке давлением металл, как правило, находится в твердом состоянии. В зависимости от процесса сварка давлением может осуществляться без предварительного подогрева или с незначительным нагревом, не изменяющим механические свойства металла (например, «холодная» сварка, сварка ультразвуком, сварка взрывом) или с предварительным подогревом (электрическая контактная, газопрессовая, кузнечная, термитная).

Во втором случае соединение деталей происходит при расплавлении металла свариваемых частей в месте их соприкосновения, с добавлением или без добавления присадочного металла. Расплавленный металл (основной и присадочный) самопроизвольно

сливается, образуя общую сварочную ванну, в которой атомы жидкого металла вступают в прочное соединение друг с другом и после затвердевания металла образуют сварной шов. Взаимному сцеплению атомов способствует их большая подвижность при высоких температурах сварочной ванны.

В современной классификации сварки различают вид, способ и метод сварки.

Вид сварки объединяет группу сварочных процессов, в которых используется один и тот же источник теплоты для нагрева и расплавления металла. Так, например, в группе сварки давлением различают следующие виды сварки: электрическую контактную (сопротивлением), газопрессовую, кузнечную и др. В группе сварки плавлением — газовую, электродуговую, шлаковую, электронно-лучевую, лазерную.

Способ сварки объединяет варианты данного вида сварки, отличающиеся друг от друга принципиальными изменениями условий ведения процессов. Так, например, при электрической сварке давлением применяют следующие способы сварки — стыковой, точечный, шовный. При электрической дуговой сварке плавлением используются также различные способы, а именно: по свойствам электродов — плавящимся (металлическим) или неплавящимся (угольным, вольфрамовым) электродом; по степени механизации — ручная, полуавтоматическая и автоматическая; по роду защиты дуги от окружающего воздуха — электродами с тонкими (стабилизирующими) покрытиями, электродами с толстыми (качественными) покрытиями, под флюсом, в защитных газах, с комбинированной защитой (покрытие и защитный газ), в контролируемой атмосфере и в вакууме; по виду дуги — свободно горящей и сжатой (плазменной), прямого и косвенного действия.

Метод сварки означает разновидность данного способа сварки, отличающуюся непринципиальными изменениями процесса, например, при дуговой сварке — числом электродов.

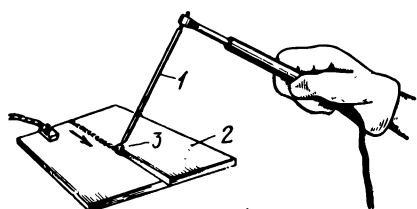
Существующие сварочные процессы иногда классифицируют также по видам используемой энергии. В этом случае различают следующие виды сварки: прессовую («холодную») сварку (только осадочным давлением), механическую (трением), химическую (кузнечная, газовая, термитная, взрывом) и электрическую (дуговая, электрошлаковая, контактная, плазменной дугой, электронным лучом).

К электрической условно можно отнести сварку ультразвуком и лазерную, при которых электрическая энергия через специальные устройства преобразуется в тепловую, используемую для нагрева металла при сварке.

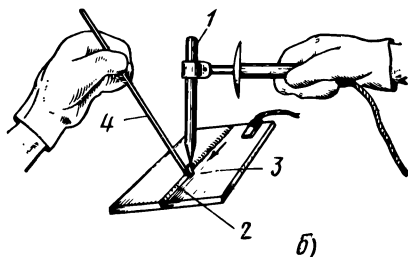
При плазменной сварке (сжатой дугой) используется не только тепло столба дуги, но и дополнительное тепло, выделяющееся при превращении (рекомендации) ионов газового столба дуги в атомы и молекулы в момент соприкосновения их со свариваемым металлом.

Виды и способы сварки плавлением

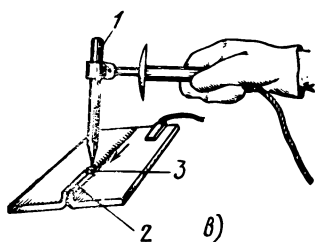
Ручная дуговая сварка. Один провод сварочной цепи присоединяется к электрододержателю, в котором зажат электрод 1, а второй — к свариваемому основному металлу 2. При сварке плавя-



а)



б)



в)

Рис. 3. Ручная дуговая сварка:

а — металлическим электродом, б — угольным электродом с присадочным пруток, в — угольным электродом по отбортовке кромок

щимся металлическим электродом (рис. 3, а) сварной шов образуется за счет расплавления электрода 1 и кромок основного металла 2 сварочной дугой 3.

В качестве электрода используют проволоку из того же металла или близкого по составу к свариваемому. Сверху на проволоку нанесен слой электродного покрытия, которое при расплавлении образует шлак, защищающий металл шва от действия кислорода и азота окружающего воздуха и удаляющего из расплавленного металла вредные примеси (кислород, серу и др.).

Дуговая сварка металлическим плавящимся электродом (способ Н. Г. Славянова) является наиболее распространенной по сравнению с другими способами сварки металла. Для дуговой сварки во всем мире выпускается свыше 1,5 млн. т металлических электродов в год. Она может использоваться для сварки и наплавки всех марок углеродистых и легированных сталей толщиной от 1 до 60 мм*, чугуна и цветных металлов, наплавки твердых сплавов

на постоянном и переменном токе (см. гл. XVI—XX).

При сварке неплавящимся угольным электродом для образования металла шва сварку ведут электродом 1 и дугой 3 по отбортовке кромок 2 (рис. 3, в) или вводят в дугу 3 присадочный пруток 4 (рис. 3, б).

Дуговая сварка угольным электродом (способ Н. Н. Бенардоса) применяется значительно реже, так как требует использования

* Для больших толщин дуговая сварка малопродуктивна и заменяется электрошлаковой.

только постоянного тока; при сварке стали наплавленный металл получается более низкого качества, чем при сварке металлическим покрытым электродом. Этим способом можно сваривать сталь толщиной 1—2 мм по отбортовке без присадочного металла, чугуна и цветные металлы, наплавлять твердые сплавы, применять его при дуговой резке (см. гл. XV, § 1).

Газовая сварка. Газовая сварка (рис. 4) состоит в нагревании в месте соединения кромок основного металла 1 пламенем 2 сварочной горелки 3. Для образования металла шва в сварочную ванну добавляется расплавленный металл присадочного прутка 4.

Источником тепла является сварочное пламя, получаемое при сжигании ацетилена в смеси с кислородом, имеющее температуру 3000—3150° С. Для

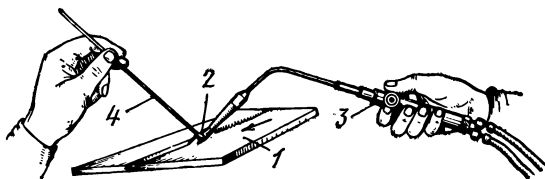


Рис. 4. Ручная газовая сварка

сварки стали небольшой толщины, легкоплавких металлов и сплавов (алюминия, магния, свинца и др.), а также для пайки и подогрева при резке применяют и другие горючие-заменители ацетилена: пропан, природный, нефтяной, пиролизный газы, водород, керосин, коксовый газ и др. При сгорании этих горючих в кислороде температура пламени достигает 2000—2700° С (см. гл. IX, § 1).

Несмотря на относительно низкую производительность, ручная газовая сварка все еще находит широкое применение в промышленности и строительстве, о чем более подробно сказано в гл. XI, § 1.

Дуговая сварка под флюсом.

Электрическая дуга переменного или постоянного тока горит под слоем флюса 2 (рис. 5, а) между голый металлической проволокой 8 (плавящимся электродом) и кромками свариваемого металла. Тепло дуги расплавляет свариваемый металл, проволоку и

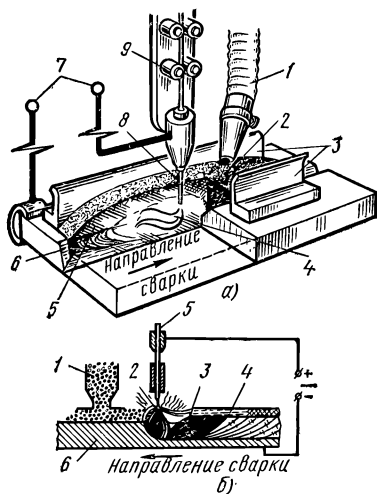


Рис. 5. Автоматическая сварка:
а — под флюсом, б — по флюсу

часть флюса, подаваемого по трубке 1. При этом способе сварки уменьшаются потери тепла в окружающую среду, расплавленный металл сварочной ванны 4 хорошо защищен от вредного влияния кислорода и азота окружающего воздуха, а расплавленный флюс,

реагируя с жидким металлом сварочной ванны, раскисляет его, удаляя окислы в слой шлака 5. Кроме того, через флюс происходит легирование металла шва 6 нужными элементами. Проволока в дугу подается при помощи роликов механизма подачи 9.

Для удержания флюса вдоль шва иногда ставят флюсоудерживающие уголки 3. Ток от источника питания подводится через клеммы 7.

Если электрододержатель и проволока перемещаются вдоль шва сварщиком вручную, то такая сварка называется *полуавтоматической*. Если же электросварочная проволока вместе с подающим механизмом перемещается вдоль шва специальным устройством (сварочной головкой, сварочным трактором), то такая сварка называется *автоматической*. При автоматической сварке может также перемещаться и само изделие относительно неподвижно стоящей сварочной головки; такой способ используется при сварке и наплавке кольцевых швов цилиндрических изделий.

При полуавтоматической и автоматической сварке сейчас находит широкое применение порошковая проволока, состоящая из стальной трубки, заполненной внутри порошкообразным флюсом (см. гл. XXII).

Этот вид сварки получил название способ сварки порошковой проволокой; он обеспечивает высокую производительность и качество металла шва, удобен в производстве, не требует применения специальных флюсов и легированных проволок для сварки и наплавки. Порошковая проволока особенно широко используется при восстановительной и износостойкой наплавке деталей.

Автоматическая сварка под флюсом позволяет применять большие сварочные токи (до 2500 а) и дает высокую производительность при хорошем качестве металла шва. Она широко используется в промышленности, особенно в крупносерийном производстве ответственных изделий при сварке протяженных швов углеродистых и легированных сталей на переменном и постоянном токе, наплавке, сварке меди.

Для повышения производительности и улучшения качества металла шва применяют автоматическую многоэлектродную и многодуговую сварку двумя и более электродами и дугами.

При многоэлектродной сварке все электроды присоединены к одному полюсу источника питания и сварка производится в общую ванну. При многодуговой сварке каждый из электродов присоединен к отдельному источнику питания и электрически изолирован от других электродов, а сварка производится или в общую ванну или в отдельные ванны, каждая из которых образуется соответствующим электродом (сварка раздвинутыми дугами).

Автоматическая дуговая сварка по флюсу (рис. 5, б) применяется для сварки алюминия и его сплавов. При автоматической дуговой сварке флюс с помощью специального дозирующего устройства 1 непрерывно насыпается во время сварки впереди дуги 2 тонким слоем.

Слой жидкого флюса 4 надежно защищает сварочную ванну 3 и удаляет пленку окислов, не закрывая дугу. Сварка ведется на постоянном токе, причем флюс подключается к электроду 5, которым служит алюминиевая проволока, а минус — к свариваемому металлу 6, т. е. используется так называемая обратная полярность.

Флюсы для сварки алюминия имеют высокую электропроводность и в расплавленном состоянии способны шунтировать дугу, нарушая устойчивость ее горения; при тонком же слое флюса этого явления не происходит. Этот способ применяется при изготовлении изделий из алюминиевых сплавов толщиной от 8 до 25 мм.

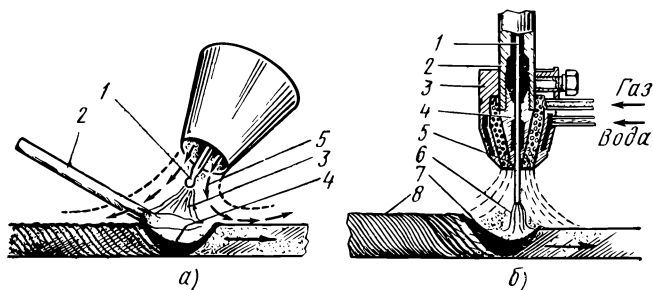


Рис. 6. Сварка в защитных газах:
а — неплавящимся электродом, б — плавящимся электродом

Сварка в защитных газах (аргоне, гелии, углекислом газе). К сварочной дуге 3 (рис. 6, а) защитный газ 5 подводится через кольцевой мундштук, внутри которого расположен неплавящийся вольфрамовый электрод 1. Дуга расплавляет присадочный пруток 2 и кромки основного металла, образуя сварочную ванну 4. При сварке плавящимся электродом (рис. 6, б) в качестве прутка используется проволока 1 из металла соответствующего состава. Дуга 6 расплавляет конец проволоки и кромки основного металла, образуя сварочную ванну 7 шва 8. Электродная проволока подается специальным механизмом через мундштук 2 головки 3 и токоподводящий наконечник 4. Сопло 5, через которое в дугу поступает защитный газ, иногда охлаждают водой. Наличие защитного газа вокруг дуги и сварочной ванны обеспечивает высокие механические свойства наплавленного металла. Поэтому в защитных газах сейчас сваривают многие конструкции, в том числе наиболее ответственные.

Аргоно-дуговая и гелиево-дуговая ручная, полуавтоматическая и автоматическая сварка применяется при соединении тонкостенных изделий из труб и листов углеродистых, низколегированных и нержавеющей сталей, магниевых и алюминиевых сплавов, титана, циркония, а также ряда других сплавов (см. гл. XXIII).

В качестве защитных газов используются также смеси аргона с кислородом и водородом.

При полуавтоматической и автоматической сварке углеродистых и легированных сталей плавящимся электродом в качестве защитного газа используется более дешевый углекислый газ. В этом случае для связывания свободного кислорода и восстановления окислов железа в сварочную проволоку вводят до 0,8—2,1% марганца и до 0,6—1,2% кремния. Способ сварки и наплавки сталей в углекислом газе обеспечивает высокую производительность, хорошее качество и является одним из распространенных методов полуавтоматической и автоматической дуговой сварки стали (см. гл. XXII).

Вибродуговая наплавка. Используется при ремонте деталей. Электродная проволока диаметром 1,5—2 мм подается к изделию и отводится от него на расстояние 1,2—2,5 мм с помощью вибрационного устройства (механического или электромагнитного), сообщаящего ей до 100 осевых колебаний в секунду. К проволоке и изделию подводится постоянный или переменный сварочный ток от источника питания. При касании электрода к изделию происходит короткое замыкание и между ними образуется перемычка из жидкого металла. При последующем удалении конца проволоки от поверхности детали перемычка рвется; возникает дуга, расплавляющая основной и электродный металл, и происходит перенос наплавляемого металла на изделие. При дальнейшем удалении проволоки дуга рвется и возникает вновь при следующем цикле. Продолжительность всего цикла равна 0,01 сек. Основное количество тепла выделяется в период дугового разряда. Наплавка производится при напряжении 18—25 в и токе 100—250 а.

Так как длительность горения дуги не превышает 20% от продолжительности всего цикла, то обеспечивается возможность получения очень малой глубины провара основного металла, большой скорости остывания сварочной ванны и нанесения тонкого (0,5—3 мм) слоя наплавки. Для повышения прочности наплавленного металла и уменьшения деформаций детали при вибродуговой наплавке применяют охлаждающую жидкость (4%-ный раствор кальцинированной соды или 25%-ный раствор глицерина в воде), которая также защищает сварочную ванну от кислорода и азота окружающего воздуха.

Импульсно-дуговая сварка. Сварка производится электродной проволокой диаметром 1—3 мм, током от 30 до 300 а. Ток в дугу подается периодическими импульсами частотой 50 и 100 гц, для чего используются специальные устройства — генераторы импульсов тока, включаемые совместно с основным источником питания дуги постоянным током. Данный способ особенно пригоден для сварки тонкого металла, в том числе алюминия, титана, нержавеющей сталей и других, в защитной среде аргона.

Применяется также способ сварки пульсирующей дугой, при котором плавно изменяется не только ток, но и напряжение дуги. Этот способ не требует специальных генераторов импульсов, умень-

шает выплески металла из ванны, одновременно повышая производительность и улучшая формирование шва.

Сварка с осадкой электрода. Применяется для приварки шпилек, штифтов и других круглых деталей диаметром от 2 до 20 мм к поверхности листов. Дуга возбуждается между основным металлом и привариваемой шпилькой, закрепленной в специальном держателе (пистолете) и являющейся вторым электродом. Дуга питается от источника постоянного или переменного тока. После образования на поверхности листа небольшой ванночки жидкого металла электрод внешним усилием осаживается вниз и ток выключается, а шпилька прочно приваривается к листу. Процесс приварки занимает 0,1—2 сек в зависимости от диаметра шпильки. Для защиты металла сварочной ванны применяют флюс или прессованные кольца из флюса, фарфора и других материалов, используемых при изготовлении электродных покрытий, а также защитные газы (аргон, углекислый газ).

Сварка электрозаклепками. Одной из разновидностей дуговой сварки является сварка электрозаклепками, производимая неподвижным электродом, плавящимся под флюсом или в защитном газе.

Электрошлаковая сварка. Электрошлаковая сварка (рис. 7) представляет собой современный способ соединения металлов значительной толщины. Свариваемые листы 1 располагают вертикально со значительным зазором между кромками. В зону сварки автоматически подается сварочная проволока 2 (или стальные стержни) и флюс 3, который, расплавляясь, образует слой жидкого флюса 4. Дуга 5 между проволокой и металлом горит только в начале процесса. В дальнейшем при достаточном большом слое жидкого флюса 4 дуга гаснет, и ток проходит только через жидкий шлак. Выделяющееся при этом тепло расплавляет кромки свариваемого металла и присадочные стержни, образуя сварочную ванну 6. Сварочная головка перемещается снизу вверх вместе с ползунами-кристаллизаторами 7, изготовленными из меди и охлаждаемыми водой, циркулирующей в каналах. Ползуны формируют металл шва 8. Сварочная зона располагается при этом в верхней части формирующего устройства.

Электрошлаковым способом сваривают толстостенные барабаны котлов высокого давления, валы гидравлических турбин, станы прокатных станов и мощных процессов, а также другие крупные детали из металла толщиной до 2500 мм. Прежде такие детали изготовляли из отливок или поковок, что требовало значительных затрат труда.

Сварка сжатой дугой (плазменная). Сжатая дуга образуется в узком канале охлаждаемого сопла при продувании через него струи плазмообразующего газа (аргона, водорода, азота и их смесей, воздуха, аммиака, водовоздушной смеси, воды). При этом наруж-

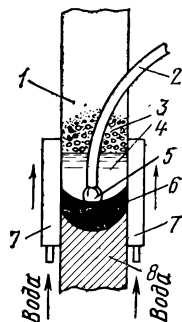


Рис. 7. Электрошлаковая сварка

ные слои дуги охлаждаются, а плотность энергии и температура столба дуги возрастает до $16\,000^{\circ}\text{C}$ в дуге косвенного действия и до $33\,000^{\circ}\text{C}$ в дуге прямого действия. Образуется плазменная струя, представляющая собой поток сильно ионизированного газа, состоящего из электронов, ионов, а также электрически нейтральных атомов и молекул.

Сжатой дугой сваривают различные металлы (в том числе тугоплавкие и легкоокисляемые), неметаллы и их сочетания, осуществляют наплавку проволокой и порошками. Особенно широкое применение сжатая дуга получила для резки алюминия, алюминий-магниевого сплава, меди и ее сплавов, нержавеющей стали, легированных и углеродистых сталей, резки многослойных нержавеющей сталей, жаропрочных и тугоплавких материалов.

В последнее время широкое применение получила микроплазменная сварка, которая в ряде случаев вытеснила сварку электронным лучом металлов толщиной менее $1\text{--}1,5\text{ мм}$ (подробнее см. гл. XV).

Электронно-лучевая сварка. При этом способе плавление основного металла осуществляется электронами, движущимися в вакууме со скоростью до $165\,000\text{ км/сек}$. При ударе электронов о поверхность металла энергия их движения (кинетическая энергия) превращается в теплоту, которая плавит металл. Сварка производится в камере, в которой созданы вакуум путем откачки воздуха до остаточного давления $1\cdot 10^{-4}\text{--}1\cdot 10^{-6}\text{ мм рт. ст.}$ Вакуум необходим для того, чтобы энергия электронов не расходовалась на ионизацию газа в камере и для получения металла шва без газовых включений.

Схема электронно-лучевой сварки показана на рис. 8. Свариваемая деталь 6 через загрузочный люк помещается в вакуумную камеру 10, имеющую стеклянное окно 9 для наблюдения за процессом сварки и патрубком 8, через который из камеры вакуум-насосом откачивается воздух. Подвижный стол 7 служит для перемещения детали 6 относительно сварочного электронного луча. Над камерой расположено устройство 12, называемое *электронной пушкой*, создающей электронный луч. Электроны испускаются катодом 1 электронной пушки, нагреваемым через вольфрамовую спираль током накала $30\text{--}100\text{ ма}$, поступающим от низковольтного трансформатора 13.

В установках малой мощности катодом является вольфрамовая или танталовая спираль, а при большей мощности — применяют металлокерамические катоды, изготовленные из гексаборида лантана (LaB_6), которые способны излучать много электронов. Катод окружен фокусирующим электродом 2, создающим электронное облако. На расстоянии $3\text{--}10\text{ мм}$ от катода установлен анод 3, включенный в цепь выпрямленного тока напряжения от 10 до 60 кв , поступающего от источника питания 14. Это напряжение ускоряет электроны и увеличивает их количество. Электромагнитная линза 4 служит для фокусировки луча 5, прошедшего через диафрагму 11. В электронной пушке предусмотрены также электромагнитные ка-

тушки для регулировки настройки (юстировки) и отклонения электронного луча (на схеме не показанные).

Для сварки крупных деталей строят вакуумные камеры диаметром до 1,2 м и длиной до 8,5 м. Современные сварочные установки позволяют сваривать металл от 0,013 до 70 мм толщиной.

Электронно-лучевую сварку применяют при сварке жаропрочных и высокопрочных сталей и сплавов на основе титана и алюминия, сварки молибдена, тантала, ниобия, вольфрама, циркония, никеля, бериллия, меди, алюминия и др.

Для точной обработки и сварки миниатюрных деталей (например, в микроэлектронике и других областях) используются высоковольтные электронные пушки с ускоряющим напряжением до 150 кВ, токе пучка от 0,3 до 20 мА, дающие на изделии очень тонкий пучок диаметром от 0,01 до 0,1 мм. При этом обеспечивается высокая удельная мощность в пятне на изделии, достигающая 2000 кВт/мм². Работа на высоковольтных установках требует особой защиты персонала от радиоизлучения.

Электронно-лучевая сварка используется в авиа- и ракетостроении, ядерной энергетике, радиоэлектронике, точном машиностроении и приборостроении. Этот способ перспективен для соединения металлоконструкций в условиях космического пространства: ремонтной сварке, постройке орбитальных станций, устранении их повреждений и других подобных работах. При этом используется естественный вакуум и питание аппаратуры от солнечной энергии.

Лазерная сварка. Схема лазерной сварки показана на рис. 9. В установку входит стержень 3 из активного материала (например, искусственного рубина*) и импульсная ксеноновая** лампа накачки 1, которые размещены в зеркальной полости осветителя 4. При разряде высоковольтной батареи конденсаторов лампа дает

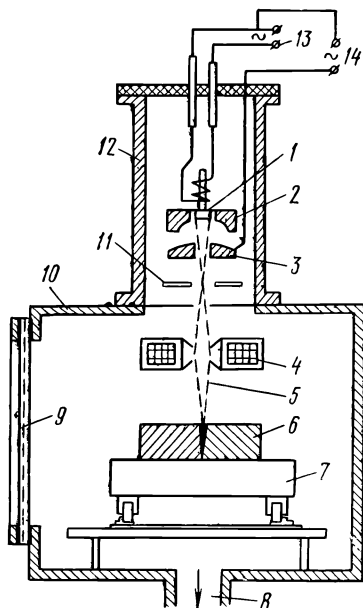


Рис. 8. Схема электронно-лучевой сварки

* Искусственный рубин представляет собой корунд высокой чистоты (Al_2O_3) с примесью хромпика (Cr_2O_3) в количестве, обеспечивающем содержание в рубине хрома 0,05%. Бледно-розовый цилиндрический кристалл $\varnothing 6$ —10 мм, длиной 100 мм.

** Ксенон — инертный газ (элемент Xe) плотность 3,745 кг/м³. Добывается из атмосферного воздуха, применяется в электровакуумной технике и газосветных лампах.

импульсные вспышки света, которые возбуждают присутствующие в рубине атомы хрома. При определенном уровне энергии возбуждения этих атомов испускаемые ими лучи, отражаясь от зеркал 2, частично выходят через полупрозрачное нижнее зеркало наружу. Эти лучи образуют тонкий пучок интенсивного красного цвета, несущий поток энергии, который собирается линзой 5 и фокусируется на свариваемой детали 7. Наблюдение за процессом сварки ведется через микроскоп 6. Длительность импульса излучения составляет около 10 тысячных долей секунды (10 мсек). Плотность потока

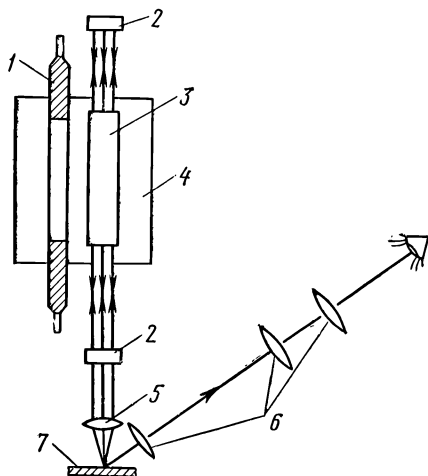


Рис. 9. Схема лазерной сварки

тепловой энергии, сфокусированного на детали, очень высока и составляет до $1 \cdot 10^{10}$ вт/см². Размер пятна в месте нагрева 80—500 мк (микрон). Лазерным лучом можно сваривать в атмосфере, в защитных газах, в вакууме (в том числе в запаянных стеклянных сосудах, из которых выкачан воздух, т. е. вести сварку через стеклянную стенку). Толщина свариваемых металлов достигает 0,5 мм. Применяют соединения встык, внахлестку, втавр, угловые, приваривают тонкие детали к толстым и т. п. Этот способ применяется в микроэлектронике для сварки проволок и плоских выводов толщиной 0,05—0,5 мм.

Им сваривают никель, медь, золото, ковар (железоникелькобальтовый сплав), нержавеющую сталь, тантал, медь с танталом и др. Лазерным световым лучом, например, можно приваривать никелевую фольгу толщиной 50 мк к напыленному на стекло слою из алюминия, хрома, меди или золота.

Для лазерной сварки выпускаются отечественные установки СУ-1, К-3М, УА-2, УЛ-20 мощностью от 1 до 5 кВт.

В новейших конструкциях лазеров непрерывного действия вместо рубина используются иттриевоалюминиевый гранат с примесью неодимия, дающий длину волны светового излучения 1,06 мк, при максимальной мощности 183 вт.

В газовых лазерах в качестве активной среды применяют газовые смеси: гелий-неоновую, неон-кислородную, аргоно-кислородную, а также инертные газы, азот, бром, окись углерода, углекислый газ, пары цезия и др.

Виды и способы сварки с применением давления

Газопрессовая сварка. Свариваемые детали 1 и 2 (рис. 10) в месте их соприкосновения нагревают многопламенной горелкой 3 до пластического состояния или оплавления, а затем сдавливают

внешним усилием. Этот способ применяют при сварке стальных стержней, полос, рельсов, труб и других деталей сечением до $12\,000\text{ мм}^2$. Он обеспечивает большую производительность и высокое качество сварки.

Термитная сварка. Термитом называется смесь, состоящая из порошкообразного алюминия (20—25%) и железной окалины (75—80%). Эта смесь воспламеняется при $1300\text{—}1360^\circ\text{С}$, развивая во время горения температуру $2600\text{—}2700^\circ\text{С}$. В зависимости от содержания кислорода в окалине теплота реакции сгорания термита составляет от 575 до 850 ккал/кг . Для сварки применяют термит с тепловой реакцией не ниже 720 ккал/кг .

В результате реакции окисления алюминия кислородом окалины образуется жидкая сталь и шлаки, в основном состоящие из окиси алюминия. Жидким термитным металлом заливают свариваемый стык, а шлаки удаляют.

Для увеличения выхода жидкого металла и снижения расхода термита в него вводят до 50% стальных обесечек от гвоздей или стружки, что удешевляет сварку. Для повышения механических свойств термитного металла в термит добавляют до 4% ферросплавов (ферромарганца и ферросилиция) и до 0,3% графита.

Термитная сварка применяется при сварке стыков рельсов трамвайных и железнодорожных путей, а также стержней и валов сечением до 2000 см^2 . Схема термитной сварки показана на рис. 11. Свариваемые концы рельсов (рис. 11, а) помещают в разъемную огнеупорную форму 4, подогревают бензино-кислородной или пропано-кислородной горелкой до $900\text{—}950^\circ\text{С}$ и заливают жидким термитным металлом из тигля 1, в который засыпана термитная смесь 2. После воспламенения в тигле термита реакция его сгорания продолжается всего 11—15 сек. Зажигание производится специальной смесью из порошка окиси бария или стержнями («термитными спичками») из магниевого термита. Между рельсами 3 вставляется стальная пластинка, которая вместе с концами рельса разогревается и приваривается к ним под действием усилия сжатия, создаваемого прессом. Такой способ сварки называется *комбинированным*; он требует достаточно сложной подготовки. В настоящее время более широко используется *способ промежуточного литья* (рис. 11, б). В этом случае рельсы собирают с зазором 12—18 мм и заливают жидким термитным металлом без последующего сжатия*. Так как прочность литого термитного металла меньше, чем свариваемого прокатного, то для получения сварного соеди-

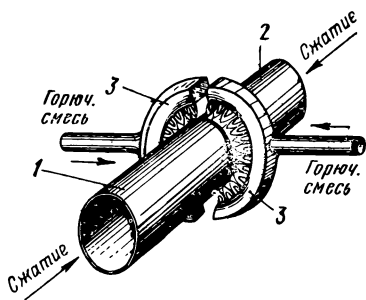


Рис. 10. Газопрессовая сварка

* Этот способ термитной сварки относится к сварке плавлением.

нения, равнопрочного свариваемому стержню, вокруг стыка образуют усиление (облив).

На рис. 11, в показано использование термита для заварки поверхностных дефектов деталей. Вокруг дефекта на детали 3 делается форма 4 из огнеупорной глины. Дефект заливают расплавленным термитом 2 из тигля 1. Для сварки проводов применяют патроны из магниевго термита.

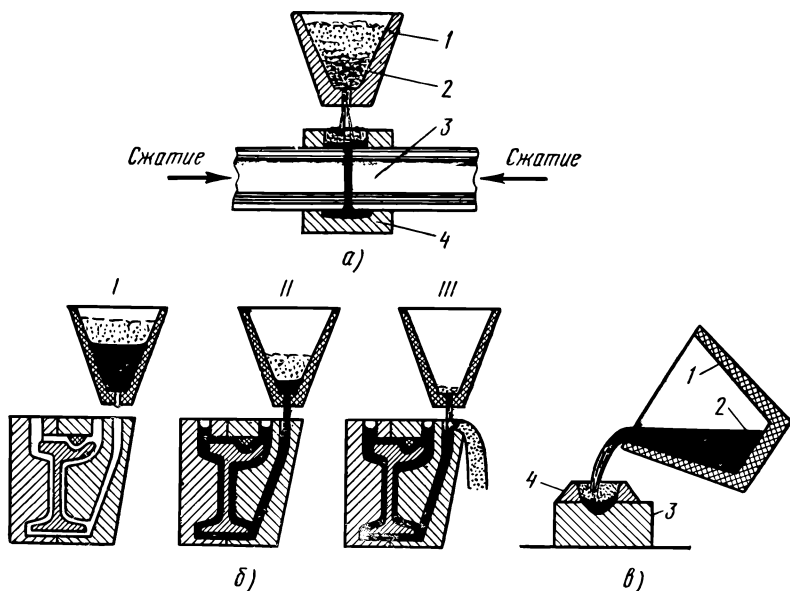


Рис. 11. Термитная сварка:

а — рельсов комбинированным способом, *б* — рельсов способом промежуточного литья, *в* — заварка дефекта: *I* — до заливки, *II* — заливка, *III* — после заливки

Электроконтактная сварка. При электроконтактной (часто называемой просто *контактной*) сварке детали нагреваются протекающим в них электрическим током в месте соприкосновения (контакта) до температуры, близкой к плавлению или до расплавления, и затем, сдавленные внешним усилием, свариваются. Металл в месте сварки получает пластическую деформацию.

Электроконтактная сварка является самостоятельной обширной областью сварочной техники и включает многочисленные способы, отличающиеся формой сварного соединения, технологическими особенностями, методами подвода тока и питания электроэнергией. Наиболее распространена сварка переменным током промышленной частоты (50 гц), также применяется ток повышенной частоты (до 300 гц) и радиочастоты (до 450 000 гц).

Большие работы проведены в СССР по разработке и промышленному внедрению новых способов электроконтактной сварки — выпрямленным током и энергией, запасенной в конденсаторах.

Электроконтактная сварка дает высокую производительность, позволяет проще механизировать и автоматизировать процесс, сократить расход материалов и снизить себестоимость. Эти преимущества обеспечили контактной сварке широкое применение в массовом и крупносерийном производстве.

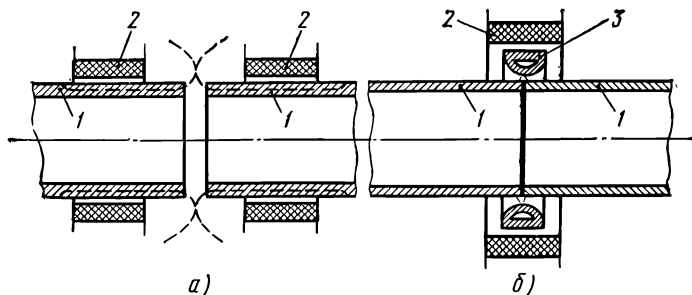


Рис. 12. Стыко-дуговая сварка вращающейся дугой:
 а — дугой, горящей между кромками, б — дугой, горящей между кольцевым электродом и кромками

Среди механизированных способов сварки электроконтактная сварка занимает первое место; объем ее применения в 1970 г. (по приведенной трудоемкости) составлял 56% объема работ, выполненных механизированной сваркой. Она используется при сварке арматуры железобетонных конструкций, в автомобилестроении, электротехнической промышленности, приборостроении, тракторном и сельскохозяйственном машиностроении, при производстве котлов, труб, в станкостроении, инструментальной промышленности.

Наибольшее применение нашли три основных способа электроконтактной сварки: стыковая, точечная и шовная (роликовая). В данном учебнике вопросы оборудования и технологии контактной электросварки не рассматриваются.

Стыко-дуговая сварка вращающейся дугой (рис. 12). Этим способом, разработанным Всесоюзным научно-исследовательским институтом электросварочного оборудования (ВНИИЭСО), сваривают трубы и другие изделия. Дуга возбуждается между кромками стыка труб 1 (рис. 12, а), на концы которых надеты катушки электромагнитов 2. За счет взаимодействия между током дуги, возникающей между свариваемыми кромками, и магнитным полем, создаваемым включенными навстречу друг другу катушками электромагнитов, столб дуги вращается по окружности свариваемых труб, равномерно нагревая их кромки. После нагрева кромок до требуемой температуры они сдавливаются осадочным давлением и сва-

риваются. При сварке по схеме рис. 12, б дуга возбуждается между внутренней поверхностью охлаждаемого водой медного кольца 3 и кромками свариваемых труб 1. Магнитное поле, вращающее дугу, создается катушкой электромагнита 2. Способ используется при сварке неповоротных стыков трубопроводов.

Сварка трением (рис. 13, а). Впервые разработана в нашей стране и быстро завоевала признание во всем мире. Сварка осуществляется при нагревании теплом, выделяющимся при взаимном трении торцов свариваемых стержней, с последующим сжатием их осадочным давлением. При сварке торцы нагреваются трением до 1200°C .

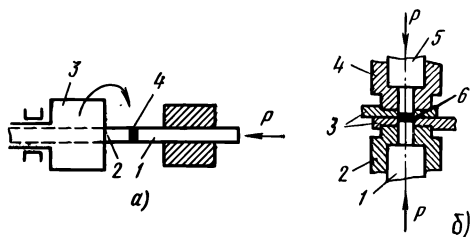


Рис. 13. Сварка трением и прессовая (холодная):

а — трением; 1 — не вращающийся стержень, 2 — вращающийся стержень, 3 — патрон сварочного станка, 4 — место разогрева и сварки; б — прессовая (холодная): 1 и 5 — пуансоны для сжатия в момент сваривания, 2 и 4 — пуансоны для предварительного сжатия, 3 — свариваемые детали, 6 — место образования сварной точки

Прессовая («холодная») сварка. Прессовая сварка давлением (рис. 13, б) осуществляется за счет сближения молекул металла в твердом состоянии при глубокой пластической деформации его в месте сварки. Деформация разрушает хрупкие пленки окислов, препятствующих свариванию*. Этим способом сваривают детали из достаточно пластичных металлов: алюминия, меди, свинца, цинка, титана, никеля и др., а также разнородные металлы, например алюминий с медью, свинцом, медь с никелем, латунью, нержавеющей сталью и др.

Применяются способы точечной, стыковой и роликовой холодной сварки. Особенно широкое применение прессовая сварка получила для соединения проводов и шин в электротехнике. Стыковой прессовой сваркой сваривают алюминиевые шины сечением до 700 мм^2 , медные до 250 мм^2 , медные с алюминиевыми до 300 мм^2 . Роликовая прессовая сварка используется при изготовлении посуды из алюминия толщиной 1,5–2 мм.

Сварка ультразвуком. Сварка ультразвуком осуществляется вследствие совместного действия на свариваемые поверхности

* Пластическая деформация не удаляет жировых загрязнений, от которых детали перед сваркой должны очищаться с помощью соответствующих растворителей (бензина, дихлорэтана, трихлорэтилена и др.).

ультразвуковых механических колебаний высокой частоты (свыше 20 кГц) и небольших сжимающих усилий.

Ультразвуковые колебания образуются в специальных высокочастотных генераторах мощностью 3—10 кВт и магнитострикционных * преобразователях (вибраторах). Колебания и давление передаются свариваемым деталям через специальное устройство (рис. 14). Колебания вызывают местные деформации материала, интенсивное вытеснение из зоны сварки окисных пленок и других загрязнений, нагревание и появление точек схватывания в результате возникновения сил связи между чистыми поверхностями свариваемого материала.

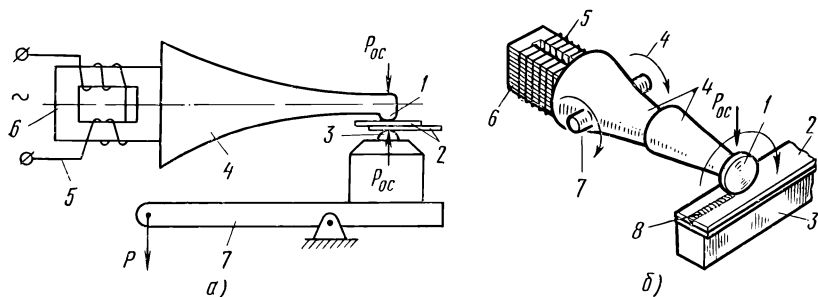


Рис. 14. Сварка ультразвуком:

а — точечная, б — шовная; 1 — верхний электрод, 2 — свариваемый материал, 3 — нижний электрод, 4 — волновод, 5 — обмотка тока высокой частоты, 6 — вибратор (магнитострикционный преобразователь), 7 — механизм передачи усилия сжатия, 8 — сварной шов; $P_{ос}$ — осадочное давление, P — усилие сжатия

Сваривание происходит при значительно более низкой температуре, чем, например, при контактном электронагреве. Ультразвуком можно сваривать поверхности, покрытые окисными пленками значительной толщины.

Этот способ нашел применение в приборостроении, радиоэлектронике для металлов малых толщин (до 1,5 мм), например, при сварке пар металлов: хромель-алюмель (350°С); медь-константан (450°С); алюминия (200°С); при сварке изделий из пленок термопластиков толщиной 0,05—0,5 мм, а также для приварки тонких обшивок к несущему каркасу изделий.

Диффузионная сварка в вакууме. Этот способ разработан проф. Н. Ф. Козаковым в 1953—1956 гг. Сварка происходит благодаря взаимной диффузии ** частиц свариваемых материалов при соприкосновении их поверхностей.

Установка для сварки (рис. 15) состоит из стальной камеры 6, установленной на подставку 7, и уплотненной вакуумной резиной 9.

* Магнитострикция — изменение размеров тела при намагничивании.

** Диффузия — проникновение молекул одного вещества (газа, жидкости, твердого тела) в другое.

Камера перемещается по направляющим 2 и прижимается к подставке 7 винтом 1. Вакуум-насосом 11 в камере создается вакуум с остаточным давлением всего 10^{-3} — 10^{-5} мм рт. ст. Таким образом, в камере отсутствует кислород, могущий окислять поверхность свариваемых деталей. Подлежащие сварке детали помещают между подставками 8 и жаропрочными пуансонами 4, которые сжимают детали давлением, создаваемым в гидравлических цилиндрах 5 масляным насосом 10. Нагревание деталей в процессе сварки производится индуктором 3, питаемым током высокой частоты от генератора 12.

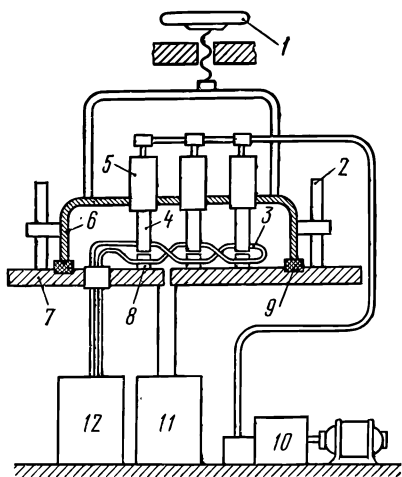


Рис. 15. Схема установки для диффузионной сварки в вакууме

Удельное давление при сварке составляет от 0,3 до 10 кг/мм^2 , в зависимости от температуры сварки и рода свариваемых материалов. Поверхности деталей перед сваркой должны быть обработаны с высокой степенью чистоты и

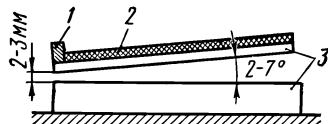


Рис. 16. Схема сварки взрывом

очищены от окислов, загрязнений и влаги. Температура нагрева деталей задается электронным терморегулятором, а время сварки — электронным реле времени.

Диффузионная сварка применяется в приборостроении, производстве специального инструмента, электронных приборов и др. Этим способом не только сваривают мелкие детали, но и изготовляют крупногабаритные изделия, например рабочие колеса турбокомпрессоров из хромоникелевой стали диаметром 460 мм.

Диффузионным способом можно сваривать однородные и разнородные металлы, сплавы и металлокерамические материалы, в том числе — тугоплавкие, которые невозможно соединять другими способами.

Сварка взрывом (рис. 16). Свариваемые листы 3 располагают на расстоянии 2—3 мм и под углом 2—7° друг к другу. При срабатывании детонатора 1 взрывается заряд вещества 2 и верхний лист, изгибаясь под действием взрыва, ударно ложится на нижний лист, привариваясь к нему. Между листами в момент взрыва возникает удельное давление в несколько сотен тысяч атмосфер. Это давление вызывает направленную струю воздуха, производящую идеаль-

ную очистку поверхностей листов и придающую им некоторую шероховатость, благодаря чему сварка получается очень прочной. Толщина сварочной прослойки равна 0,3—0,4 мм. При использовании взрывчатых веществ большой силы между верхним листом и слоем взрывчатки прокладывают резину для смягчения действия ударной взрывной волны. Этим способом можно приваривать к стальным листам тонкие слои из нержавеющей стали, меди, бронзы, титана, серебра и других металлов. Сила взрыва используется в металлообработке также дляковки, штамповки и резки металла.

Глава II

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТИПОВОМ ОБОРУДОВАНИИ ДЛЯ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ И ЕГО ОБСЛУЖИВАНИИ

§ 1. СВАРОЧНЫЕ ПОСТЫ ДЛЯ РУЧНОЙ СВАРКИ

В зависимости от рода применяемого тока и типа источника питания током дуги различают следующие виды постов для ручной дуговой сварки:

постоянного тока, с питанием от однопостового сварочного преобразователя или сварочного выпрямителя;

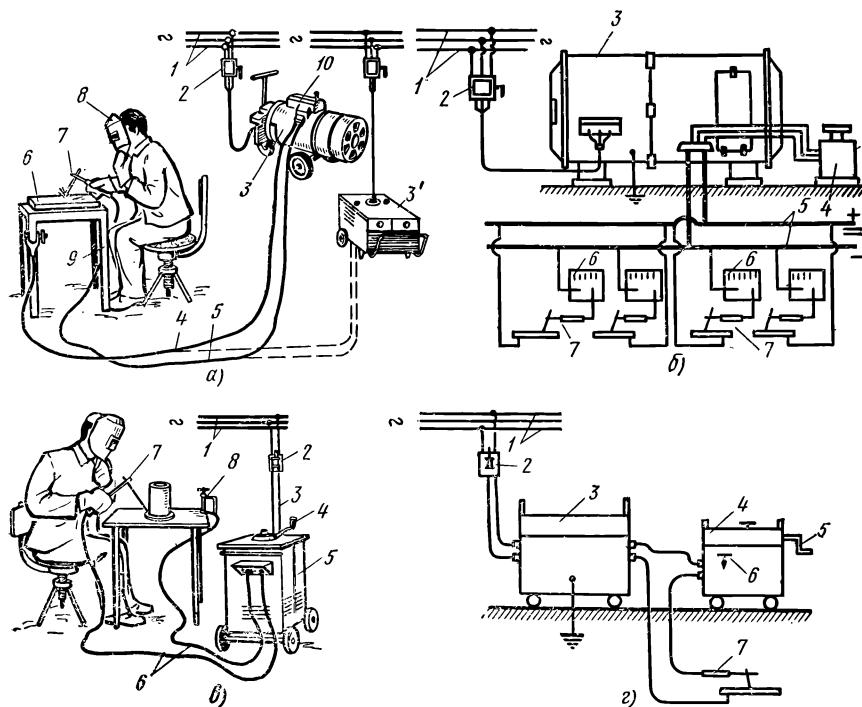


Рис. 17. Сварочные посты для ручной сварки:

а — постоянным током от однопостового сварочного преобразователя или сварочного выпрямителя, *б* — то же, от многопостового преобразователя, *в* — переменным током от однопостового сварочного трансформатора в однокорпусном исполнении, *г* — то же, от однопостового сварочного трансформатора с отдельным регулятором (дресселем)

то же, с питанием от многопостового сварочного преобразователя или выпрямителя через балластные реостаты;

переменного тока, с питанием от однопостового сварочного трансформатора или от многопостового трансформатора через дроссели.

Общий вид сварочного поста для ручной дуговой сварки постоянным током показан на рис. 17, а. От сети 1 переменный трехфазный ток напряжением 220 или 380 в подается через рубильник 2 и предохранители к сварочному преобразователю 3 (или к сварочному выпрямителю 3'). Сварочный преобразователь состоит из электродвигателя и соединенного с ним сварочного генератора, вырабатывающего постоянный ток напряжением 25—40 в. Электродвигатель и сварочный генератор установлены на тележке и образуют агрегат, называемый сварочным преобразователем.

Ток от сварочного генератора по гибким проводам 4 и 5 подводится к электрододержателю 7 и свариваемому изделию 6. Электрододержатель служит для подвода тока непосредственно к электроду. Во время сварки сварщик в левой руке должен держать щиток 8, защищающий лицо и глаза от лучей сварочной дуги. Вместо щитка часто применяют шлем, тогда левая рука сварщика остается свободной. Свариваемую деталь, если она невелика, кладут на металлический сварочный стол 9, к которому присоединяют второй провод от сварочного генератора. При возбуждении дуги свариваемое изделие, лежащее на металлическом столе, оказывается включенным в цепь сварочного тока.

Для изменения сварочного тока в зависимости от диаметра электрода, выбираемого в соответствии с толщиной свариваемого металла, служит регулятор 10, расположенный на корпусе сварочного преобразователя.

В сварочных цехах часто сварочные посты питаются током от общего (рис. 17, б) многопостового сварочного преобразователя 3, включаемого в сеть 1 трехфазного переменного тока через рубильник 2 и предохранители. Напряжение на выходных клеммах генератора регулируется шунтовым реостатом 4. Сварочный ток от генератора поступает по шинам 5 к постовым балластным реостатам 6, а через них — к электрододержателям 7. С помощью балластного реостата 6 устанавливается величина сварочного тока, соответствующая диаметру применяемого электрода. При сварке током прямой полярности провода от электрододержателя присоединяют к шине «—», а от свариваемого металла к шине «+». При сварке током обратной полярности, наоборот, электрододержатель присоединяют к шине «+», а свариваемый металл — к шине «—».

На рис. 17, в изображена схема поста для сварки переменным током. В этом случае пользуются сварочным трансформатором 5, который понижает напряжение подводимого от сети переменного тока с 220 или 380 в до 60—65 в, требуемого для возбуждения дуги при сварке. Переменный ток от сети 1 по проводам 3 подводится к сварочному трансформатору через рубильник 2 и предохранители.

Трансформатор имеет регулятор с рукояткой 4 для плавного изменения сварочного тока.

В трансформаторах типа СТЭ, выпускавшихся в прежние годы, трансформатор и регулятор расположены отдельно (рис. 17, з). В этом случае ток от сети 1 через рубильник и предохранители 2 подводят к трансформатору 3. Ток низкого (сварочного) напряжения поступает: по одному проводу — в обмотку регулятора (дросселя) 4 и затем к электрододержателю 7, а по второму — к свариваемому металлу через зажим 8 (см. рис. 17, в). Регулируется сварочный ток вращением рукоятки 5. Стрелка 6 указывает величину сварочного тока.

§ 2. ПОНЯТИЕ ОБ УСТРОЙСТВЕ СВАРОЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Сварочный преобразователь (рис. 18) служит для преобразования переменного тока в постоянный ток, используемый для питания сварочной дуги. Преобразователь имеет генератор сварочного тока 5 и электродвигатель 2, расположенные в общем корпусе 1.

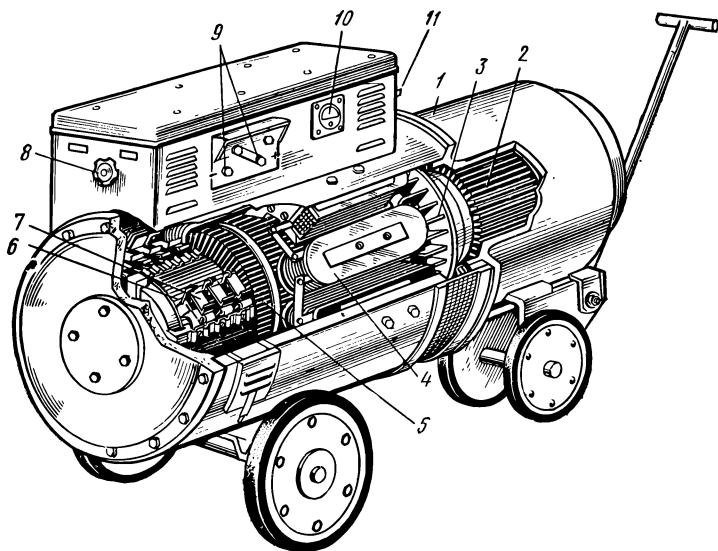


Рис. 18. Сварочный преобразователь ПСО-500

Якорь генератора и ротор электродвигателя расположены на одном валу, подшипники которого установлены в крышках корпуса. На вал электродвигателя насажен вентилятор 3, предназначенный для охлаждения агрегата во время работы.

Рядом с вентилятором на валу расположен якорь сварочного генератора 5, набранный из тонких пластин электротехнической стали и снабженный продольными пазами, в которые уложены

изолированные витки обмотки якоря. Вместе с якорем на валу находится коллектор 6, состоящий из большого числа медных пластин, к которым припаяны выведенные наружу концы обмотки якоря. Магнитный поток в генераторе создается между полюсами электромагнита, укрепленными в корпусе. Чтобы собрать магнитный поток в общий пучок в том месте, где его пересекают витки обмотки якоря, полюса магнита имеют железные башмаки, охватывающие якорь и обеспечивающие по всей окружности одинаковый небольшой зазор между якорем и полюсами. На полюсах насажены катушки 4 с обмотками из изолированной проволоки, включенными в электрическую цепь генератора. При прохождении тока по обмотке полюсов между ними возникает магнитный поток, возбуждающий ток в витках обмотки якоря при вращении последнего. Этот ток через пластины коллектора 6 и прилегающие к ним щетки токосъемника 7 подводится к зажимам 9, к которым присоединяются сварочные провода от электродержателя и свариваемого изделия.

Для регулирования сварочного тока пользуются маховичком 8 реостата. При вращении маховичка 8 по часовой стрелке ток увеличивается, а при вращении против часовой стрелки — уменьшается. Величина сварочного тока измеряется амперметром 10.

Включение электродвигателя преобразователя производится поворотом рукоятки 11 пакетного переключателя. Сварочный преобразователь установлен на тележке и может перевозиться по цеху или рабочей площадке. Сварочные преобразователи строятся по различным электрическим схемам, описание которых дано в гл. XXI.

Для пояснения принципа работы сварочного преобразователя рассмотрим упрощенную электрическую схему преобразователя ПСО-500 (рис. 19). Электродвигатель 1 с короткозамкнутым ротором имеет три обмотки статора, включенные по схеме «звезда» (380 в) *. Пакетный выключатель 2 служит для включения электродвигателя в сеть трехфазного переменного тока напряжением

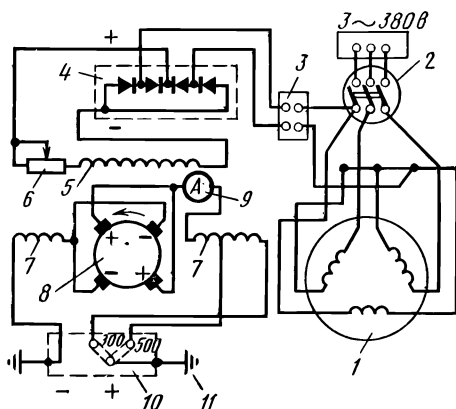


Рис. 19. Принципиальная электрическая схема сварочного преобразователя ПСО-500

* Большинство сварочных преобразователей имеют дополнительные клеммы для включения обмоток электродвигателя также по схеме «треугольник» (220 в).

380 в. Четырехполюсный сварочный генератор 8 имеет обмотку 5 независимого возбуждения и последовательную размагничивающую обмотку 7, обеспечивающую падающую внешнюю характеристику генератора. Обмотки 5 и 7 расположены на разных полюсах. Независимая обмотка возбуждения 5 питается постоянным током от селенового выпрямителя 4, включенного в сеть питания обмоток электродвигателя через стабилизатор напряжения (однофазный трансформатор) 3 и включается одновременно с пуском электродвигателя.

Сварочный ток регулируется реостатом 6, включенным в цепь независимой обмотки возбуждения 5. Величина тока измеряется амперметром 9. Сварочная цепь подключается к зажимам доски 10, на которой имеется переключатель, переключающий секции последовательной обмотки 7 на два диапазона сварочного тока: до 300 а и до 500 а. Конденсаторы 11 устраняют радиопомехи, возникающие при работе преобразователя.

§ 3. ВКЛЮЧЕНИЕ, РЕГУЛИРОВАНИЕ И ВЫКЛЮЧЕНИЕ СВАРОЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Подключение сварочных преобразователей к сети должен выполнять только электромонтер. Электросварщику разрешается подключать к преобразователю сварочные провода.

Для пуска в ход сварочного преобразователя необходимо включить электродвигатель, приводящий во вращение якорь генератора. Перед включением электродвигателя сварщик должен:

1) проверить надежность всех контактов в местах соединения проводов сварочной цепи и механических креплений;

2) проверить, хорошо ли заземлен корпус преобразователя;

3) осмотреть щетки и коллектор генератора, убедиться в их чистоте и исправности; если нужно — очистить преобразователь от пыли и грязи, при необходимости протереть и продуть коллектор и щетки сжатым воздухом или азотом;

4) поставить на доске зажимов 9 (см. рис. 18) переключку в положение, соответствующее пределам применяемого сварочного тока (влево — до 300 а, вправо — до 500 а) *;

5) повернуть до отказа против часовой стрелки маховичок 8 (см. рис. 18) реостата для регулирования сварочного тока;

6) надежно присоединить один сварочный провод к свариваемой детали или сварочному столу, а кабель от электрододержателя — к соответствующей клемме преобразователя согласно требуемой полярности тока при сварке данного металла или марки применяемого электрода;

7) убедиться в том, что сварочная цепь разомкнута, т. е. присоединенный к проводу электрододержатель не касается сварочного стола или свариваемой детали.

* В генераторах некоторых конструкций (например, СУГ-26) для этого служит рукоятка, с помощью которой можно передвигать щетки коллектора.

После выполнения перечисленных выше операций можно включить рубильник электродвигателя сварочного преобразователя. Некоторые электродвигатели имеют специальную рукоятку для переключения их обмоток при пуске со звезды на треугольник. При пуске таких электродвигателей необходимо перед включением рубильника поставить рукоятку в положение против знака Υ (звезда); когда якорь двигателя получит нормальное число оборотов, рукоятку ставят против знака Δ (треугольник).

Во время первого пуска следует проверить правильность направления вращения коллектора, который должен вращаться против часовой стрелки (если смотреть со стороны коллектора). При неправильном направлении вращения нужно поменять местами провода двух любых фаз в месте подключения электродвигателя к питающей сети.

Сварочный ток регулируется поворотом маховичка, около которого на корпусе реостата помещена шкала с делениями, соответствующими току в амперах. Если на щитке сварочного преобразователя имеется амперметр, ток регулируется по показаниям этого прибора.

Преобразователь выключается пакетным выключателем. Перед выключением преобразователя сварку следует прекратить, а сварочную цепь (электрод — свариваемый металл) разомкнуть.

§ 4. ПОНЯТИЕ ОБ УСТРОЙСТВЕ СВАРОЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА И РЕГУЛЯТОРА (ДРОССЕЛЯ)

Сварочные трансформаторы применяют при сварке переменным током для понижения напряжения заводской сети с 220—380 в до 60—65 в, необходимого для возбуждения сварочной дуги.

Величину сварочного тока изменяют регулятором (дросселем). Трансформатор и регулятор могут быть выполнены в виде отдельных аппаратов или объединены в одном корпусе и иметь обмотки на общем сердечнике.

Современные типы сварочных трансформаторов (СТН, ТС и др.) выпускаются в однокорпусном исполнении. Трансформаторы выпуска прошлых лет (типа СТЭ), которые еще иногда используются в промышленности, имели двухкорпусное исполнение (с отдельным дросселем).

Электрическая схема и магнитная система трансформатора типа СТН в однокорпусном исполнении показаны на рис. 20. Основой трансформатора является замкнутый магнитопровод *1* (сердечник), набранный из большого количества одинаковых пластин, отштампованных из тонкой (0,5 мм) листовой трансформаторной (электротехнической) стали и стянутых шпильками. На сердечнике находятся обмотки *2* и *3* с различным числом витков. Если по обмотке *2* с большим числом витков пропускать переменный ток, то он будет намагничивать сердечник *1*, создавая в нем переменный магнитный поток. Этот магнитный поток воздействует на витки второй обмотки *3*, вследствие чего в ней появляется индуктированный переменный

ток, но другого напряжения, величина которого зависит от числа витков в обмотке 3. Чем больше витков имеет обмотка 3, тем выше напряжение и меньше величина индуктируемого в ней тока, и наоборот. Так как обмотка 3 сварочного трансформатора имеет меньше витков, чем обмотка 2, то возникающий в обмотке 3 ток будет меньшего напряжения, но большей величины.

Обмотка 2, в которую поступает ток из сети, называется первичной, а обмотка 3, от которой ток отводится в сварочную цепь, — вторичной. На рис. 20, а путь магнитного потока в сердечнике показан штриховыми линиями. Для получения более компактной конструкции трансформатора катушки его первичной и вторичной обмоток обычно помещают на обоих стержнях сердечника.

Верхняя половина магнитопровода 1 используется как сердечник регулятора тока (дресселя). Магнитный поток сердечника трансформатора и сердечника дресселя замыкается по средней перемычке общего для них маг-

нитопровода. Катушки первичной 2 и вторичной 3 обмоток трансформатора и реактивной обмотки 5 дресселя расположены на общем магнитопроводе 1. Вторичная 3 и реактивная 5 обмотки включены навстречу друг другу (встречное включение)*. Благодаря этому магнитные потоки, возникающие в сердечнике при прохождении тока по вторичной и реактивной обмоткам, направлены навстречу друг другу. В той части

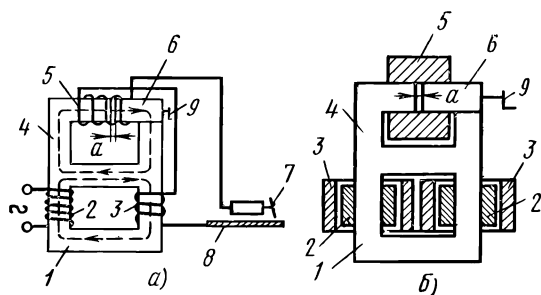


Рис. 20. Электрическая схема (а) магнитная система (б) трансформатора СТН в однокорпусном исполнении:

1 — магнитопровод трансформатора, 2 — первичная обмотка, 3 — вторичная обмотка, 4 — магнитопровод регулятора, 5 — обмотка регулятора, 6 — передвижной пакет магнитопровода, 7 — электрод, 8 — свариваемый металл, 9 — рукоятка регулятора

ти сердечника, где расположена реактивная обмотка, имеется подвижной пакет 6, образующий с неподвижной частью сердечника воздушный зазор a , величина которого изменяется при вращении рукоятки 9 регулятора.

При вращении рукоятки 9 по часовой стрелке воздушный зазор a увеличивается. Вследствие этого возрастает сопротивление прохождению магнитного потока в верхней части сердечника, и магнитный поток в ней уменьшается; это приводит к уменьшению индуктивного сопротивления обмотки регулятора, отчего сварочный ток возрастает.

* В трансформаторах для сварки на малых токах в целях обеспечения устойчивого горения дуги применяется «согласное» включение вторичной и реактивной обмоток (трансформаторы СТАН).

При вращении рукоятки 9 против часовой стрелки воздушный зазор a уменьшается, что вызывает повышение индуктивного сопротивления обмотки регулятора, и сварочный ток уменьшается. Когда сварочная цепь разомкнута и дуга между электродом 7 и свариваемым металлом 8 не горит, то ток не проходит через реактивную обмотку 5 и она работает как часть вторичной обмотки 3 трансформатора.

Схема трансформатора с отдельным регулятором (дресселем), т. е. в двухкорпусном исполнении, показана на рис. 21. В таких конструкциях отдельный регулятор имеет свой наборный магнитопровод (сердечник) 4 с обмоткой 5, включаемой последовательно

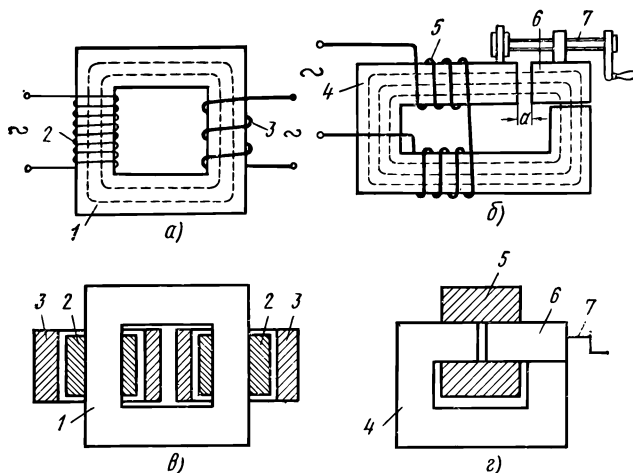


Рис. 21. Электрические схемы трансформатора (а) в двухкорпусном исполнении, типа СТЭ и дресселя (б); магнитные системы трансформатора (в) и дресселя (г): 1 — магнитопровод трансформатора, 2 — первичная обмотка, 3 — вторичная обмотка, 4 — магнитопровод дресселя, 5 — обмотка дресселя, 6 — подвижная часть магнитопровода дресселя, 7 — винт с рукояткой

в сварочную цепь (см. рис. 17, г). Сердечник имеет подвижную часть 6, перемещаемую вправо и влево винтом 7 с рукояткой. При этом изменяется воздушный зазор a между подвижной и неподвижной частями сердечника. Уменьшая воздушный зазор a , мы увеличиваем магнитный поток в сердечнике, т. е. повышаем индуктивное сопротивление сварочной цепи, что уменьшает сварочный ток. Наоборот, при увеличении воздушного зазора a магнитный поток и индуктивное сопротивление дресселя уменьшаются, вследствие чего сварочный ток возрастает.

Обмотка регулятора выполнена из голого медного или алюминиевого провода прямоугольного сечения. Схема соединения сварочного трансформатора СТЭ и регулятора была показана на рис. 17, г.

Сейчас широкое применение находят сварочные трансформаторы ТС и ТСК, работающие по схеме с увеличенным магнитным рассеянием (рис. 22). В трансформаторах ТС и ТСК сварочный ток регулируется перемещением вверх и вниз катушек 5 вторичной обмотки, которые сделаны подвижными. Для перемещения катушек служит вертикальный винт с ленточной резьбой, снабженный рукояткой 4.

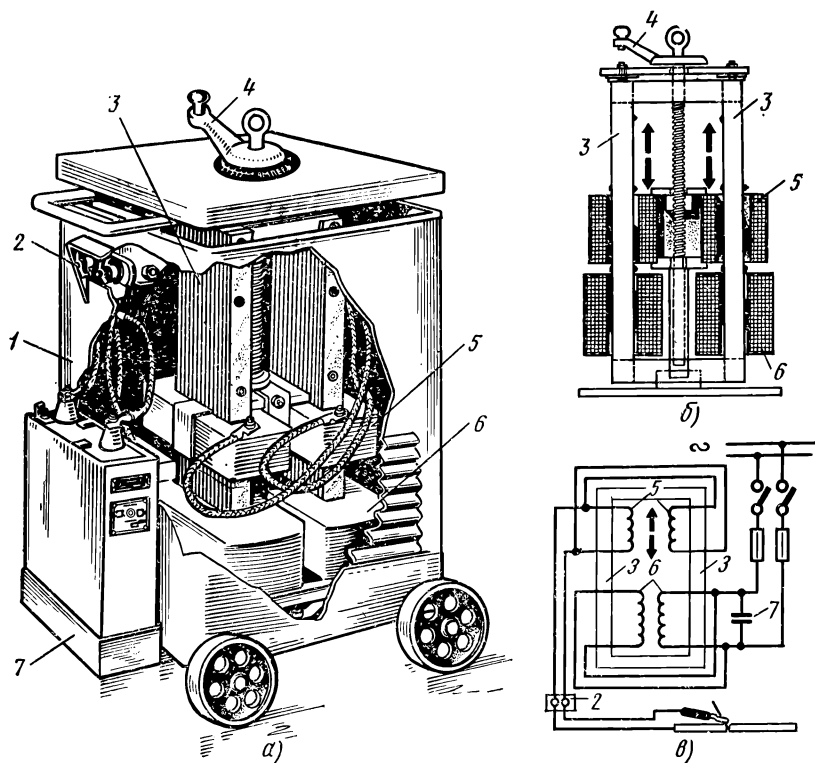


Рис. 22. Сварочный трансформатор ТСК-500:

а — внешний вид, *б* — схема регулирования сварочного тока, *в* — электрическая схема; 1 — корпус, 2 — клеммы для сварочных проводов, 3 — сердечник (магнитопровод), 4 — рукоятка регулятора, 5 — катушка вторичной обмотки, 6 — катушка первичной обмотки, 7 — компенсирующий конденсатор

Гайка винта скреплена с катушками 5 вторичной обмотки и перемещается вместе с ней при вращении винта рукояткой 4. При сближении катушек 5 и 6 магнитное рассеяние и вызываемое им индуктивное сопротивление обмоток уменьшаются, и сварочный ток увеличивается. При удалении катушек друг от друга большая часть магнитного потока рассеивается, т. е. проходит не полностью по стальному сердечнику 3 магнитопровода, а частично идет по окружающему их воздушному пространству. Это увеличивает э. д. с. самоиндукции, направленную против основной э. д. с., т. е. увеличи-

вает индуктивное сопротивление обмоток, что приводит к уменьшению тока в сварочной цепи.

Обмотка трансформатора сделана из алюминия, а выводные концы армированы медью. На крышке корпуса около рукоятки 4 расположена шкала, показывающая приближенную величину сварочного тока при данном положении рукоятки. Для точного определения величины тока пользуются амперметром. Конденсатор 7 служит для повышения коэффициента мощности (т. н. косинуса «фи») трансформатора до 0,7.

§ 5. ВКЛЮЧЕНИЕ, РЕГУЛИРОВАНИЕ И ВЫКЛЮЧЕНИЕ СВАРОЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Перед началом сварки необходимо проверить правильность и плотность присоединения наконечников проводов к зажимам контактов трансформатора и регулятора.

Около клемм первичной обмотки трансформатора обычно нанесены цифры 220 или 380, обозначающие напряжения в вольтах. К этим клеммам присоединяются провода, соединяющие трансформатор с заводской электросетью через двухполюсный рубильник и предохранители. Если напряжение в сети 220 в, то провода присоединяются к клеммам с обозначением 220, а если 380 в, то — к клеммам с обозначением 380.

На стенке кожуха расположены две другие клеммы большего сечения, к которым подключены концы вторичной обмотки. К этим клеммам присоединяются сварочные провода, идущие от трансформатора к свариваемой детали. Схемы соединений показаны: на рис. 17 *г* — для трансформатора СТЭ с отдельным регулятором; на рис. 17, *в* и 22, *в* — для трансформаторов ТС и ТСК.

Перед включением трансформатора в сеть сварщик обязан:

1) осмотреть трансформатор и регулятор, очистить их от пыли и загрязнений;

2) проверить плотность всех мест присоединения проводов к клеммам, очистить их от пыли и загрязнений;

3) заземлить кожух трансформатора, для чего нужно присоединить заземляющий провод к специальному болту с надписью «Земля». Регулятор заземлять не требуется.

После выполнения указанных выше операций можно включить рубильник, подводящий ток от силовой сети к трансформатору.

При обслуживании сварочных преобразователей, выпрямителей и трансформаторов необходимо выполнять следующие правила техники безопасности:

1. Не прикасаться к токоведущим частям, находящимся под напряжением; следить за тем, чтобы зажимы, к которым присоединены провода от питающей сети и сварочной цепи, были закрыты защитными крышками.

2. Избегать одновременного прикосновения к изделию и к изолированным токоведущим частям сварочной цепи. Особую осторожность проявлять при замене электрода, помня, что напряжение

холостого хода (при разомкнутой сварочной цепи) выше, чем при сварке.

3. Все присоединения проводов производить только при выключенном рубильнике на линии, подводящей ток от заводской сети.

В сырую погоду или в сыром помещении при включении и выключении тока питающей сети пользоваться резиновыми ковриками (или галошами) и перчатками.

4. Следить за тем, чтобы корпус источника питания током (преобразователя, выпрямителя или трансформатора) всегда был надежно заземлен с помощью изолированного провода сечением, установленным в соответствии с действующими нормами для электротехнических установок (ПУЭ).

5. Работать только в брезентовых рукавицах и брезентовом костюме.

6. Защищать глаза от света сварочной дуги щитком или маской.

7. Место сварки ограждать щитами, ширмами или брезентовыми занавесями.

§ 6. ПРИНАДЛЕЖНОСТИ И ИНСТРУМЕНТ СВАРЩИКА

Электродержатели. При ручной дуговой сварке для зажима электрода и подвода к нему тока применяются электродержатели. Конструкция электродержателя должна позволять быстро заменять электрод без прикосновения к токоведущим частям и обеспечивать наименьшую длину остающегося огарка.

Электродержатель должен быть легким, удобным в обращении, не стеснять движений и не утомлять руку сварщика.

Наиболее простыми по конструкции являются электродержатели вилочного (рис. 23, *г*) и пластинчатого (рис. 23, *д*) типов с зажимной частью стали.

Более сложные, но надежнее электродержатели с плоскими губками, в которых зажатие электрода обеспечивается упругостью самих губок или усилием пружины. Контактные концы электродержателей с разжимными губками, между которыми зажимается электрод, делают из меди (рис. 23, *а, б, в*). Электродержатели с винтовым зажимом (рис. 23, *е*) при сварке на больших токах быстрее выходят из строя вследствие нагрева и заклинивания винтового устройства, поэтому их целесообразно применять при сварке током до 300 *а*.

Согласно ГОСТ 14651—69 электродержатели выпускаются трех типов: для тока 125 *а* и провода сечением 25 мм²; тока 315 *а* и провода 50 мм²; тока 500 *а* и провода 70 мм².

Электродержатель должен выдерживать 8000 зажимов электродов. Время смены электрода не должно превышать 4 сек.

Электродержатели для тока 500 *а* снабжают щитком для защиты руки от тепла сварочной дуги.

Применяют также электродержатели, снабженные устройством для выключения сварочного тока во время смены электрода, обеспечивающие большую безопасность работы. Выключающее

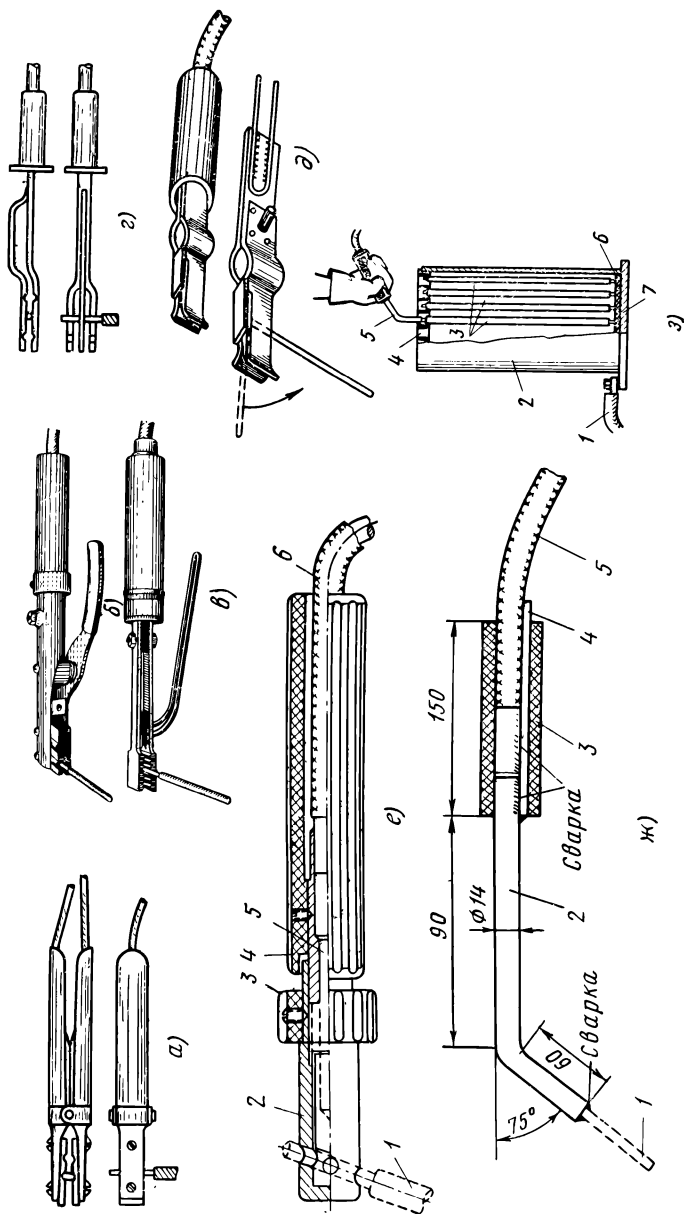


Рис. 23. Электродержатели:

а — конструкция завода «Электрик», б — конструкции В. А. Шебеко, в — конструкции Б. Ф. Сидорова, г — вилочного типа, д — пластинчатый конструкций Л. Д. Гурвица, е — с винтовым зажимом конструкции Б. Г. Филиппова / — электрод, 2 — головка, 3 — маховичок, 4 — рукоятка, 5 — винт, 6 — провод; ж — для безаркаровых электродов: 1 — электрод, 2 — стальной прут, 3 — рукоятка, 4 — стальная полоса, 5 — провод; з — кассета / — провод, 2 — стакан стальной, 3 — электроды, 4 — керамическая и асбестоцементная плитка с отверстиями, 5 — стальная пружина электрододержателя, 6 — графитовая пластина, 7 — стальное доннышко

устройство состоит из латунного стержня, вмонтированного в рукоятку; при вращении подвижной части рукоятки стержень вывертывается из контактной втулки, имеющейся в другой части рукоятки, размыкая цепь сварочного тока.

В электрододержателях для безогарковых электродов (рис. 23, ж) сварщик приваривает конец электрода встык к торцу токоведущего стержня, пользуясь для этого несложным приспособлением — кассетой (рис 23, з). При сварке безогарковыми электродами последние сгорают полностью, что снижает расход электродов на 15—20%.

При одновременной сварке несколькими электродами применяются электрододержатели специальных конструкций (см. гл. XX).

Щитки и маски. Щитки и маски (рис. 24) служат для защиты лица сварщика от лучей сварочной дуги и брызг расплавленного металла. Они изготавливаются из фибры черного матового цвета или пластмассы. В щиток и маску вставляется темное защитное стекло — светофильтр. Нельзя пользоваться случайными цветными стеклами, так как они не могут хорошо защищать глаза от невидимых лучей сварочной дуги, вызывающих хроническое

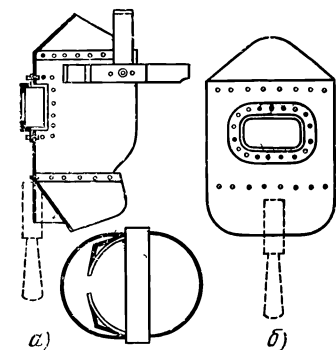


Рис. 24. Маска (а) и щиток (б) сварщика

заболевание глаз. Рамка щитка и маски должна иметь размеры в свету 40×90 мм и допускать установку в ней светофильтра размером $52 \times 102 \times 2,5$ мм с прокладкой толщиной 1 мм.

Вес щитка не должен превышать 0,48, маски — 0,50 кг. Сварочные щитки и маски изготавливаются промышленностью по ГОСТ 1361—69.

Вильнюсским филиалом ВНИИЭСО разработана маска без металлических частей, что исключает возможность удара током сварщика при случайном касании электродом маски во время работы.

При сварке на стройплощадках и монтажных работах применяются маски, смонтированные на защитной каске, сделанной из пластмассы и предохраняющей голову сварщика от случайных ударов.

Защитные стекла (светофильтры). Светофильтры для электро-сварщиков имеют различную прозрачность. Согласно ГОСТ 9497—60* при электросварке рекомендуется применять следующие защитные стекла:

При	сварочном токе	от	30	до	75 а	Э-1
»	»	»	»	75	» 200 а	Э-2
»	»	»	»	200	» 400 а	Э-3
»	»	»	свыше	400 а	»	Э-4
						и Э-5

Для защиты от брызг металла светофильтр снаружи должен быть прикрыт прозрачным покровным стеклом (ГОСТ 111—65) и защитным небьющимся (ГОСТ 9784—61).

Сварочные провода (кабели). Служат для подвода тока от сварочного преобразователя или трансформатора к электрододержателю и изделию. Электрододержатели присоединяются к гибкому изолированному кабелю ПРГД или ПРГДО по ГОСТ 6731—68, сплетенному из большого количества медных, отожженных и облуженных проволок диаметром 0,18—0,2 мм. Используется также кабель АПРГДО с алюминиевыми жилами.

Длина гибкого кабеля от электрододержателя может быть равна 2—3 м, а далее он может быть заменен кабелем марки АКРПТ или КРПТ по ГОСТ 13497—68. Соединение выполняется с помощью муфт на пайке или медных кабельных наконечников, скрепляемых болтами.

Обратный провод, идущий к изделию, в цеховых условиях может быть заменен шинами, скрепляемыми в местах соединений болтами и уложенными в деревянном кожухе.

Нормы нагрузки проводов выбираются по установленным нормативам для электротехнических установок (ПУЭ).

В проводах, подводящих ток от сети к электродвигателям сварочных преобразователей и к сварочным трансформаторам и выпрямителям, падение напряжения по нормам ПУЭ не должно быть более 5% от номинального напряжения.

Одежда сварщика. Должна быть сшита из плотной и трудно загорающейся ткани — брезента, сукна, асбестовой ткани и других материалов. При работе сварщик пользуется брезентовыми или асбестотканевыми рукавицами. В резиновой одежде, обуви и перчатках работать нельзя, так как они легко прожигаются брызгами расплавленного металла.

Одежда и обувь не должны иметь складок, открытых карманов, обшлагов, куда могут попадать капли расплавленного металла. Брюки должны быть выпущены сверху сапог.

Прочие принадлежности и инструмент сварщика. Сюда относятся винтовые зажимы типа струбцин, в которые вплавляется на твердом припое конец провода. Зажимы должны обеспечивать плотный контакт со свариваемым изделием.

Зачищают швы и удаляют шлак проволочными щетками — ручными и с электроприводом.

Для клеймения швов и обрубки шлака служат клейма, зубила и молотки.

Инструментом сварщика также являются различные шаблоны и универсальные измерители для проверки формы и размеров сварного шва; конструкции этих шаблонов и измерителей описаны в гл. VIII, § 2.

Глава III

СВАРОЧНАЯ ДУГА

§ 1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О СВАРОЧНОЙ ДУГЕ

Сварочная дуга представляет собой длительный мощный электрический разряд, происходящий при давлении, близком к атмосферному в газовом промежутке между двумя электродами, находящимися под напряжением. Если одним из электродов является свариваемый металл, то такая дуга называется *дугой прямого действия* (рис. 25, а). Если дуга горит между двумя отдельными электродами (угольными или вольфрамовыми), то это *дуга косвенного действия* (рис. 25, б). В технике сварки наибольшее применение имеет дуга прямого действия, обеспечивающая более глубокое проплавление металла и лучшее использование тепла дуги.

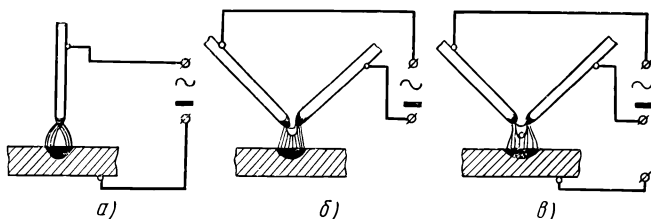


Рис. 25. Схемы электрических сварочных дуг:
а — прямого действия, б — косвенного действия, в — комбинированного действия

Дуга комбинированного действия (рис. 25, в) включается в цепь трехфазного тока и горит одновременно как между двумя электродами, так и между каждым из электродов и свариваемым металлом. В этом случае количество выделяющегося тепла увеличивается и производительность сварки возрастает. Такой способ получил название сварки (наплавки) *трехфазной дугой* (см. гл. XX, § 5).

На рис. 26 схематически показано строение дуги прямого действия постоянного тока прямой полярности, т. е. горящей между электродом и свариваемым металлом при минусе на электроде.

Дуга имеет три основные зоны: катодную $З$, граничащую с катодным пятном 2 на электроде, анодную, граничащую с анодным пятном 6 на металле, и столб 4 . При средних значениях тока (200—300 а) диаметр анодного пятна в 1,5—2 раза больше диаметра катодного пятна.

Столб дуги состоит из т. н. п л а з м ы. Этим термином обозначается особое состояние вещества, находящегося в газообразном состоянии при очень высоких температурах и состоящего из электронов, положительных ионов, отрицательных ионов, перемещающихся с большими скоростями между полюсами горящей дуги.

Суммы положительных и отрицательных зарядов частиц в столбе дуги равны между собой и поэтому сам столб является электрически нейтральным, т. е. его потенциал равен нулю.

Зона наиболее высоких температур, достигающих $5500\text{--}7800^\circ\text{C}$, находится в середине столба дуги. Чем выше плотность тока в дуге, тем выше температура столба. Снаружи столб окружен ореолом из нагретых паров и газов, имеющих более низкую температуру.

Плотности тока в электроде могут значительно колебаться в зависимости от способа сварки и составляют примерно, а/мм^2 .

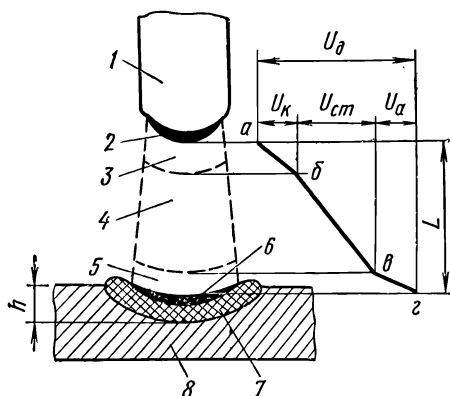


Рис. 26. Схема строения дуги прямого действия:

1 — электрод, 2 — катодное пятно, 3 — катодная область, 4 — столб дуги, 5 — анодная область, 6 — анодное пятно, 7 — сварочная ванна, 8 — основной металл; а, б, в, г — кривая падения напряжения в дуге: U_k — падение напряжения в катодной области, $U_{ст}$ — в столбе дуги, U_a — в анодной области, U_d — напряжение дуги, L — длина дуги, h — глубина проплавления (провар)

При ручной сварке покрытым электродом	18—20
При сварке под флюсом	50—100
При сварке в углекислом газе	60—350
При сварке в аргоне	15—350
При плазменной сварке	8—35

Газы и пары при обычных физических условиях являются диэлектриками и почти не проводят ток. Электрический ток начинает проходить через газ только при наличии в нем частиц, несущих электрические заряды: электронов, положительных ионов, отрицательных ионов. Такой газ называется *ионизированным*. Чем больше электронов и ионов движется в газе, тем выше ионизация газа и его электропроводность. Электрически заряженные частицы вещества являются переносчиками электрической энергии в среде ионизированного газа. Ионизируется дуговой промежуток в основном свободными электронами, выбрасываемыми катодом, которые при соударениях с атомами и молекулами газа выбивают из них электроны, превращая частицы в положительные или отрицательные ионы, способные проводить электрический ток.

Процесс образования электрически заряженных частиц в среде газов и паров называется *объемной ионизацией*. На рис. 27 схематически показан механизм процесса объемной ионизации в столбе дуги. Поверхность катода 1 испускает поток свободных электронов. Это явление носит название *эмиссии** электронов. Под действием электрического поля в катодной области движение электронов сильно ускоряется (быстрые электроны — $\mathcal{E}_1$, — $\mathcal{E}_2$ и др.). При столкновении с нейтральными атомами (A , A' и др.) газа быстрые электроны, обладая большим запасом энергии движения, выбивают из оболочек более тяжелых и поэтому менее подвижных атомов газа один или несколько электронов $\mathcal{E}'_2$. Эти электроны уже с меньшей скоростью движутся к положительно заряженному аноду 5 под действием его электрического поля. Атом же A' , потерявший с выбитыми из его оболочки электронами часть отрицательного заряда, становится положительным ионом $+И$, который устремляется к катоду 1 , заряженному отрицательным электричеством. При ударе о поверхность катода положительный ион $+И$ выбивает из него электроны; часть из них он захватывает, превращаясь снова в электрически нейтральный атом, а остальные электроны через столб дуги 3 устремляются к аноду 5 , поддерживая его ионизацию.

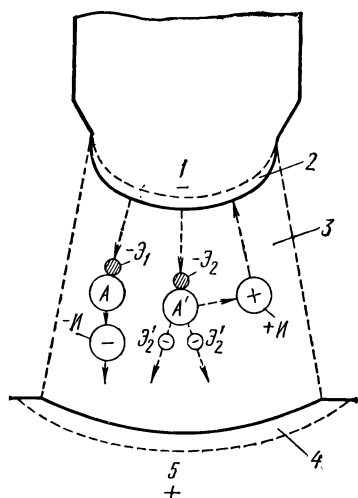


Рис. 27. Схема процесса объемной ионизации газа:

1 — катод, 2 — катодное пятно, 3 — столб дуги, 4 — анодное пятно, 5 — анод; $\mathcal{E}_1$, $\mathcal{E}_2$ — быстрые электроны, A , A' — нейтральные атомы, $\mathcal{E}'_2$ — медленные электроны, $+И$ — положительные ионы, $-И$ — отрицательные ионы

Отрицательные ионы $-И$ образуются также из нейтральных атомов A при захватывании ими свободных электронов $\mathcal{E}_1$. Отрицательные ионы способны образовывать не все химические элементы, поэтому в ионизированных газах отрицательных ионов содержится меньше, чем положительных.

Ионизацию могут вызывать также энергия светового излучения, особенно ультрафиолетовые лучи (так называемая *фотоионизация*),

или нагревание газов и паров столба дуги до температуры 2000°C , ускоряющее движение частиц и увеличивающее число их соударений (так называемая *термическая ионизация*).

В дуге происходит также образование нейтральных атомов из положительных и отрицательных ионов или из положительных ионов и электронов. Это явление носит название *рекомбинации*. Вслед-

* От французского слова эмиссьон, что значит испускание.

ствие этого процесса образование и исчезновение заряженных частиц в газе при данной температуре может взаимно уравновеситься и степень ионизации нагретого газа остается постоянной при существующих условиях горения дуги.

В процессах электродуговой сварки применяются следующие виды сварочных дуг:

1. Дуга между плавящимся металлическим электродом с покрытием и свариваемым металлом. Устойчиво горит при соответствующем покрытии на постоянном и на переменном токе. Широко применяется при сварке многих металлов.

2. Дуга между плавящимся металлическим электродом и свариваемым металлом, горящая под слоем флюса. Устойчива при постоянном и переменном токе. Используется при полуавтоматической и автоматической сварке и наплавке под флюсом.

3. Дуга между неплавящимся электродом и свариваемым металлом, горящая в среде защитных газов (аргоне, гелии, углекислом газе, водороде, азоте и др.). Широко используется при сварке различных металлов.

4. Дуга между неплавящимся вольфрамовым электродом и обрабатываемым металлом, сжатая струей плазмобразующего газа (аргона, водорода, азота, воздуха и др.), вытекающего с большой скоростью через канал головки специальной горелки (плазмотрона), называется сжатой (или плазменной) дугой прямого действия. Широко используется при резке, сварке и наплавке металлов и неметаллов.

Применяется также плазменная дуга косвенного действия, горящая между электродом из вольфрама и водоохлаждаемым соплом, стабилизирующим дугу (см. гл. XV).

5. Дуга между угольным или графитовым электродом и свариваемым металлом. Горит устойчиво только при постоянном токе свыше 5 а прямой полярности. Применяется при воздушно-дуговой резке, при сварке — редко.

6. Дуга между стальным плавящимся электродом и свариваемым металлом, горящая в воде. Требуется несколько повышенного напряжения зажигания и горения по сравнению с дугой, горящей на воздухе. Применяется при подводной сварке и резке.

7. Импульсная дуга постоянного тока, горящая между вольфрамовым или плавящимся электродом в среде аргона или других защитных газов; в дуге периодически (импульсами) меняется величина сварочного тока с помощью специальных устройств-генераторов импульсов. Обеспечивает точную дозировку тепловой энергии при сварке, что особенно важно для сварки тонкого металла. Используется также пульсирующая дуга, в которой плавно изменяется величина тока и напряжения дуги.

8. Дуга между плавящимся электродом и свариваемым металлом при использовании переменного тока промышленной частоты (50 гц) с наложением тока

высокого напряжения (2000—3000 в) и высокой частоты (до 250 кГц). Применяется для обеспечения устойчивости горения дуги и облегчения ее возбуждения. Ток высокой частоты получают с помощью осциллятора (см. гл. XXI, § 3). Применяется при сварке дугой малой мощности и аргоно-дуговой сварке.

9. Дуга между двумя плавящимися электродами и свариваемым металлом на переменном токе, включенными по схеме трехфазной сварки (см. гл. XX, § 5). Применяется при сварке и наплавке.

10. Дуга косвенного действия переменного тока между двумя неплавящимися (вольфрамовыми) электродами. Требуется повышенного напряжения: при зажигании — до 300 в, горении — до 100 в. Эта дуга применяется при способе атомно-водородной сварки.

Все перечисленные разновидности дуг требуют источников питания током, характеристики которых должны отвечать свойствам данной сварочной дуги и обеспечивать легкое возбуждение и устойчивое горение дуги при сварке или резке.

§ 2. ГОРЕНИЕ ДУГИ

Процессы и явления, происходящие в сварочной дуге, очень сложны. Несмотря на многочисленные работы в этой области, они до сих пор не могут считаться достаточно исследованными.

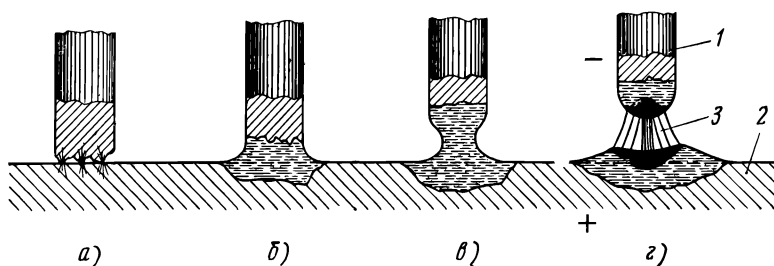


Рис. 28. Схема возникновения дуги между металлическим электродом и металлом:

а — короткое замыкание, б — образование прослойки из жидкого металла, в — образование шейки, г — возникновение дуги; 1 — электрод, 2 — основной металл, 3 — дуга

Возникновение дуги (рис. 28). При касании концом электрода свариваемого металла происходит короткое замыкание сварочной цепи (рис. 28, а). Проходя через отдельные выступы, ток, имеющий в точках касания электрода и металла очень высокую плотность, мгновенно расплавляет их, вследствие чего между электродом и металлом образуется прослойка из жидкого металла (рис. 28, б). В следующий момент сварщик несколько отводит электрод, отчего в жидком металле образуется тонкая шейка (рис. 28, в), в которой

плотность тока, а следовательно, и температура металла возрастают. Затем, при испарении расплавленного металла, шейка разрывается, газы и пары, заполняющие образовавшийся промежуток, мгновенно ионизируются и между электродом 1 и металлом 2 возникает сварочная дуга 3 (рис. 28, з).

Напряжение дуги. Определяется разностью потенциалов между катодом (электродом) и анодом (свариваемым металлом).

Общее падение напряжения в дуге U_d складывается из падения напряжения в катодной области U_k , столбе дуги $U_{ст}$ и анодной области U_a , т. е.

$$U_d = U_k + U_{ст} + U_a.$$

На рис. 26 справа линия $a - б - в - г$ показывает изменение напряжения в трех основных областях дуги. Величины падения напряжения в катодной и анодной областях можно считать постоянными, так как они зависят только от материала электродов, давления и свойств газовой среды. Падение напряжения в столбе дуги пропорционально длине дуги (L), за которую принимается расстояние между поверхностями катодного и анодного пятна (при глубоком проваре часть дуги погружена в металл). Для средних значений тока, при которых производится ручная и автоматическая сварка, можно считать, что напряжение дуги не зависит от величины тока, а определяется только длиной дуги. Чем короче дуга, тем ниже напряжение в ней и, наоборот, с удлинением дуги ее напряжение возрастает. Это обусловлено повышением сопротивления столба дуги с увеличением его длины. Поэтому для подсчета общего напряжения дуги можно пользоваться следующей приближенной формулой:

$$U_d = a + b \cdot L.$$

где U_d — напряжение дуги, в;

a — постоянный коэффициент, выражающий сумму падений напряжения на катоде и аноде дуги, не зависящий от длины дуги, в;

b — среднее падение напряжения на единицу длины дуги, в/мм;

L — длина дуги, мм.

Для стальных электродов можно в среднем принять $a = 10$ в и $b = 2$ в/мм. Тогда напряжение дуги длиной $L = 4$ мм составит:

$$U_d = 10 + 2 \cdot 4 = 18 \text{ в.}$$

На величину напряжения дуги могут влиять также состав электрода и свариваемого металла, состав и давление окружающей дугу газовой среды (воздуха, аргона, гелия, углекислого газа) и другие факторы.

Дуга при сварке металлическим электродом горит устойчиво при напряжении 18—28 в, а при сварке угольным или графитовым — при 30—35 в. Для возбуждения дуги требуется более высокое напряжение, чем то, которое необходимо для ее нормального горения.

Это объясняется тем, что в начальный момент воздушный промежуток еще недостаточно нагрет и необходимо придать электронам большую скорость для ионизации атомов газового промежутка, что можно достичь только при более высоком напряжении зажигания дуги.

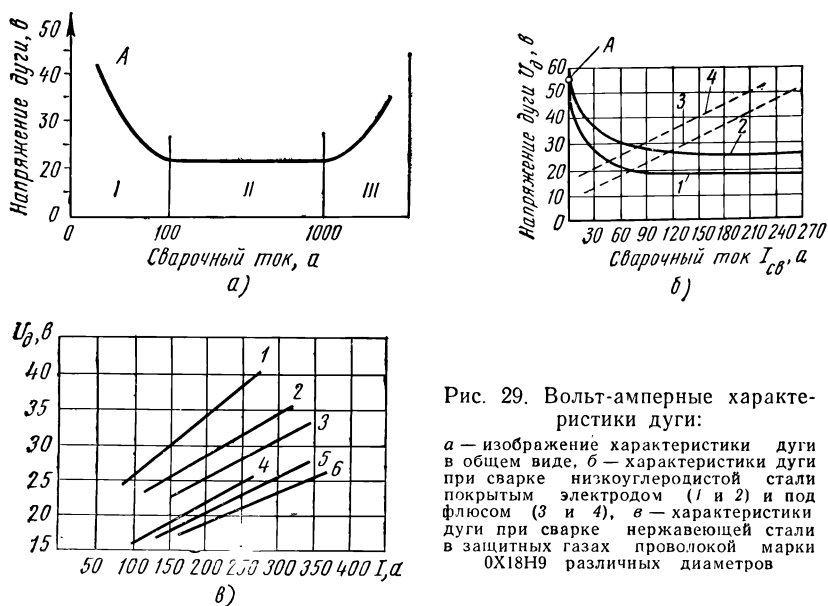


Рис. 29. Вольт-амперные характеристики дуги:

а — изображение характеристики дуги в общем виде, б — характеристики дуги при сварке низкоуглеродистой стали покрытым электродом (1 и 2) и под флюсом (3 и 4), в — характеристики дуги при сварке нержавеющей стали в защитных газах проволокой марки ОХ18Н9 различных диаметров

Вольт-амперная характеристика дуги. Кривая, показывающая зависимость между напряжением и током в дуге, называется *вольт-амперной характеристикой дуги* и соответствует установившемуся (стационарному) горению дуги. На рис. 29, а изображена в общем виде такая характеристика дуги. Точка А соответствует моменту возникновения дуги. Как видно из графика, при малых токах (участок I) характеристика дуги падающая, т. е. при возрастании тока напряжение дуги падает. Это вызвано тем, что при токах до 80 а увеличение тока приводит к увеличению площади сечения столба дуги и его электропроводности. Такая дуга малоустойчива и поэтому находит ограниченное применение при сварке. При токах от 80 до 800 а (участок II) дуга имеет жесткую характеристику (линия горизонтальна, т. е. напряжение дуги не изменяется при увеличении или уменьшении тока. Это обусловлено тем, что при этих условиях площадь сечения столба дуги и площади катодного и анодного пятен увеличиваются (или уменьшаются) пропорционально величине тока, поэтому плотность тока и падение напряжения во всех областях дуги остаются постоянными, независимо от изменения тока. Такая дуга находит наиболее широкое применение при сварке. При токах свыше 800 а плотность тока в дуге повышается настолько, что при увеличении тока начинает возрастать и напряжение дуги. Это

объясняется тем, что в данных условиях площадь катодного пятна уже не может увеличиваться, так как сечение электрода оказывается недостаточным и возрастает сопротивление столба дуги, т. е. его электропроводность понижается. Дуги с возрастающей характеристикой используются при сварке под флюсом и в защитных газах.

На рис. 29, б показаны характеристики дуг 1 и 2 при сварке низкоуглеродистой стали покрытым электродом, относящиеся к области I и II. Кривая 1 относится к дуге длиной 2 мм, кривая 2 — к дуге длиной 5 мм. Штриховые линии для дуг 3 и 4 относятся к области III. Они являются характеристиками дуг при сварке низкоуглеродистой стали под флюсом при высокой плотности тока. На рис. 29, в даны характеристики дуг III области при сварке нержавеющей стали проволокой марки 0X18H9, а именно: 1—3 — сварка в углекислом газе; 4—6 — сварка в аргоне; характеристики 1 и 4 соответствуют проволоке диаметром 1 мм; 2 и 5 — диаметром 1,6 мм; 3 и 6 — диаметром 2 мм.

Устойчивость горения дуги. Дуга, горящая равномерно без произвольных обрывов, требующих повторного зажигания, называется *устойчивой*. Если дуга горит неравномерно, часто обрывается и гаснет, то такая дуга называется *неустойчивой*. Устойчивость дуги зависит от многих причин, основными из которых являются род и полярность тока, состав покрытия электродов, длина дуги.

Для стальных электродов диаметром 4—5 мм с покрытием нормальная длина дуги равна 5—6 мм. Такая дуга называется *короткой*; она горит устойчиво и обеспечивает нормальное протекание процесса сварки.

Дуга, у которой длина более 6 мм, называется *длинной*. Процесс плавления металла электрода при длинной дуге протекает неравномерно. Стекающие с конца электрода капли металла в большей степени могут окисляться кислородом и обогащаются азотом воздуха. Наплавленный металл получается пористым, шов имеет неровную поверхность, а дуга горит неустойчиво. При длинной дуге понижается производительность, увеличивается разбрызгивание металла, чаще образуются места с непроваром и недостаточным сплавлением наплавленного металла с основным.

Дуга постоянного тока. При сварке на постоянном токе дуга может питаться током прямой или обратной полярности. При прямой полярности минус источника тока подключают к электроду, а при обратной полярности — к свариваемому изделию. При сварке угольным электродом дуга легче возбуждается и устойчивее горит, если ток имеет прямую полярность. Ток обратной полярности применяют в тех случаях, когда нужно уменьшить выделение тепла на свариваемом изделии: при сварке тонкого или легкоплавкого металла, чувствительных к перегреву легированных, нержавеющих и высокоуглеродистых сталей и т. д., а также при применении некоторыми видами электродов (например, с фтористокальциевым покрытием типа УОНИ-13 и др., см. гл. V, § 2).

Дуга переменного тока. В дуге переменного тока напряжение и ток будут изменяться в соответствии с частотой тока. На рис. 30 по-

казаны кривые изменения напряжения и тока в дуге переменного тока за один период. Так как в каждом полупериоде ток I_d и напряжение дуги U_d изменяются от нуля до максимальных значений, при одновременном изменении знака напряжения на электродах, то за этот же промежуток времени уменьшается степень ионизации дугового промежутка и понижается его температура. Это приводит к обрыву дугового разряда и возбуждению его вновь, но уже в обратном направлении. Время горения дуги переменного тока составляет примерно 60—70% полупериода.

Для возбуждения дуги после прохождения тока через нулевое значение (точка А на рис. 30) требуется повышенное напряжение, равное $U'_{\text{зж}}$, которое больше напряжения дуги U_d .

В производственных условиях при сварке металлов переменный ток находит широкое применение, так как оборудование сварочного поста проще и дешевле, чем для сварки постоянным током. Недостатком переменного тока является менее устойчивое горение сварочной дуги.

Для повышения устойчивости дуги переменного тока в покрытия электродов и сварочные флюсы вводят элементы с низким потенциалом ионизации: калий, натрий и кальций, которые облегчают возбуждение дуги после того, как ток уменьшается до нуля и одновременно изменяет свое направление на противоположное.

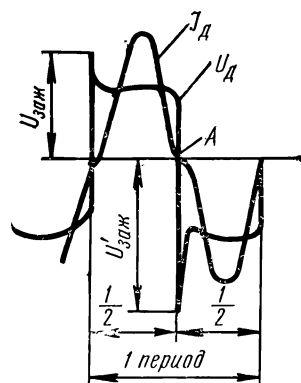


Рис. 30. Изменение тока и напряжения в дуге переменного тока:
 I_d — ток дуги, U_d — напряжения горения дуги, $U_{\text{зж}}$ — и U' — напряжения зажигания дуги

Применяют также источники питания с дополнительными устройствами, повышающими устойчивость дугового разряда на переменном токе (осцилляторами, генераторами импульсов, см. гл. XXI).

Магнитное дутье. Вокруг дуги и в свариваемом металле возникают магнитные поля. Если эти поля расположены относительно оси дуги несимметрично, то они могут отклонять дугу, являющуюся гибким проводником тока, что затрудняет сварку. Отклоняющее действие магнитных полей на сварочную дугу носит название *магнитного дутья*.

Сила магнитного поля пропорциональна квадрату тока, поэтому магнитное дутье особенно заметно при сварке постоянным током значительной величины (свыше 300—400 а). При сварке переменным током покрытыми электродами и сварке под флюсом явление магнитного дутья сказывается значительно слабее, чем при постоянном токе и применении голых или тонкопокрытых электродов.

на рис. 31, а, б и в показано влияние на отклонение дуги места подвода тока к изделию, а на рис. 31, г — влияние больших ферро-

магнитных масс. Для уменьшения влияния этих масс, отклоняющих дугу в нежелательную сторону, на свариваемое изделие укладывают дополнительную массивную стальную плиту со стороны, противоположной отклонению дуги, и к ней присоединяют один провод от источника питания. Плиту размещают на расстоянии 200—250 мм от места сварки и постепенно передвигают вдоль шва по мере движения дуги.

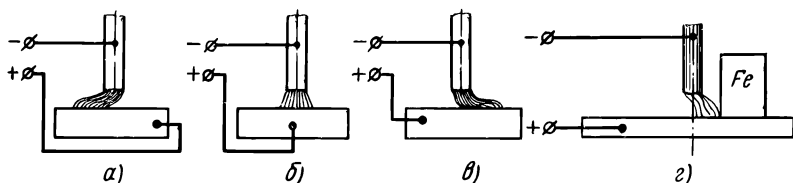


Рис. 31. Влияние места подвода тока к изделию и ферромагнитных масс на отклонение дуги:

а — отклонение влево, *б* — нормальное положение дуги, *в* — отклонение вправо, *г* — влияние ферромагнитной массы Fe

§ 3. ПЛАВЛЕНИЕ И ПЕРЕНОС МЕТАЛЛА В ДУГЕ

Тепловая характеристика дуги. Под действием тепла дуги основной металл располагается на некоторую глубину, называемую *глубиной проплавления или проваром*.

Основное количество тепла дуги выделяется в катодной и анодной зонах. В самой дуге выделяется меньшая часть тепла, расходуемая на испарение расплавленного металла и покрытия электрода и частично теряемого в окружающую среду.

При сварке стальным плавящимся электродом на постоянном токе на аноде выделяется в 1,7—2 раза больше тепла, чем на катode.

Температура на полюсах дуги также различна и составляет: при использовании угольных электродов — катода около 3200°C, анода около 3900°C; при использовании стальных электродов — катода около 2400°C, анода около 2600°C.

Полная тепловая мощность дуги Q_d подсчитывается по формуле

$$Q_d = 0,24I \cdot U_d \text{ кал/сек},$$

где I — сварочный ток дуги, а;

U_d — напряжение дуги, в;

0,24 — коэффициент перевода электрических величин, кал/вт·сек.

Количество тепла, вводимое дугой в свариваемый металл в единицу времени, называется *эффективной тепловой мощностью дуги*. Она меньше полной тепловой мощности дуги и складывается из следующего: тепла, выделяющего в пятне дуги на свариваемом металле; тепла, вводимого в металл за счет теплообмена со столбом дуги и ее пятном на свариваемом металле; тепла, вносимого в

свариваемый металл с каплями расплавленного металла электрода, электродного покрытия и флюса. Эффективную тепловую мощность дуги q можно подсчитать по формуле

$$q = 0,24I \cdot U_d \cdot \eta \text{ кал/сек.}$$

Здесь буквой η обозначен *эффективный коэффициент полезного действия нагрева металла дугой*. Коэффициент η равен:

При сварке металлическим электродом:	
с тонким покрытием	0,50—0,65
с толстым покрытием	0,70—0,85
При сварке под флюсом	0,80—0,95
При сварке с угольным электродом	0,50—0,65
При сварке неплавящимся электродом в защитных газах	0,50—0,60

Тепловой режим сварки характеризуется количеством тепла, вводимого в металл на единицу длины шва. Эта величина называется *погонной энергией сварки* и выражается отношением

$$\frac{q}{v} = \frac{0,24I \cdot U_d \cdot \eta}{v} \text{ кал/см,}$$

где v — скорость сварки, *см/сек*.

Величина погонной энергии имеет большое значение при определении рационального режима сварки легированных термообработываемых сталей.

Примерные балансы использования тепла сварочных дуг приведены в табл. 1.

Таблица 1

Примерные тепловые балансы сварочных дуг

Показатели	Затраты тепла, % от полной тепловой мощности дуги	
	покрытым металлическим электродом	под флюсом
Эффективная тепловая мощность	75	81
В том числе:		
а) перенос с каплями расплавленного металла	25	27
б) поглощение основным металлом	50	54
Потери в окружающую среду	20	—
Потери на разбрызгивание	5	1
Потери на плавление флюса	—	18
Итого: полная тепловая мощность дуги	100	100

Из табл. 1 видно, что при сварке под флюсом тепло дуги используется более полно, так как эффективная мощность дуги выше.

Перенос металла в дуге. Дуга расплавляет электрод с довольно большой скоростью; например, стальной электрод длиной 450 мм расплавляется за 1,5—2 мин. Расплавленный электродный металл переносится в сварочную ванну в виде капель диаметром тысячных долей мм до 5—6 мм.

Для ручной дуговой сварки покрытым электродом размер капль определяется в первую очередь плотностью тока в электроде, а также зависит от состава металла и покрытия электрода. При ручной сварке в виде капль переносится до 90% электродного металла, остальные 10% — это брызги и пары, значительная часть которых теряется. В зависимости от диаметра капли в секунду может переноситься: при диаметре 1 мм — до 150, при 2 мм — до 20, при 5—6 мм — от 1 до 2 капль.

Перенос металла в виде крупных капль с кратковременным замыканием дугового промежутка характерен для сварки электродами с тонким (меловым или др.) стабилизирующим покрытием (см. гл. V, § 2) и для сварки в защитных газах при плотностях тока до 50 а/мм² на обратной полярности, а при сварке на прямой полярности — и при более высоких плотностях тока в электроде, но низком напряжении дуги.

Перенос металла в виде потока мелких капль без замыкания ими дугового промежутка характерен для сварки толстопокрытыми электродами и сварки под флюсом. В этом случае большинство капль заключено в оболочку из шлака. Также переносится металл и в процессе сварки в защитных газах при плотности тока в электроде от 50 до 100 а/мм². Наконец, металл может переноситься в виде очень мелких, часто отделяющихся от электрода капль. Эти капли образуют сплошную струю жидкого металла, поэтому такой перенос называется струйным и характерен для сварки в аргоне нержавеющей стали плавящимся электродом при высоких плотностях тока.

В момент прохождения через дуговой промежуток металл нагревается до 2100—2300°C. При этой температуре протекают металлургические процессы и химические реакции в капле (см. гл. IV § 2).

Производительность процесса плавления металла. Количество электродного металла, расплавленного за определенное время, подсчитывают по формуле

$$G_p = K_p \cdot I \cdot t,$$

где G_p — количество расплавленного металла электрода, г;

K_p — коэффициент расплавления, г/а·ч;

I — величина сварочного тока, а;

t — время горения дуги, ч.

Из формулы следует, что чем больше ток и длительнее горит дуга, тем большее количество металла будет расплавлено.

Коэффициентом расплавления K_p называется количество расплавленного электродного металла в граммах в течение одного часа, приходящееся на один ампер сварочного тока, т. е.

$$K_p = \frac{G_p}{I \cdot t} \text{ г/а} \cdot \text{ч.}$$

Коэффициент расплавления зависит от материала электродного стержня, состава покрытия, а также от рода и полярности тока.

Для стальных электродов коэффициент расплавления может колебаться в пределах от 5 до 20 г/а · ч, составляя в среднем 8—12 г/а · ч.

Для подсчета количества наплавленного электродного металла нужно в приведенной выше формуле коэффициент расплавления K_p заменить величиной K_n , называемой *коэффициентом наплавки*. Коэффициент наплавки K_n равен

$$K_n = \frac{G_n}{I \cdot t} \text{ г/а} \cdot \text{ч.},$$

где G_n — количество наплавленного электродного металла, г.

При сварке на переменном токе электродами с толстым покрытием значения коэффициента наплавки могут быть в пределах $K_n = 6 \div 18 \text{ г/а} \cdot \text{ч.}$, составляя в среднем $K_n = 7 \div 10 \text{ г/а} \cdot \text{ч.}$ (см. табл. 5).

При сварке, вследствие частичного окисления, испарения и разбрызгивания, часть жидкого электродного металла теряется и не переходит в наплавленный металл шва. Поэтому коэффициент наплавки K_n меньше коэффициента расплавления K_p на величину потерь электродного металла при сварке. Эти потери выражаются коэффициентом потерь, представляющим отношение разности количеств расплавленного и наплавленного электродного металла к количеству расплавленного. Коэффициент потерь обозначают буквой ψ и выражают в процентах, определяя его по формуле

$$\psi = \frac{K_p - K_n}{K_p} \cdot 100\%.$$

Величина коэффициента потерь ψ в % составляет: при сварке тонкопокрытыми электродами 10—20, толстопокрытыми 5—10, в защитных газах 3—6, под флюсом 1—3.

Пример. Сварка производится толстопокрытыми электродами током 300 а. $K_n = 11 \text{ г/а} \cdot \text{ч.}$ За 1 ч горения дуги сварщик может наплавить металла:

$$11 \cdot 300 = 3300 \text{ г, или } 3,3 \text{ кг.}$$

Знать величину коэффициента наплавки важно для нормирования сварочных работ. Обозначим через v — скорость сварки,

см/ч; F — площадь поперечного сечения шва, см². Тогда скорость сварки можно подсчитать по формуле

$$v = \frac{K_n \cdot I}{7,85 \cdot F},$$

где число 7,85 обозначает массу в 1 см³ наплавленного металла (стали), г.

Следовательно, скорость сварки будет тем выше, чем выше коэффициент наплавки K_n и чем больше ток I .

Пример: $K_n = 11$ г/а·ч; $I = 300$ а; $F = 1,1$ см². Скорость сварки составит:

$$v = \frac{11 \cdot 300}{7,85 \cdot 1,1} = 382 \text{ см/ч, или } 3,82 \text{ м/ч.}$$

Глава IV

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ СВАРКЕ

§ 1. ОСОБЕННОСТИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ СВАРКЕ

Сварка отличается от других металлургических процессов следующими особенностями: а) происходит при высокой температуре нагрева; б) протекает с большой скоростью; в) характеризуется очень малыми объемами нагретого и расплавленного металла; г) при сварке имеет место быстрый отвод тепла от расплавленного металла сварочной ванны в прилегающие к ней зоны твердого основного металла; д) на расплавленный металл в зоне сварки действуют окружающие его газы и шлаки; е) в ряде случаев для образования металла шва используется присадочный металл, химический состав которого может значительно отличаться от состава основного металла.

Высокая температура при сварке сильно ускоряет процессы плавления электродного и основного металла, электродного покрытия и флюса. При этом происходит выделение газов (в основном за счет окисления углерода), испарение, разбрызгивание и окисление веществ, участвующих в химических реакциях в зоне сварки. Количество выделяющихся газов тем больше, чем больше поверхность капли, т. е. чем крупнее капли. Так, например, капля радиусом в 3 мм выделяет около 1 см³ газов, а капля радиусом 0,5 мм — только 0,005 см³.

Молекулы кислорода, азота, водорода при высоких температурах дуги частично распадаются на атомы (диссоциируют). В атомарном состоянии эти элементы обладают высокой химической активностью. Вследствие этого окисление элементов, насыщение металла азотом и поглощение водорода в процессе сварки протекают более интенсивно, чем при обычных металлургических процессах.

Малые объемы расплавленного металла в сварочной ванне и интенсивный отвод тепла в окружающий металл обуславливают кратковременность протекающих химических реакций, поэтому эти реакции не всегда могут полностью завершаться. С другой стороны, сильно ускоряются процессы затвердевания и кристаллизации металла шва, что существенно отражается на строении (структуре) металла шва, а также околосварочной зоны основного металла.

Химический состав, структура и плотность металла шва зависят от состава основного и присадочного металла, характера и состава газов, окружающих жидкий металл, режима сварки и прочих факторов.

Указанные особенности металлургических процессов при сварке затрудняют получение сварных швов высокого качества, особенно для металлов, чувствительных к быстрому нагреву и охлаждению, легко окисляющихся, склонных к образованию пористости, закалочных структур, трещин и других дефектов. Для сварки конструкций из таких металлов приходится применять специальную технологию и режимы, особые присадочные металлы, электроды, электродные покрытия, флюсы, в ряде случаев использовать предварительный и сопутствующий подогрев, а также последующую термическую обработку швов и в некоторых случаях — целых изделий.

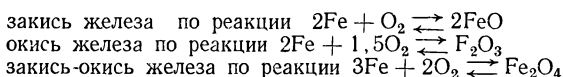
§ 2. ОСНОВНЫЕ РЕАКЦИИ В ЗОНЕ СВАРКИ

При ручной дуговой сварке электродами с толстым слоем покрытия химические реакции между металлом, шлаком и газами дуги протекают в момент перехода капель расплавленного металла электрода и покрытия через дуговой промежуток при температуре 2100—2300°C. Дальнейшие химические и физические процессы протекают в сварочной ванне. При сварке под флюсом основные химические реакции происходят только в сварочной ванне под слоем расплавленного флюса.

Рассмотрим основные реакции в зоне сварки для стали, как наиболее распространенного металла, подвергаемого сварке.

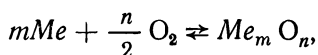
Окисление. Кислород является наиболее вредной примесью в зоне сварки, так как окисляет элементы, входящие в состав металла шва, и ухудшает его качество, образуя химические соединения — *окислы*. Окисление элементов в основном происходит за счет кислорода, содержащегося в газах и шлаках сварочной зоны. В меньшей степени окисление может быть вызвано кислородом поверхностных окислов свариваемого металла (окалины, ржавчины). При случайном увеличении длины дуги капли электродного металла могут окисляться кислородом окружающего воздуха.

С железом кислород образует три окисла:



При окислении сперва образуется закись железа, которая в дальнейшем при соответствующих условиях (температуре, соотношении кислорода и железа в сварочной ванне) может переходить в окись и закись-окись железа. При окислении железа в процессе сварки основное значение имеет закись железа, так как только она способна растворяться в жидком металле. Когда содержание кислорода в стали достигнет 0,035%; избыточный кислород будет выделяться из раствора в виде закиси-окси железа и располагаться между зернами металла.

В общем виде реакцию между элементом металла и кислородом можно выразить следующей формулой:



где Me — масса металла;

O_2 — масса кислорода;

m и n — численные коэффициенты формулы химической реакции.

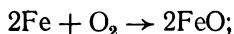
Стрелки указывают направление реакции: направо — окисление, налево — восстановление металла из его окисла (раскисление).

При сварке стали в первую очередь окисляется железо, поскольку оно является основным элементом в стали. Другие элементы, входящие в состав стали (углерод, кремний, марганец и др.), окисляются тем быстрее, чем больше химическое сродство данного элемента с кислородом. По степени уменьшения химического сродства с кислородом элементы могут быть поставлены в следующий ряд: алюминий, титан, кремний, марганец, хром, молибден, железо, никель, медь. Углерод при повышении температуры увеличивает активность к кислороду и при 1700°C превышает своей активностью титан, а при 2100°C — алюминий.

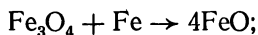
По мере уменьшения в зоне реакции концентрации элементов, обладающих большим сродством к кислороду, скорость их окисления падает. Соответственно возрастает скорость окисления других элементов, обладающих меньшим сродством с кислородом, которые начинают выгорать более интенсивно до тех пор, пока их концентрация не уменьшится до равновесной и не прекратится реакция окисления. Такой процесс последовательного увеличения скорости окисления отдельных элементов продолжается до тех пор, пока концентрации всех элементов не будут соответствовать равновесным, после чего процессы окисления металла в сварочной ванне прекратятся.

При сварке стали окисление железа может происходить вследствие следующих процессов:

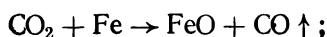
взаимодействия с кислородом воздуха по реакции



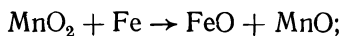
соединения с кислородом окисных пленок на свариваемых кромках, по реакции



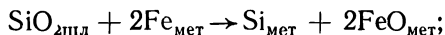
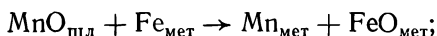
взаимодействия с элементами электродных покрытий при плавлении последних. Например, содержащийся в покрытии углекислый кальций $CaCO_3$ (мрамор, мел) участвует в реакции окисления, образуя



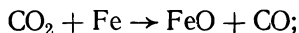
двуокись марганца MnO_2 окисляет железо по реакции



окислительно-восстановительных реакций на границе металл-шлак



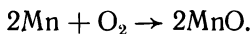
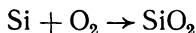
воздействия на жидкий металл сложных газов и паров воды по реакциям



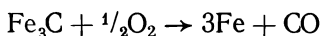
При сварке металла, покрытого ржавчиной, содержащаяся в ней влага испаряется, пары воды разлагаются на водород и атомарный кислород, который окисляет железо в закись железа FeO .

Если свариваемые кромки покрыты окалиной, то последняя при нагреве разлагается, выделяя кислород, окисляющий металл шва.

Кремний и марганец, обладающие большим сродством к кислороду, могут интенсивно окисляться (выгорать) при сварке стали. Реакции окисления этих элементов имеют следующий вид:



Окисление (выгорание) углерода при сварке протекает по уравнениям:



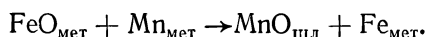
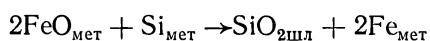
Присутствие кислорода в металле шва в виде твердого раствора или включений окислов в первую очередь оказывается на ухудшении механических свойств наплавленного металла: понижаются временное сопротивление, предел текучести, относительное удлинение, ударная вязкость. Кроме того, кислород снижает стойкость металла против коррозии, повышает склонность к старению, делает металл хладноломким и красноломким.

Таким образом, главным условием получения наплавленного металла высокого качества является защита его от окисления кислородом окружающей среды. Это достигается созданием вокруг расплавленного металла защитной среды из газов и шлаков, а также раскислением металла шва.

Раскисление. Процесс удаления кислорода из наплавленного металла с целью повышения его качества называется *раскислением*. Реакции раскисления выражаются теми же уравнениями, что и окисления, но протекают в обратном порядке, т. е. справа налево.

Раскисление осуществляется или взаимодействием между наплавленным металлом и шлаком, или путем введения в сварочную ванну элементов — *раскислителей*, обладающих бóльшим сродством с кислородом, чем железо. Благодаря защите расплавленного металла газами, шлаками и раскислению содержание кислорода в наплавленном металле при сварке толстопокрытыми электродами и под флюсом очень невелико и практически составляет 0,005—0,060%. При сварке же электродами с тонким (меловым) покрытием содержание кислорода в металле шва много выше и может достигать 0,25%. Для сравнения укажем, что содержание кислорода в электродной проволоке не превышает 0,018%. Раскислители вводят в состав сварочной проволоки или электродных покрытий и флюсов, откуда они поступают в сварочную ванну.

Раскисление кремнием и марганцем происходит по реакциям:



Образующиеся при этом двуокись кремния SiO_2 и закись марганца MnO плохо растворимы в жидком металле и переходят в шлак. Закись марганца способна растворять в себе до 60% закиси железа, выводя таким образом основное количество FeO в шлак.

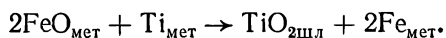
Оксиды по химическим свойствам могут быть кислые и основные. К кислым относятся: двуокись кремния SiO_2 и двуокись титана TiO_2 . К основным — окись кальция CaO , закись железа FeO , закись марганца MnO , окись натрия Na_2O , окись калия K_2O и окись магния MgO .

Основные окислы (FeO , MnO) могут вступать в реакцию с кислыми оксидами (SiO_2 , TiO_2), образуя соединения $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$, $2\text{MnO} \cdot \text{SiO}_2$ (силикаты) и $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ (титанаты). Эти соединения почти не растворимы в жидком металле и полностью остаются в шлаке, что способствует очистке металла от указанных окислов.

Если в шлаках преобладают кислые окислы, то такие шлаки, а также образующие их покрытия и флюсы, называются *кислыми*. Преобладание в шлаке основных окислов, наоборот, придает ему химические свойства основания. Соответственно, электродные покрытия и флюсы, дающие основные шлаки, называются *основными*.

При использовании кислых покрытий и флюсов для сварки сталей с повышенным содержанием кремния, марганца и хрома окислы этих элементов могут оставаться в металле шва, увеличивая содержание в нем кислорода, что приводит к снижению ударной вязкости. Поэтому для сварки таких сталей лучше использовать основные покрытия и флюсы. Такие покрытия и флюсы дают шлаки, содержащие преимущественно окись кальция CaO , которая не может отнимать кислород от окислов металла. Для раскисления наплавленного металла в основные покрытия и флюсы вводят ферросплавы: ферросилиций и ферротитан. В этом случае главными

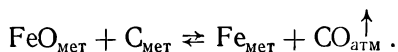
реакциями раскисления при основных покрытиях и флюсах будут: раскисление кремнием по приведенной выше реакции и раскисление титаном:



Эти реакции протекают без газообразования, и сварочная ванна остается спокойной. Поэтому покрытия основного характера называют также *спокойными*. Основные электродные покрытия дают наплавленный металл с высокими механическими свойствами.

Раскисление углеродом. С кислородом окислов углерод взаимодействует (главным образом) в момент расплавления электрода и только в зоне наиболее высоких температур сварочной ванны.

Раскисление углеродом происходит по реакции



Образовавшаяся газообразная окись углерода СО выделяется в атмосферу, вызывая сильное кипение сварочной ванны. Поэтому кислые покрытия иногда называют кипящими.

Если кремния в металле шва недостаточно, то раскисление будет происходить преимущественно за счет углерода с образованием СО, избыточное количество которой не успевает выделиться из твердеющего металла и остается в нем, образуя газовые поры. Для получения плотного беспористого шва необходимо подавлять реакцию окисления углерода повышением содержания кремния до 0,2—0,3% в металле сварочной ванны. При понижении содержания кремния в металле шва до 0,12% и ниже неизбежно образование большого количества пор.

Раскисление алюминием. Выше указывалось, что алюминий обладает большим сродством к кислороду. Однако окись алюминия Al_2O_3 не растворима в жидком металле и медленно переходит в шлак. Кроме того, алюминий способствует окислению углерода, что вызывает пористость шва. Поэтому алюминий как раскислитель при сварке стали применяется редко и вводится в металл шва только тогда, когда нужно уменьшить (подавить) реакции окисления других легкоокисляемых элементов, например, титана, имеющих меньшее сродство с кислородом, чем алюминий.

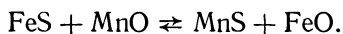
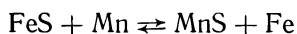
Влияние азота. Азот поглощается расплавленным металлом из окружающего воздуха. Под действием высоких температур сварочной дуги азот частично переходит в атомарное состояние и растворяется в жидком металле. В процессе охлаждения сварочной ванны азот выделяется из раствора и, взаимодействуя с металлом и его окислами, образует химические соединения, называемые *нитридами*: Fe_2N , Fe_4N , MnN , SiN и др. В присутствии кислорода способность азота проникать в металл увеличивается. Нитриды в структуре стали образуют мелкие кристаллы игольчатой формы.

Содержание азота в металле шва различно и зависит от вида сварки. Наибольшее содержание азота (до 0,2%) дает дуговая сварка длинной дугой и голыми электродами, наименьшее (0,002—0,01) — сварка под флюсом. При сварке покрытыми электродами содержание азота в металле шва составляет 0,01—0,04%, при сварке в среде аргона или углекислого газа — 0,02—0,03%, при сварке порошковой проволокой открытой дугой — 0,015—0,04%.

С увеличением тока содержание азота в наплавленном металле уменьшается.

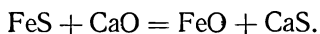
При газовой сварке содержание азота в металле незначительно и составляет 0,015—0,02%.

Влияние серы. Сера является вредной примесью в стали. Она образует сернистое железо (сульфид железа FeS), которое имеет температуру плавления более низкую, чем сталь. Поэтому при кристаллизации стали сернистое железо остается еще в жидком виде в прослойках между кристаллами сплава и является одной из причин образования горячих трещин при сварке. Серу удаляют введением марганца, который образует с ней химическое соединение — сернистый марганец MnS по реакциям:

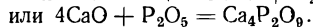
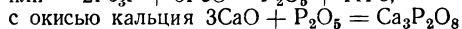
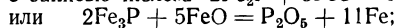
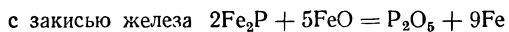


Сернистый марганец не растворяется в жидком металле и полностью переходит в шлак.

Удалению серы способствует также окись кальция; при этом происходит реакция



Влияние фосфора. Присутствие фосфора вызывает неоднородность металла шва, рост зерен и снижение пластичности, особенно при низких температурах (хладноломкость). Он присутствует в металле шва в виде фосфидов железа Fe₃P и Fe₂P. Удаление фосфора происходит при реакциях:



Получаемые соединения фосфора переходят в шлак. Основные шлаки лучше удаляют фосфор из металла, чем кислые.

Влияние водорода. Водород является вредной примесью в стали. При температуре дуги молекулы водорода диссоциируют; атомарный водород способен хорошо растворяться в наплавленном металле.

При остывании и затвердевании металла атомы водорода вновь соединяются в молекулы, которые собираются в отдельных местах шва, образуя газовые пузырьки. Водород не всегда успевает полностью выделиться из металла и вызывает появление в нем пори-

стости, мелких трещин и флокенов*. Сталь с флокенами является хрупкой, в изломе флокены имеют вид светлых пятен и не выявляются обычными методами контроля сварных швов без разрушения.

Источником насыщения металла водородом является влага, содержащаяся в электродном покрытии, флюсах и окружающем воздухе или находящаяся на поверхности свариваемого металла в виде воды, снега, инея. Кроме того, водород содержится в ржавчине, которая может быть на сварочной проволоке или кромках металла.

Чтобы предотвратить насыщение металла водородом при сварке стали, необходимо.

1. Обеспечить минимальное содержание влаги в покрытии и флюсах, в окружающей шов атмосфере и на кромках металла. С этой целью применяемые для сварки электроды следует тщательно просушивать путем прокалки. Для покрытий основного типа (УОНИ и др. см. гл. V) прокалку ведут при 350°C в течении 5 ч. Хранить электроды следует в сухом месте, а при их увлажнении вновь подвергать прокалке перед выдачей сварщику. Сварщики при работе на открытом воздухе должны иметь герметически закрывающиеся футляры для хранения электродов. При работе под дождем и снегом места сварки должны быть надежно защищены от попадания влаги палатками из брезента, фанеры и других материалов.

Перед сваркой необходимо тщательно протирать и просушивать кромки металла, не оставляя на них влаги.

При сварке труб концы их нужно закрывать деревянными пробками, чтобы не допустить циркуляции влажного воздуха внутри трубы и подсоса его из трубы в шов.

2. Использовать проволоку без ржавчины и удалять ржавчину с кромок свариваемого металла.

3. Стараться не применять многопроходных швов при автоматической сварке под флюсом, так как при наложении последующих слоев водород насыщает нижележащие слои в момент их расплавления.

Легирование металла шва. *Легированием* называется процесс выведения в сплав элементов, придающих ему требуемые свойства. Путем легирования металл шва пополняют элементами, содержание которых уменьшилось по сравнению с нормой вследствие выгорания их при сварке. Для придания металлу шва особых свойств (повышенной прочности, твердости, жаростойкости, коррозионной стойкости и др.) его можно легировать дополнительными элементами, не содержащимися в основном металле. Легирующие элементы — марганец, хром, никель, титан, молибден и др. вводят или в состав проволоки электрода, или в его покрытие, или во флюс.

* Флокены или «рыбы глаза», — особый дефект сварных швов; встречаются на поверхности излома и имеют вид небольшого светлого пятна с очень малой полостью в центре.

Вводимые элементы при сварке частично выгорают (окисляются) и поэтому не полностью переходят в металл шва, что учитывают, рассчитывая количество этих элементов при легировании. Большшему выгоранию подвергаются элементы, вводимые в покрытие и флюс, и меньшему — в сварочную проволоку. Чем лучше раскислен наплавленный металл, тем большее количество легирующего элемента им усваивается. Степень усвоения вводимых элементов также зависит от тонкости помола частей покрытия, рода, полярности и величины тока, длины дуги и других факторов. С понижением сродства элемента с кислородом степень его усвоения металлом при легировании возрастает.

§ 3. КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА

Процессы кристаллизации наплавленного металла происходят в сварочной ванне, которая представляет собой объем расплавленного металла, перемещающийся вместе со сварочной дугой вдоль шва со скоростью сварки. Она имеет в продольном сечении форму, показанную на рис. 32 сверху. В головной части ванны глубже, так как здесь жидкий металл находится под давлением дуги P_d , обусловленным давлением газов, ударами заряженных частиц о поверхность металла и электромагнитным дутьем дуги. Глубина ванны зависит от плотности тока и скорости сварки, возрастающая с повышением плотности и уменьшением скорости.

Размеры ванны (мм) примерно следующие:	Длина	Ширина	Глубина
При ручной дуговой сварке	20—30	8—12	2—3
При сварке под флюсом	80—120	20—30	15—20

Жидкий металл ванны находится в непрерывном движении и перемешивании. Давлением дуги он вытесняется со дна ванны на ее боковые поверхности, образуя кратер. Жидкий металл откладывается отдельными порциями и давление дуги периодически изменяется, отчего при затвердевании металла шва на его поверхности образуются волны (чешуйки). Чем толще слой шлака над расплавленным металлом шва, тем чешуйки будут тоньше, а поверхность шва — более ровной и чистой. Особенно чистой поверхность шва получается при автоматической сварке под флюсом.

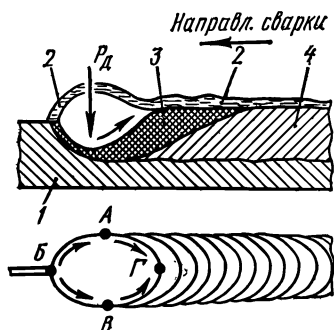


Рис. 32. Сварочная ванна:

1 — основной металл, 2 — шлак, 3 — жидкий металл шва, 4 — затвердевший металл шва

Время, в течение которого металл ванны находится в жидком состоянии, зависит от способа и скорости сварки. Например, при ручной сварке током 150—200 а со скоростью от 3 до 11 м/ч это время составляет от 24 до 6,5 сек;

при автоматической под флюсом со скоростью 50 м/ч — 4,4 сек. По линии *АВВ* ванны (см. рис. 32) протекает процесс плавления основного металла, а по линии *ВГА* — кристаллизации металла шва.

Кристаллизацией называется процесс образования зерен (кристаллитов) расплавленного металла при переходе его из жидкого состояния в твердое. Это, так называемая, *первичная* кристаллизация. Существует еще вторичная кристаллизация, при которой происходит изменение структуры уже затвердевшего металла.

Первичная кристаллизация металла шва начинается в результате его охлаждения при отводе тепла в толщу твердого металла, окружающего сварочную ванну. Сначала возникают отдельные центры кристаллизации, а от них начинают расти уже сами кристаллы, образующие зерна металла. Первичная кристаллизация зарождается в первую очередь по линии сплавления *I—II* (рис. 33, *а*), на границах частично оплавленных зерен твердого металла, так как именно здесь начинается охлаждение ванны. Кристаллы растут в сторону толщи металла шва, как показано стрелкой, перпендикулярно плоскости отвода тепла. Количество, форма и расположение зерен зависят от места зарождения центров кристаллизации, скорости роста зерен, скорости охлаждения и направления отвода тепла, а также от наличия в расплавленном металле посторонних включений.

При затвердевании металла сварочной ванны (рис. 33, *б*) сначала возникают быстрорастущие кристаллы вследствие интенсивного отвода тепла в основной металл. Между ними появляются более мелкие и медленнее растущие кристаллы, поскольку от них тепло отводится не так быстро. Затем зерна смыкаются и из них продолжают расти только те, которые расположены перпендикулярно поверхности раздела между твердым и жидким металлом. При уменьшении скорости охлаждения центры кристаллизации возникают более равномерно по всему объему металла, а зерна растут во все стороны. Первичная кристаллизация металла шва протекает периодически и при специальном травлении в нем можно различить слоистое строение.

Металл шва в результате первичной кристаллизации получает или *гранулярную* (зернистую) структуру, при которой зерна не имеют определенной ориентировки, а по форме напоминают многогранники, или *столбчатую* и *дендритную** структуру, при которой зерна вытянуты в одном направлении (рис. 33, *в*). При столбчатой структуре зерна имеют компактную вытянутую форму, при дендритной — ветвистую, напоминающую дерево. Дендриты обычно располагаются в столбчатых зернах, являясь их основой.

Чем быстрее охлаждение металла, тем больше образуется центров кристаллизации и тем мельче будут зерна. При медленном

* От французского слова «дендрон» — дерево.

охлаждении в процессе затвердевания металл приобретает крупнозернистое строение. Столбчато-дендритная структура с крупными зернами (см. рис. 33, в) характерна для сварки под флюсом, где охлаждение металла шва происходит медленнее, чем при ручной сварке. Гранулярная структура присуща сварке покрытыми электродами. Она может быть крупной и мелкой, в зависимости от условий охлаждения и кристаллизации. Мелкозернистая гранулярная структура повышает механические свойства наплавленного металла.

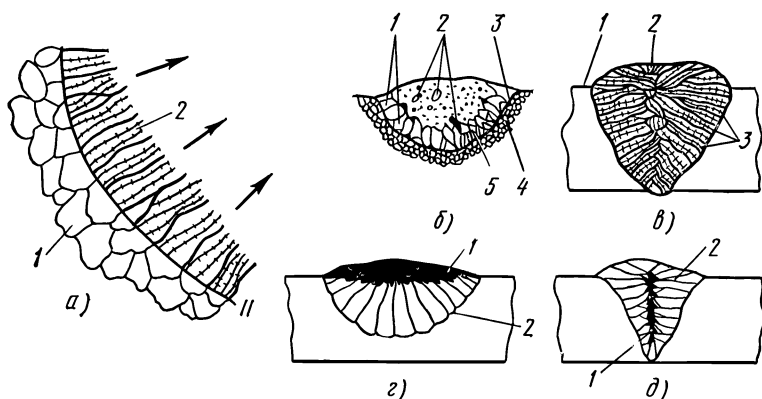


Рис. 33. Схемы кристаллизации и строения металла шва:

а — образование кристаллов на границе расплавления (линия *1—II*): *1* — основной металл, *2* — металл шва; *б* — схема кристаллизации металла шва при ручной сварке покрытыми электродами: *1* — кристаллы с большой скоростью роста, *2* — неметаллические включения (шлаки), *3* — линия расплавления, *4* — основной не-расплавленный металл, *5* — кристаллы с малой скоростью роста, *в* — схема столбчатой (дендритной) структуры сварного шва при сварке под флюсом: *1* — основной металл, *2* — металл шва, *3* — зерна дендритов; *г* — направление роста кристаллов в широком шве: *1* — неметаллические включения, *2* — зерна металла; *д* — направление роста кристаллов в узком шве: *1* — основной металл, *2* — зерна металла

Зерна основного металла отличаются по форме от зерен металла шва тем, что они деформированы и вытянуты в направлении прокатки.

Находящиеся в жидком металле примеси и загрязнения (окислы, шлаки и др.) имеют более низкую температуру затвердевания, чем металл, и при застывании располагаются по границам зерен, ухудшая их сцепление между собой. Это снижает прочность и пластичность наплавленного металла. Чем чище наплавленный металл, тем выше его механические свойства.

Форма шва имеет значение для направления кристаллизации и расположения неметаллических включений. При широких швах (рис. 33, *г*) эти включения вытесняются вверх и могут быть легко удалены; при узких швах (рис. 33, *д*) включения часто остаются в середине шва между зернами.

§ 4. СТРОЕНИЕ СВАРНОГО ШВА

Рассмотрим вопрос о строении сварного шва на примере сварки низкоуглеродистой стали, имеющей наибольшее применение в сварных конструкциях.

На тщательно отшлифованной поверхности разреза сварного шва, протравленной специальным раствором*, можно ясно видеть отдельные участки, имеющие различное строение зерен и называемые *зонами сварного шва*. Эти зоны следующие.

Основной металл, который в процессе сварки нагревается и частично расплавляется. Чем выше температура нагрева, тем большие изменения будет претерпевать металл. В той зоне основного металла, где температура нагрева углеродистой стали не превышает 720°C , сталь сохраняет те же свойства, которыми она обладала до сварки.

Металл шва образуется в результате кристаллизации расплавленных основного и электродного (присадочного) металла. Доля электродного металла шва составляет при ручной дуговой сварке от 50 до 70%, при сварке под флюсом от 30 до 40%. Химический состав металла шва может значительно отличаться от состава основного металла вследствие химических реакций и перемешивания, происходящих в сварочной ванне. На химический состав металла шва влияет также состав покрытия, флюса, режим сварки, защита дуги от окружающей атмосферы и пр.

Зона сплавления, расположенная на границе между основным и наплавленным металлом. Если зерна основного и наплавленного металла хорошо срослись и как бы проникают друг в друга, то такие швы обладают наибольшей прочностью. Зона сплавления имеет очень малую ширину и трудно различима, так как сливается с границей шва. Если между зернами основного металла и металла шва имеется пленка окислов, то в этом месте шов обладает пониженной прочностью из-за нарушения сцепления частиц основного и наплавленного металла.

Зона влияния. За зоной сплавления располагается участок основного металла, где он не изменяет своего первоначального химического состава. Однако структура основного металла, на этом участке меняется под влиянием нагревания при сварке. Этот участок носит название зоны термического (теплового) влияния или просто зоны влияния.

Строение зоны влияния при ручной дуговой сварке низкоуглеродистой стали схематически показано на рис. 34, а. Рядом с металлом шва расположена зона сплавления, с которой граничит участок перегрева. Здесь основной металл уже не нагревается до температуры плавления, хотя температура его достаточно высока и лежит в пределах $1100\text{--}1500^{\circ}\text{C}$, что вызывает значительный рост зерен на данном участке, и почти всегда сопровождается

* Например, для низкоуглеродистых и низколегированных сталей 10 вес. ч. азотной кислоты и 90 вес. ч. воды.

образованием игольчатой (видманштеттовой) структуры. Эта часть шва обычно является наиболее слабым местом и металл здесь обладает наибольшей хрупкостью, хотя это существенно не влияет на прочность сварного соединения в целом, за исключением тех случаев, когда перегрев значителен.

По мере удаления от оси шва температура металла понижается. В пределах температур 900—1100°С находится участок нормализации,

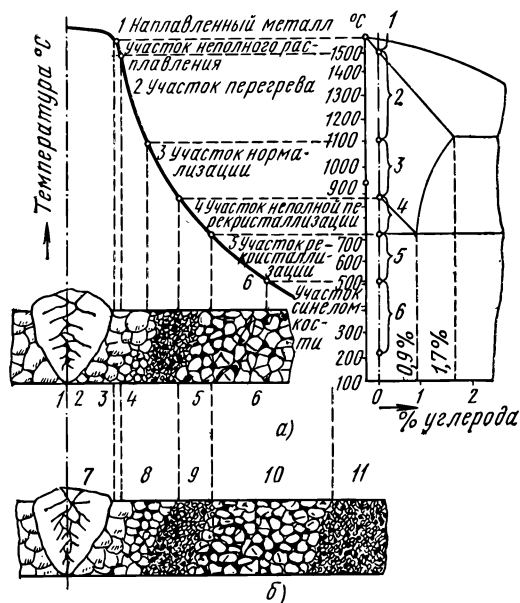


Рис. 34. Схемы строения зоны влияния при ручной дуговой сварке низкоуглеродистой стали (а) и среднеуглеродистой или низколегированной стали (б). Цифрами 1, 2, 3, 4 и т. д. обозначены одни и те же участки на разрезе шва, на кривой и шкале температур на диаграмме

лидации, характеризующийся наиболее мелкозернистым строением, так как здесь температура нагрева лишь незначительно превышает критическую* температуру. На участке нормализации металл сварного соединения обладает наибольшей прочностью и пластичностью.

Следующий участок основного металла, лежащий в пределах температур 720—900°С, подвержен лишь частичному изменению структуры и потому называется участком неполной перекристаллизации. В нем наряду с довольно крупными зернами имеются скопления мелких зерен. В этой части металла подведенного тепла уже оказалось недостаточно для перекристаллизации и измельчения всех зерен.

Участок, соответствующий нагреву от 500 до 720°С, называется участком рекристаллизации; в нем структура стали не изменяется, а происходит лишь восстановление прежней формы и размеров зерен, разрушенных и деформированных при прокатке металла. При дальнейшем понижении температуры от 500°С и ниже нельзя заметить признаков теплового воздействия на основной металл.

Наименьшую ширину (около 2,5 мм) зона термического влияния

* Критической называется температура, при которой происходит превращение феррита в аустенит. Для чистого железа она равна 910°С, для стали, содержащей 0,9% углерода, 720°С.

имеет при ручной дуговой сварке голыми и тонкопокрытыми электродами. При ручной сварке толстопокрытыми электродами зона влияния больше и составляет 5—6 мм. При газовой сварке она наибольшая и достигает 25—27 мм. Ширина зоны влияния зависит от основных условий процесса сварки, определяемых толщиной и видом свариваемого металла (величины тока, скорости сварки, условий отвода тепла от места сварки). Так, например, при автоматической сварке низкоуглеродистой стали толщиной 40 мм, со скоростью 10—12 м/ч, током 2000—2500 а ширина зоны влияния достигает 8—10 мм; при автоматической сварке этой же стали толщиной 2 мм, током 1200—1400 а, при скорости 360 м/ч ширина зоны влияния всего 0,5—0,7 мм.

При сварке среднеуглеродистых и низкоуглеродистых сталей, склонных к закалке, структура металла в зоне влияния будет несколько иной (рис. 34, б). В этом случае за участком сплавления будут расположены (в направлении слева — направо): 8 — участок закалки, 9 — участок неполной закалки, 10 — зона отпуски, 11 — основной металл.

Глава V

ЭЛЕКТРОДЫ ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ

Качество, свойства наплавленного металла и производительность сварки или наплавки зависят от правильного выбора металла электродного стержня и состава электродного покрытия.

В зависимости от способа дуговой сварки используются электроды: стальные, чугунные, из цветных металлов и сплавов, вольфрамовые, угольные и графитизированные. Преимущественное применение имеют стальные электроды, поскольку сварные конструкции чаще всего изготовляют из стали.

При сварке и наплавке стали и чугуна в настоящее время широкое применение получила порошковая проволока (круглого и плоского сечений), состоящая из тонкой стальной оболочки, в которую запрессована порошкообразная смесь из ферросплавов и железного порошка.

§ 1. СВАРОЧНАЯ ПРОВОЛОКА

Из сварочной проволоки изготовляют стержни плавящихся электродов с покрытием. При сварке под флюсом и в среде защитных газов сварочная проволока используется в качестве плавящегося электрода без покрытия.

Согласно ГОСТ 2246-70 сварочная проволока выпускается диаметром 0,3; 0,5; 0,8; 1; 1,2; 1,4; 1,6; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10 и 12 мм. Наиболее распространена проволока диаметром 2—5 мм. Проволока поставляется в мотках (бухтах) весом 1,5—40 кг, из которых после правки нарезают стержни для электродов требуемой длины.

ГОСТ предусматривает выпуск проволоки из сталей 77 марок, различных по химическому составу:

а) углеродистых, содержащих до 0,12% углерода и предназначенных для сварки мало и среднеуглеродистых, а также некоторых низколегированных сталей; это проволоки марок Св-08, Св-08А, Св-08АА, Св-08ГА, Св-10ГА, Св-10Г2;

б) легированных марганцем, кремнием, хромом, никелем, молибденом, титаном, ванадием, ниобием, алюминием, цирконием, церием, применяемая для сварки низколегированных сталей соответствующих марок; к ним относятся проволоки Св-08ГС, Св-08Г2С, Св-12ГС и др., всего 30 марок;

в) высоколегированных, для сварки специальных сталей и наплавки; это проволоки Св-06Х14, Св-12Х13, Св-06Х19Н9Т и др.; всего 41 марка.

Химический состав сварочной проволоки некоторых марок по ГОСТ 2246—70

Вид стали и марка проволоки	Содержание элементов, %						Примерное назначение	
	углерод	марганец	кремний	хром	никель	сера		фосфор
						не более		
Низкоуглеродистая Св-08	Не более 0,10	0,35—0,60	Не более 0,03	Не более 0,15	Не более 0,30	0,04	0,04	
						Общее, для швов повышенной пластичности и вязкости		
Низкоуглеродистая Св-08ГА	Не более 0,10	0,80—1,10	Не более 0,03	Не более 0,10	Не более 0,25	0,025	0,03	
						Общее, для швов повышенной прочности, высокой пластичности		
Легированная Св-08ГС	Не более 0,10	1,4—1,7	0,60—0,85	Не более 0,20	Не более 0,25	0,025	0,03	
						Для сварки малоуглеродистой стали в углекислом газе		
Легированная Св-08Г2С	0,05—0,11	1,8—2,1	0,70—0,95	Не более 0,20	Не более 0,25	0,025	0,03	
						Для сварки ответственных конструкций из малоуглеродистых и низколегированных сталей в углекислом газе		
Легированная Св-18ХГС	0,15—0,22	0,8—1,1	0,9—1,2	0,8—1,1	Не более 0,30	0,025	0,03	
				Для сварки низколегированных сталей в углекислом газе				
Высоколегированная Св-06Х19Н9Т	Не более 0,08	1,0—2,0	0,4—1,0	18,0—20,0	8,0—10,0 титана 0,5—1,0	0,015	0,03	
						Для сварки хромоникелевой аустенитной стали		

Составы стали для проволок некоторых марок (ГОСТ 2246-70) приведены в табл. 2. Условные обозначения элементов в марке проволоки — буквенные: А — азот (только в высоколегированных проволоках), Б — ниобий, В — вольфрам, Г — марганец, Д — медь, М — молибден, Н — никель, С — кремний, Т — титан, Ф — ванадий, Х — хром, Ц — цирконий, Ю — алюминий. Цифры после букв Св (что означает «сварочная») указывают среднее содержание углерода в сотых долях процента. Цифры после буквенных обозначений элементов указывают среднее содержание данного элемента в процентах. Если после буквы цифра не проставлена, то содержание элемента меньше 1%. В проволоках из низкоуглеродистой и легированных сталей буква А в конце обозначения марки указывает на повышенную чистоту металла по содержанию серы и фосфора. В проволоке Св-08АА двоякая буква А указывает на пониженное содержание серы и фосфора по сравнению с проволокой Св-08А.

Различные виды проволок имеют условное обозначение: для изготовления электродов — Э, омедненная — О, электрошлаковая — Ш, вакуум-дуговая — ВД, вакуум-индукционная — ВИ. Например, обозначение проволоки «4Св-08А-О ГОСТ 2246-70» расшифровывается так: проволока диаметром 4 мм, сварочная марки 08А, омедненная, по ГОСТ 2246-70. Обозначение «5Св-04Х19Н9» указывает, что проволока имеет диаметр 5 мм, марку 04Х19Н9, предназначена для изготовления электродов.

Для автоматической наплавки выпускается также стальная проволока 28 марок по ГОСТ 10543-63 (см. гл. XIX, § 1).

Поверхность проволок должна быть чистой и гладкой, без окалин, ржавчины и масла. Каждая поставляемая партия проволоки должна сопровождаться сертификатом, в котором указываются: название предприятия-поставщика, наименование проволоки и марка стали, химсостав стали, результаты испытаний, вес, номер ГОСТа и другие необходимые данные.

Для сварки алюминия и его сплавов выпускается проволока по ГОСТ 7871-63, диаметром от 0,8 до 12 мм из алюминия (Св-АВ00, Св-А1), из алюминиево-марганцевого сплава (Св-АМц), из алюминиево-магниевого сплава (Св-АМг-3, Св-АМг-5, Св-АМг-6, Св-АМг-7) и из алюминиево-кремнистого сплава (Св-АК-3, Св-АК-5, Св-АК-10, Св-АК-12). Тянутая алюминиевая проволока поставляется в бухтах, а прессованная может поставляться в прутках длиной не менее 3 м. Поставляемая проволока снабжается паспортом согласно ГОСТ.

§ 2. ЭЛЕКТРОДНЫЕ ПОКРЫТИЯ

Электродные покрытия в процессе сварки выполняют следующие функции: стабилизируют горение дуги, защищают расплавленный металл от кислорода и азота воздуха, легируют наплавленный металл нужными элементами.

Стабилизирующие покрытия. Состоят из веществ, атомы которых легко ионизируются. Они поддерживают горение дуги, облег-

чают ее возбуждение при непрерывном изменении полярности переменного тока. Такие покрытия называют также ионизирующими или тонкими. Они наносятся на проволоку слоем в 0,1—0,3 мм в количестве 1—2% от веса проволоки.

Исследования акад. К. К. Хренова показали, что наиболее легко ионизируются и обеспечивают устойчивость дуги пары калия, содержащегося в природных минералах (граните, полево шпате) и химических веществах (хромате и бихромате калия, поташе, калиевой селитре), а также кальция, который в виде углекислого кальция CaCO_3 входит в состав мрамора и мела.

Из ионизирующих покрытий наиболее простым является меловое; на 80—85 вес. ч. мела берется 15—20 вес. ч. жидкого стекла. Хорошие результаты дает покрытие А-1, разработанное Институтом электросварки им. Е. О. Патона и имеющее состав: 81% титановой руды (концентрат), 10% марганцевой руды, 9% селитры калиевой, 15% жидкого стекла к весу сухой части покрытия.

Жидкое стекло представляет собой склеивающее вещество, применяемое для электродных покрытий. Жидкое стекло является силикатом — солью кремниевой кислоты щелочных металлов (натрия или калия). Обычно используют натровое жидкое стекло — силикат натрия, химическая формула которого $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$. Отношение $m = \frac{\text{Si}_2\text{O}}{\text{Na}_2\text{O}}$ называется *модулем* жидкого стекла. Чем выше модуль, тем больше клейкость жидкого стекла. Для электродных покрытий применяется жидкое стекло с модулем от 2,2 до 3. Калиевое жидкое стекло вводится в некоторые покрытия для повышения устойчивости горения дуги.

Ионизирующие тонкие покрытия не защищают наплавляемый металл от кислорода и азота атмосферного воздуха. Электроды с такими покрытиями дают сравнительно хрупкий, неплотный наплавленный металл, загрязненный посторонними включениями.

Тонкие покрытия использовали в начальный период промышленного внедрения дуговой сварки на переменном токе, когда теория металлургических процессов сварки еще только разрабатывалась, а производство электродов с защитными покрытиями и номенклатура их были крайне ограничены.

Защитные* покрытия. Такие покрытия служат для: а) повышения устойчивости горения дуги; б) создания защитной оболочки из шлака и газов для предохранения проходящих через дугу капель жидкого металла от кислорода и азота окружающего воздуха; в) образования слоя шлака на поверхности сварочной ванны и металла шва для его защиты от газов окружающего воздуха, раскисления и замедления остывания; г) введения в металл шва дополнительных легирующих элементов для улучшения его свойств.

Защитные покрытия позволяют получать плотный, прочный и вязкий наплавленный металл без пор, раковин и шлаковых включений, не уступающий по механическим свойствам основному метал-

* Их называют также толстыми или качественными покрытиями.

лу. Их наносят на проволочный стержень слоем толщиной от 0,7 до 2,5 мм. Вес защитного покрытия составляет от 10 до 100% (в среднем 30—50%).

Для высоколегированной проволоки длина электродов меньше: при диаметре 2,5 и 3 мм равна 250 мм, при диаметре 4 мм — 350 мм, при диаметрах от 5 до 12 мм — 350 или 450 мм. Электроды диаметром 1,6 и 2 мм имеют длину 225 или 250 мм. Один конец стержня, которым электрод вставляется в электрододержатель, остается непокрытым на длине 20—35 мм.

В безогарковых электродах покрытие наносится по всей длине электрода, который с обоих концов зачищается на конус. В этом случае длина электрода диаметром 4—6 мм обычно равна 350 мм.

Защитные покрытия должны удовлетворять следующим требованиям:

1. При плавлении образовывать жидкий защитный шлак и газы.
2. Температура плавления покрытия должна быть близка к температуре плавления металла электрода и лежать в пределах 1100—1200°С (при сварке стали).
3. Обеспечивать устойчивое горение дуги на переменном токе (этому требованию отвечают не все покрытия).

4. Прочно держаться на электроде, покрывая его плотным и равномерным слоем, без отслаивания или растрескивания.

5. Быть возможно более водоупорным и не портиться от воздействия влажного воздуха.

6. Шлак должен получаться не слишком вязким и легко растекаться по наплавленному металлу, покрывая его равномерным слоем. Правильно подобранная вязкость шлака имеет важнейшее значение для создания наиболее благоприятных условий протекания металлургических процессов при сварке.

7. Шлак должен обладать раскисляющими (восстановительными) свойствами по отношению к окислам металла.

8. Застывший шлак должен иметь большую усадку, чем металл шва, и поэтому легко отделяться от поверхности шва.

9. При плавлении электродов во время вертикальной и потолочной сварки шлак должен быстро затвердевать, образуя козырек, удерживающий капли металла от стекания вниз.

10. Покрытия не должны содержать примесей, вредно влияющих на качество металла шва (серы, фосфора, влаги и др.).

Светскими учеными разработана теория металлургических процессов, позволяющих рассчитывать составы электродных покрытий в соответствии с предъявляемыми требованиями к свойствам наплавленного металла.

Применяемые для приготовления защитных электродных покрытий вещества могут быть классифицированы на следующие группы.

Шлак о б р а з у ю щ и е — минеральные вещества, содержащие окислы металлов (руды): титановую руду (ильменит), обогащенную титановую руду (титановый концентрат), природную двуокись титана (рутил), марганцевую руду (пиролюзит), полевой шпат, плавленый шпат, фарфоровую глину (каолин), кварц, гранит.

Газообразующие. Применяют вещества органического происхождения, такие как крахмал, древесную муку, декстрин, пищевую муку, целлюлозу, древесный уголь, хлопчатобумажную пряжу; при разложении они выделяют H_2 и CO . В качестве газообразующих используют также неорганические вещества, так называемые карбонаты: мел, мрамор $CaCO_3$, известняк, доломит, магнезит $MgCO_3$ и др., которые при разложении выделяют углекислый газ CO_2 .

Раскислители — ферромарганец, ферросилиций, ферротитан, ферромolibден, алюминий.

Легирующие — ферромарганец, ферросилиций, феррохром, ферротитан, ванадий, молибден, вольфрам, ниобий, бор и реже окислы металлов (окись меди, окись хрома, углекислый никель и др.). Основным легирующим веществом в большинстве покрытий является ферромарганец, который служит одновременно раскислителем. Марганцевая руда также используется как легирующее вещество в покрытии, увеличивая содержание марганца в металле шва. Для легирования углеродом в покрытие вводят графит.

Связующие придают покрытию вид пасты и после затвердевания прочно удерживают его на стержне. Для этой цели применяют жидкое стекло, реже — декстрин.

Стабилизирющие — поташ (K_2CO_3), калиевое жидкое стекло.

Некоторые вещества, входящие в состав покрытия, выполняют в нем несколько функций. Например, мрамор, мел, доломит служат не только газообразующими, но и шлакообразующими веществами. Полевой шпат, жидкое стекло служат стабилизаторами горения дуги и одновременно являются шлакообразователями. Ферросплавы используются как для раскисления, так и легирования металла шва.

Защитные покрытия принято классифицировать по виду основных веществ, входящих в них и определяющих действие покрытия на металл сварочной ванны. По этому признаку все покрытия делят на 4 группы: руднокислые (Р); рутиловые (Т); фтористокальциевые (Ф); органические или газозащитные (О).

Руднокислые покрытия состоят в основном из окислов марганца, кремния, железа, иногда с добавками TiO_2 . Газовая защита создается добавлением в покрытие органических веществ. В качестве раскислителя в покрытие вводится ферромарганец. Руднокислые покрытия пригодны для сварки низкоуглеродистых конструкционных сталей на постоянном и переменном токе, во всех пространственных положениях. Они не пригодны для сварки среднеуглеродистых и легированных сталей, а также в сочетании с проволокой из спокойной стали. К этому типу относятся покрытия ОММ-5, ЦМ-7, ЦМ-7с, МЭЗ-04 и др. Руднокислые покрытия мало чувствительны к наличию ржавчины и окалина на кромках свариваемого металла.

При сварке электродами с этими покрытиями происходит насыщение наплавленного металла кислородом и водородом в большей степени, чем при фтористокальциевых покрытиях. Поэтому ударная вязкость металла шва при сварке низкоуглеродистой стали

не превышает $12\text{--}14 \text{ кгс} \cdot \text{м/см}^2$, а после старения снижается на 60—70%. Металл шва склонен к горячим трещинам, особенно при повышенном содержании серы и углерода. При сварке имеет место повышенное разбрызгивание. При введении активных раскислителей (кремния, алюминия) в проволоку или покрытие шов может получиться пористым.

Руднокислые покрытия обладают повышенной токсичностью, так как при плавлении выделяют вредные для организма окислы марганца.

Электроды с руднокислыми покрытиями типов ОММ-5 и ЦМ-7 продолжительное время являлись основными для сварки низкоуглеродистой стали и выпускались в больших количествах, но затем их сняли с производства из-за ряда недостатков, указанных выше.

Взамен их в настоящее время электродной промышленностью выпускаются более качественные и менее токсичные электроды с рутиловыми покрытиями ОЗС-3, ОЗС-4, ОЗС-6, разработанные Московским опытно-сварочным заводом. Электроды ОЗС-4 заменяют электроды ОММ-5, а электроды ОЗС-3 и ОЗС-6 выпускаются взамен ЦМ-7 и ЦМ-7с.

Рутиловые покрытия (МР-3, ЦМ-9, ОЗС-3, ОЗС-4 и др.) в качестве основной шлакообразующей части содержат от 30 до 50% рутила (диоксида титана TiO_2) с добавками шлакообразующих элементов (полевого шпата, магнезита и др.). Для создания газовой защиты дуги в покрытие вводят от 2 до 8% органических веществ — целлюлозы, декстрина и от 15 до 25% карбонатов (мрамор, мел, магнезит), а для раскисления 10÷15% ферросплавов: ферромарганца, ферросилиция. Для повышения коэффициента наплавки в эти покрытия иногда вводят железный порошок (покрытие ОЗС-3 и др.). Рутиловые покрытия обеспечивают устойчивое горение дуги на переменном токе, малочувствительны к изменению длины дуги, наличию окалины и ржавчины; они нетоксичны, так как почти не выделяют при сварке вредных газов и паров. Электроды с рутиловыми покрытиями являются универсальными и в настоящее время широко применяются для сварки ответственных изделий. Выпуск электродов с рутиловым покрытием превышает 75% общего выпуска электродов в стране.

Фтористокальциевые покрытия не содержат окислов железа и марганца; их основной частью является углекислый кальций (мрамор CaCO_3) и плавиковый шпат (флюорит CaF_2). При разложении CaCO_3 в процессе нагрева и плавления покрытия образуется газовая защита из CO_2 и CO . В качестве раскислителей в эти покрытия вводятся ферросилиций, ферромарганец, ферротитан, алюминий. Для легирования шва могут вводиться металлические порошки. К этому типу относятся покрытия УОНИ-13, ЦУ-1, ЦЛ-9, ОЗС-2, ВН-48, СМ-11 и др.

Фтористокальциевые покрытия дают наплавленный металл с меньшим содержанием кислорода и водорода, мало склонный к старению и образованию кристаллизационных и холодных трещин, обладающий высокой пластичностью и ударной вязкостью. Поэтому

электроды с этими покрытиями применяют при сварке стали больших толщин и изготовлении ответственных конструкций.

При использовании электродов с фтористокальциевыми покрытиями дуга должна быть предельно короткой. При сварке длинной дугой, а также при наличии на основном металле ржавчины, окалины, или при повышенной влажности покрытия металл шва может получаться пористым. Фтористокальциевые покрытия обеспечивают повышенное усвоение металлом шва легирующих примесей — марганца, хрома и молибдена, которые в этом случае почти не выгорают. Поэтому все электроды для сварки легированных сталей и специальных сплавов, а также для наплавки имеют фтористокальциевые покрытия.

Недостатком фтористокальциевых покрытий является наличие в них плавикового шпата, снижающего устойчивость горения дуги; поэтому при сварке ими применяют постоянный ток обратной полярности. Для сварки на переменном токе в эти покрытия вводят поташ или калиевое жидкое стекло, чтобы повысить устойчивость горения дуги.

Органические (газозащитные) покрытия дают небольшое количество шлаков и поэтому пригодны для сварки вертикальных потолочных и труднодоступных швов, а также стали малых толщин (до 3 мм). В защитной среде газов содержится много водорода, что обеспечивает восстановление окислов и улучшает качество наплавленного металла, но может вызвать образование пор. Основными компонентами этих покрытий являются: пищевая мука, целлюлоза и другие органические вещества. К органическим относятся, например, покрытия ОМА-2, ОЗЦ-1 и др. Электроды с покрытием ОМА-2 обладают малой проплавливающей способностью и предназначены для сварки стали малых толщин (0,8—3 мм) на постоянном и переменном токе. Покрытие ОЗЦ-1 требует применения постоянного тока обратной полярности.

Типы электродов. Ввиду большого разнообразия применяемых покрытий электроды по ГОСТ делятся на типы не по составу покрытий, а по назначению электродов и механическим свойствам (прочности и пластичности) металла шва (наплавленного металла) и сварного соединения, получаемых при сварке электродами данного типа*.

В промышленности применяются электроды, выпускаемые по следующим ГОСТам:

ГОСТ 9467-60 — «Электроды металлические для дуговой сварки конструкционных и теплоустойчивых сталей. Типы».

ГОСТ 10051-62 — «Электроды металлические для дуговой наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами. Типы».

ГОСТ 10052—62* — «Электроды металлические для дуговой сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами. Типы».

* Тип электрода по ГОСТу (например, Э42, Э50 и др.) не следует смешивать с промышленной маркой, принятой для электродов и данным покрытием (например, электроды ОЗС-4, УОНИ-13/55 и др.).

Размеры и общие требования для электродов регламентируются ГОСТ 9466-60.

В обозначение типа электрода по ГОСТ 9467-60 входит буква Э (означает электрод) и цифры, указывающие предел прочности при растяжении металла шва, наплавленного металла или сварного соединения в кгс/см^2 (в электродах для сварки конструкционных сталей) * Например, марка Э42 свидетельствует о том, что электрод предназначен для сварки конструкционных сталей и обеспечивает предел прочности при растяжении 42 кгс/мм^2 . Буква А, стоящая в обозначении после цифры, указывает, что электрод данного типа гарантирует получение наплавленного металла шва повышенной пластичности и ударной вязкости. Такие электроды применяют для сварки наиболее ответственных конструкций, испытывающих при работе ударные и знакопеременные вибрационные нагрузки.

Условное обозначение электрода для сварки конструкционных сталей содержит следующие данные: марку электрода, тип электрода, диаметр стержня, тип покрытия и номер ГОСТ. Например, условное обозначение электрода УОНИ-13/45-Э42А-4,0-Ф ГОСТ 9467-60 следует расшифровать так: марка электрода УОНИ-13/45, тип электрода Э42А, диаметр 4 мм, покрытые — фтористокальциевые, электрод соответствует ГОСТ 9467—60.

Электроды для сварки теплоустойчивых молибденовых сталей обозначаются Э-М, хромомолибденовых — Э-ХМ, хромомолибденованадиевых — Э-ХФМ, хромомолибденованадиевоиниобиевых теплоустойчивых — Э-ХМФБ. Марка Э-Х2МФБ показывает, что электрод предназначен для сварки теплоустойчивой хромомолибденованадиевоиниобиевой стали и металла шва, сваренного таким электродом, содержит не менее 2% хрома; марка Э-Х5МФБ обозначает то же, но содержание хрома в шве должно быть не менее 5%. Для электродов, применяемых при сварке теплоустойчивых легированных сталей, нормы механических свойств соответствуют свойствам металла шва, прошедшего термическую обработку, указанную в паспорте электрода. ГОСТ 9467—60 на электроды для сварки конструкционных сталей регламентирует также максимально допустимое содержание серы и фосфора в металле шва или наплавке, а на электроды для сварки теплоустойчивых сталей также и химический состав металла шва или наплавленного металла.

В табл. 3 приведены типы электродов по ГОСТ 9467—60, предназначенные для дуговой сварки конструкционных сталей **.

Рассмотрим более подробно свойства электродов некоторых марок, получивших широкое применение в промышленности.

* Механические свойства металла шва или наплавленного металла определяют при испытании электродов диаметром более 2,5 мм. Для электродов диаметром менее 2,5 мм вследствие малого сечения шва определяют механические свойства сварного соединения.

** Сведения об электродах для дуговой сварки легированных сталей приводятся в § 4 и 5 гл. XVI.

Таблица 3

Электроды для дуговой сварки конструкционных сталей по ГОСТ 9467—60

Типы 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 в металле шва или наплавленном металле, %		Основное назначение
	предел прочности при растяжении, кгс/см ²	относительное удлинение, %	ударная вязкость, кгс·М/см ²	предел прочности при растяжении, кгс/мм ²	угол загиба, град	сера	фосфор	
Э34	34	—	—	34	30	0,05	0,05	Для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей
Э42	42	18	8	42	120	0,05	0,05	
Э42А	42	22	14	42	180	0,04	0,04	
Э46	46	18	8	46	120	0,05	0,05	
Э46А	46	22	14	46	150	0,04	0,04	Для сварки среднеуглеродистых и низколегированных сталей
Э50	50	16	6	50	90	0,05	0,05	
Э50А	50	20	13	50	150	0,04	0,04	
Э55	55	20	12	55	140	0,04	0,04	
Э60	60	16	6	—	—	0,04	0,04	Для сварки среднеуглеродистых и низколегированных сталей
Э60А	60	18	10	—	—			
Э70	70	12	6	—	—			
Э85	85	12	5	—	—			
Э100	100	10	5	—	—			
Э125	125	6	4	—	—			
Э145	145	5	4	—	—			

Электроды УОНИ-13 выпускаются нескольких марок; состав их покрытий дан в табл. 4.

Таблица 4

Состав покрытий УОНИ-13 (% по весу)

Состав покрытий	УОНИ-13/45	УОНИ-13/55	УОНИ-13/65	УОНИ-13/85	УОНИ-13/НЖ
Мрамор (CaCO ₃)	53	54	51	54	57
Плавиковый шпат (CaF ₂)	18	15	15,5	15	34
Кварц	9	9	—	—	—
Ферромарганец	2	5	7	7	2,5
Ферросилиций 75%-ный	3	5	3	10	4
Ферротитан	15	12	15,5	9	2,5
Ферромолибден	—	—	—	5	—
Жидкое стекло (% к сумме сухих частей)	30	30	32—36	32—36	30

Цифра, стоящая в знаменателе марки, указывает предел прочности при растяжении наплавленного металла в кгс/мм², обеспечиваемый электродом данной марки.

В электродах УОНИ-13 для сварки углеродистых и низколегированных сталей используются проволоки Св-08, Св-08А и др. по ГОСТ 2246—70; в электродах УОНИ-13/НЖ для сварки нержавеющей сталей — высоколегированная проволока из хромоникелевой аустенитной стали по ГОСТ 2246—70 с соответствующим содержанием углерода. Вес покрытия УОНИ-13 составляет 30—40% к весу стержня при толщине слоя покрытия 0,25—0,3 диаметра стержня.

Электроды УОНИ-13 дают хорошо раскисленный плотный наплавленный металл, содержащий несколько повышенные количества марганца и кремния и обладающий высокими механическими свойствами. Металл, наплавленный электродами УОНИ-13, обладает высокой пластичностью, значительной ударной вязкостью, достигающей 25—30 кгс·м/см² для УОНИ-13/45 и УОНИ-13/55. Как правило, в металле, наплавленном электродами УОНИ-13, не образуется трещин. Поэтому электроды с покрытием УОНИ-13 считаются одним из лучших и применяются для сварки особо ответственных конструкций, которые испытывают ударные нагрузки и вибрации, а также действие повышенных или пониженных температур.

Поскольку покрытия УОНИ-13 не содержат органических соединений (например, крахмала) они выдерживают длительное прокаливание (до 350—400°С), что облегчает их просушку и делает менее восприимчивыми к влаге.

Сварка электродами УОНИ-13 производится на постоянном токе с применением обратной полярности.

Для сварки электродами УОНИ-13 на переменном токе необходимо включать в сварочную цепь осциллятор, обеспечивающий устойчивое горение дуги. Для возможности сварки на переменном токе без осциллятора в состав покрытия вводят ионизирующие добавки: заменяют квард полевым шпатом и добавляют около 4% поташа (например, в покрытиях К-51, К-52). Покрытия К-51, К-52 и УОНИ-13/3 * не содержат дорогостоящего ферротитана.

Электроды СМ-11 имеют фтористокальциевое покрытие и могут применяться для сварки на постоянном и переменном токе. Состав покрытия СМ-11 следующий: 3,5% двуокиси титана, 28,2% мрамора или мела, 20,8% плавикового шпата, 1,3% поташа, 3,5% ферромарганца, 8% ферросилиция 45%-ного, 32,8% железного порошка, 1,9% оксидцеллюлозы, 11—12% жидкого стекла. Вес покрытия 30—40% от веса стержня, коэффициент наплавки 9,5—10 г/а·ч. Электроды с покрытием СМ-11 получили распространение на строительстве, так как их свойства отвечают условиям сварки в этой отрасли. Электроды СМ-11 позволяют сваривать швы в любом пространственном положении и обеспечивают получение наплавленного металла без трещин, с высокой пластичностью; ударная вязкость наплавленного металла при сварке этими электродами 14—18 кгс·м/см². Входящий в покрытие железный порошок уменьшает скорость охлаждения наплавленного металла, что благоприятно влияет на сварку при пониженных окружающих температурах.

* Буква З обозначает заместитель.

Покрытия, не содержащие железного порошка, плавятся медленнее, чем металлический стержень электрода. Вследствие этого на конце электрода при сварке образуется козырек.

При значительной высоте козырька дуга между металлом и стержнем электрода прерывается и гаснет. Для возбуждения дуги сварщику приходится удалять часть козырька, на что затрачивается дополнительное время. Содержание в покрытии около 30% железного порошка делает его электропроводным, вследствие чего повторное возбуждение дуги происходит легко, лишь простым касанием козырьком металла ванны. Это повышает производительность сварки и уменьшает возможность обрыва дуги, облегчая сварку.

Если содержание железного порошка увеличить до 50—60% от веса покрытия и нанести последнее толстым слоем (140—180% от веса стержня), то можно вести сварку повышенным током при том же диаметре стержня электрода, что значительно увеличивает производительность. При этом коэффициент наплавки достигает 12—20 г/а·ч, а вес наплавленного металла в 1,5—2 раза превышает вес стержня электрода. Можно вести сварку встык стали толщиной до 12 мм с глубоким проплавлением без разделки кромок (см. гл. XX).

Для сварки высокопрочных сталей с пределом прочности при растяжении свыше 100 кгс/мм² разработана серия покрытий марок НИ-3, НИ-3М, НИ-5 и др. на основе мрамора, плавикового шпата, ферромарганца, ферротитана, ферросилиция, феррохрома и ферромолибдена. Существует также большая номенклатура покрытий для сварки высоколегированных жаропрочных, кислотостойких и нержавеющих сталей, а также для наплавки сталей.

Электроды ВСП-50 с рутиловым покрытием. Рутиловое покрытие имеет следующий состав: 5% гранита, 22% двуокиси титана (рутила), 33% мрамора или мела, 25% плавикового шпата, 6% ферромарганца, 8% ферросилиция 45%-ного, 1% ферротитана, 15% жидкого стекла. Вес покрытия 33—42% от веса стержня, коэффициент наплавки 9,5 г/а·ч. Покрытие ВСП-50 разработано Всесоюзным научно-исследовательским институтом строительства трубопроводов (ВНИИСТ). Оно имеет несколько пониженную температуру плавления и не образует на конце электрода одностороннего козырька. Особенно пригодно для сварки труб.

В том же институте А. Г. Мазелем, Е. М. Роговой и Л. И. Сорокиным разработаны электроды ВСП-16 и ВСП-16м с пластмассовым покрытием, в котором в качестве связующего (взамен жидкого стекла) и газозащитного компонента использованы органические лаки и смолы. Покрытие этих электродов нечувствительно к увлажнению; они пригодны для сварки малоуглеродистых и легированных сталей на постоянном и переменном токе. Применяются для сварки первого слоя (зазора) стыковых швов магистральных трубопроводов.

Электроды института электросварки им. Е. О. Патона. Институтом электросварки им. Е. О. Патона разработано большое количество современных высококачественных электродов

Показатели	ОМА-2	ОЗЦ-1	ОММ-5	ЦМ-7	АНО-1	ОЗС-3
Тип электрода по ГОСТ 9467—60	Э-42	Э-42	Э-42	Э42	Э-42	Э46
Вид покрытия по ГОСТ 9467—60	Газозащитное		Руднокислое		Рутн	
Коэффициент веса покрытия, %	9—10	10—12	33—38	45—48	140—150	145—175
Коэффициент наплавки, г/а·ч	9—11	9—9,5	7—8	10—11	16—18	16—18
Род тока, полярность	Постоянный и переменный	Постоянный обратный полярности	Переменный и постоянный		Переменный и постоянный**	
Механические свойства наплавленного металла:						
временное сопротивление разрыву, кгс/мм ²	42—50	42—48	45—50	45—48	43—49	46—50
относительное удлинение, %	Угол загиба 180°	20—30	20—25	22—26	28—32	20—30
ударная вязкость, кгс·м/см ²	—	10—16	9—13	9—10	11—16	12—18
Марки стали	Углеродистые до		Ст3	Углеродистые до Ст4	Углеродистые до Ст4, низколегированные до Г2	
Толщины, мм	0,8—3	При сварке в 1—2 слоя	До 50	Не ограничено	Свыше 5	
Положение шва	Любое	Любое*	Любое*		Нижнее и слегка наклонное	
Рекомендуемый ток, а, при электроде:						
Ø 2 мм	25—45	—	—	—	—	
Ø 3 мм	50—80	—	100—130	—	—	
Ø 4 мм	—	140—160	160—190	160—190	210—240	
Ø 5 мм	—	170—190	200—220	210—240	280—320	
Ø 6 мм	—	—	240—280	260—300	380—420	

* Рекомендуемый диаметр электродов для сварки: в потолочном положении — до 4 мм

** При переменном токе напряжение холостого хода трансформатора — не менее 60 В.

*** Для сварки нержавеющей хромоникелевых сталей выпускаются также электроды ОЗЛ-8,

ристка электродов

МР-3	ОЗС-4	ОЗС-2	УОНИ-13/45	УОНИ-13/55	УОНИ-13/65	ВН-48У	УОНИ-13НЖ***
Э46		Э42А	Э42А	Э50А	Э60	Э46А	ЭА-1 и ЭА-1а по ГОСТ 10052—62
ловое				Фтористокальциевое			
35—45	30—40	30—40	—	30—40	—	110—130	30—40
8,5—9,4	8,5—9,5	9,5—10	8—9	8—9	8—9	12,5—14,5	10—12
Переменный и постоянный		Постоянный обратной полярности				Постоянный обратной полярности	Постоянный обратной полярности
46—51	46—50	44—49	43—45	50—55	60—65	48—45	60—70
18—31	20—26	22—30	28—32	25—30	20—25	22—33	35—40
13—20	9—12	17—22	25—30	25—30	18—30	14—22	8—10
Углеродистые до Ст4		Все марки углеродистых низколегированных сталей				Углеродистые до Ст4 и низколегированные строительные	Аустенитные хромоникелевые стали
Не ограничено			Свыше 1			Свыше 5	Свыше 1
Любое			Любое			Нижнее и слегка наклонное	Любое*
—		—		—		—	—
100—130		80—100		80—100		—	60—90
160—190		130—150		130—150		—	120—140
200—230		170—200		170—200		280—320	140—160
240—300		—		210—240		360—420	—

включительно; в вертикальном — до 5 мм включительно, в нижнем — без ограничения.

ЦЛ-11 (проволока с ниобием), ЦЛ-4 и др.

с покрытиями, имеющими обозначение АНО. К ним относятся, например, электроды АНО-1 с рутиловым покрытием и железным порошком для высокопроизводительной сварки в нижнем положении; АНО-3, АНО-4, АНО-5 с рутило-карбонатным покрытием, обеспечивающие высокую ударную вязкость наплавленного металла после сварки и старения (покрытие АНО-5 обеспечивает также повышенную производительность сварки); АНО-6 с ильменитовым покрытием, выделяющим меньше пыли и газов и дающим легкое возбуждение дуги; электроды с покрытиями АНО-7, АНО-8, АНО-9 для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей и другие.

Электроды АНО-9 с фтористокальциевым покрытием (карбонатно-флюоритовым) предназначены для сварки вертикальных швов по способу «сверху вниз». Особенно пригодны для сварки на монтаже, в судостроении и др. Повышают скорость сварки до 30 м/ч, снижая на 40% затраты времени на сварку конструкций. Относятся к типу Э50А-Ф по ГОСТ 9467—60. Обеспечивают низкое содержание водорода в металле шва, высокую пластичность, стойкость против кристаллизационных трещин и хрупкого разрушения. Шлак создает хорошее формирование шва в угловых, нахлесточных и стыковых швах. Шлаковая корка отделяется самопроизвольно, разбрызгивание невелико. Применяются для сварки ответственных конструкций. Особенностью этих электродов является также то, что они дают шов с плавным переходом от наплавленного металла к основному, что устраняет концентрацию напряжений в переходной зоне. Сварка должна вестись на переменном токе; напряжение холостого хода не ниже 65 в. Для сварки в зависимости от диаметра электрода и положения шва берется:

Диаметр электрода, мм	4	5
Ток, а		
Вертикальное, сверху вниз	160—210	220—270
Нижнее	160—190	180—240
Потолочное	160—180	170—200

Коэффициент наплавки равен 9—10 г/а·ч. Электроды АНО-9 при сварке выделяют меньше пыли, окислов марганца и растворимых фторидов, чем электроды УОНИ-13/55.

Все описанные выше электроды (СМ-11 и др.) относятся к типам Э42 и Э50 по ГОСТ 9467—60.

Технологические характеристики электродов некоторых марок даны в табл. 5.

§ 3. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОДОВ

Покрытые электроды изготовляют на электродных заводах или в электродных мастерских, имеющих соответствующее оборудование. Производительность наиболее крупных электродных заводов достигает 60 тыс. т электродов в год.

С помощью специальных станков проволока для электродов предварительно правится, рубится на стержни требуемой длины и тщательно очищается от окалины, ржавчины, масла и других загрязнений.

Чтобы входящие в состав покрытия вещества за короткое время образования капли расплавленного металла успели вступить в химическую реакцию с жидким металлом, твердые составные части покрытия предварительно промываются (кусковое рудоминеральное сырье), дробятся, сушатся, а затем подвергаются тонкому измельчению в шаровых, стержневых и вибрационных мельницах и просеиваются через сита с размером отверстий от 140 мк и менее.

Подготовленные составные части покрытия отвешиваются в нужной пропорции и перемешиваются в смесителе. В специальном отделении готовят водный раствор жидкого стекла из силикатной глыбы. Сухие части покрытия замешивают на растворе жидкого стекла до нужной густоты и покрытие наносят на проволоку под давлением 750—1000 кгс/см² на обмазочных прессах-автоматах.

Автоматы для нанесения покрытия на электроды выполняют последовательно все операции: наносят опрессовкой покрытие, зачищают один конец электрода от покрытия и укладывают электроды на приемный стол. Производительность таких автоматов 10—12 т электродов в смену.

После нанесения покрытия электроды сушат, пока влажность покрытия будет не более 4—5%. Сушка производится сначала на воздухе при температуре 25—30°С в течение 12—25 ч, а затем в сушильных электрических шкафах при температуре 150—300°С в течение 1—2 ч. Электроды, содержащие органические элементы, прокаливают при температуре не выше 150—200°С во избежание выгорания органических примесей.

Хранят готовые электроды в сухих помещениях с нормальной влажностью воздуха. Электроды с отсыревшим покрытием нужно перед сваркой в течение часа прокалить при температуре 180—200°С. Качество готовых электродов проверяется наплавкой и сваркой контрольных образцов с последующим испытанием их на прочность и пластичность.

§ 4. ПОРОШКОВАЯ ПРОВОЛОКА

Порошковая электродная проволока состоит из тонкой стальной ленты, свернутой в трубку диаметром от 2,5 до 5 мм и заполненной внутри порошком требуемого состава.

Порошковая проволока позволяет получать любой состав наплавленного металла и может применяться при сварке и наплавке сталей, чугуна, цветных металлов и твердых сплавов.

Технология производства порошковой проволоки разработана Институтом электросварки им. Е. О. Патона. Схема процесса изготовления порошковой проволоки показана на рис. 35. Лента 2 из

мягкой малоуглеродистой стали 08 кп холодного проката* сматывается с кассеты 1, очищается щетками 2, сворачивается вальцами 4 в желоб (заготовку) и заполняется из бункера 5 тонкоразмолотым порошком. Избыток порошка снимается дозатором 6 и ссыпается в бункер 7. Заготовка с порошком протягивается роликами 9

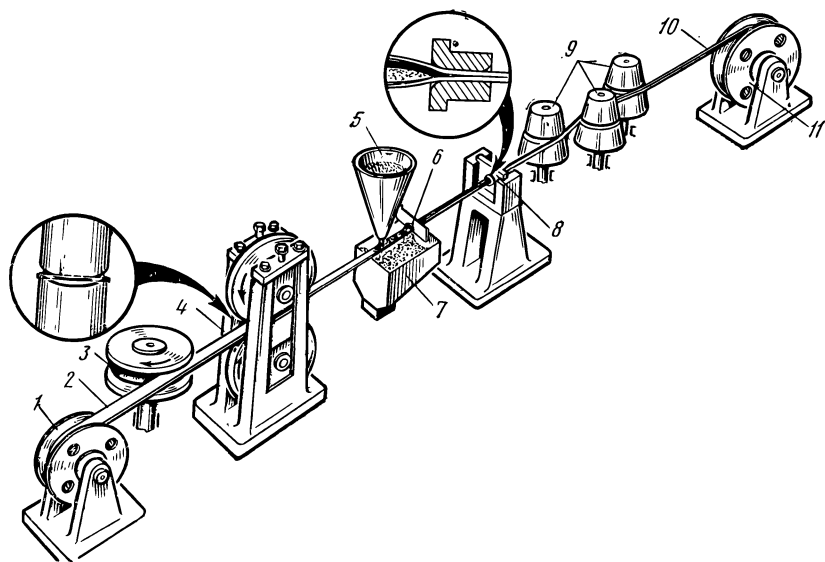


Рис. 35. Схема изготовления порошковой проволоки

через калибровочную доску 8 со втулкой (фильером), изготовленной из твердого сплава, сворачиваясь при этом в трубку. Готовая проволока 10 наматывается на барабан 11. Порошковая проволока значительно дешевле легированной и производство ее несложно.

Для повышения удельного содержания стали в наплавке применяется порошковая проволока фасонного сечения (рис. 36).

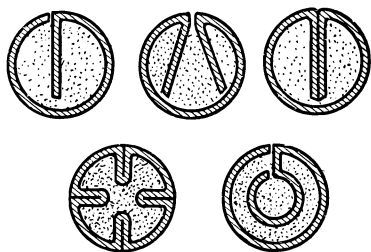


Рис. 36. Формы оболочек для круглой порошковой проволоки

С целью увеличения производительности при наплавке больших поверхностей применяется ленточная порошковая проволока (рис. 37).

Для заполнения проволок применяются смеси из железного порошка, окислов металлов, ферросплавов, графита, минералов, органических веществ, подобных исполь-

* При диаметре проволоки 1,6 мм сечение ленты 0,3×9 мм; при диаметре 2,8 мм — 0,5×15 мм.

зуемым для приготовления электродных покрытий. При расплавлении они образуют газовую и шлаковую защиту наплавленного металла. В зависимости от назначения используются разные смеси — рутиловые, карбонатно-фтористые или рутил-карбонатно-фтористые и др. Рутиловые (проволоки ПП-АН1, ПП-1ДСК и др.) дают в наплавке металл, соответствующий полуспокойной низкоуглеродистой стали, содержащий значительное количество водорода и кислорода.

Применение дополнительной защиты из углекислого газа практикуется с целью повышения производительности, улучшения внешнего вида швов, снижения разбрызгивания и пористости, увеличения диапазона рабочих напряжений и токов. Для сварки в уг-

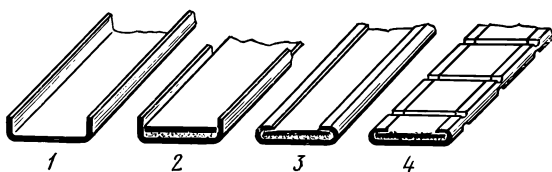


Рис. 37. Схема изготовления ленточной порошковой проволоки:

1 — отбортовка нижней ленты, 2 — заполнение порошком и укладка верхней ленты, 3 — завальцовка кромок, 4 — выдавливание углублений для уплотнения порошка

лекислом газе применяют проволоки ПП-АН4 (типа 350А-Ф) и ПП-АН8 (типа Э46-Т). Защита обеспечивается при помощи органических материалов. Получили широкое распространение, не требуют специальной предварительной очистки кромок.

Карбонатно-фтористые смеси дают хорошо раскисленный металл с небольшим содержанием водорода, но более пористый. Для уменьшения пористости вводят титан и алюминий, которые связывают азот в стойкие нитриды, предупреждая выделение пузырьков газа. Они чувствительны к наличию на кромках металла влаги и ржавчины, поэтому их лучше использовать при сварке в углекислом газе.

Порошковые проволоки выпускаются различных марок, например, для сварки низкоуглеродистой стали — ПП-АН1; для сварки низкоуглеродистых и низколегированных конструкционных сталей — ПП-АН2 и ПП-АН3; для сварки и заварки дефектов чугуна — ПП-Ч1; ПП-Ч2 и ПП-Ч3.

Проволока ПП-АН3 предназначена для сварки стали на повышенных токах (для $\varnothing 3$ мм ток 300—600 а, напряжение дуги, соответственно 22—26 и 27—32 в). Коэффициент наплавки для проволоки $\varnothing 3$ мм равен 15—17 г/а·ч.

В проволоке для сварки низкоуглеродистой стали порошок имеет состав: 0,18—0,2% углерода, 1,9—2,5% марганца, 0,9—1,0% кремния, остальное железо; для сварки теплоустойчивой стали 15ХМ применяется порошок, содержащий 0,12—0,14% углерода, 2—2,2% марганца, 0,9—1,1% кремния, 0,8—1% хрома, 0,45—0,5% молибдена, серы и фосфора не более 0,03% каждого, остальное железо.

Для наплавки под флюсом используются проволоки марок: ПП-3Х2В8; ПП-Х10В14; ПП-2Г13А и др.; цифры обозначают состав наплавленного металла.

Для наплавки в углекислом газе — проволоки ПП-2Х3В10ГТ;

ПП-Х12ВФТ; ПП-30Х10Г10Т; ПП-У50Х23Г6Т и др.; буква У и цифра после нее обозначают содержание углерода в десятых долях процента в наплавленном металле.

Для наплавки открытой дугой (с внутренней защитой) применяют проволоки ПП-3Х4В3Ф-О; ПП-У15Х12М-О; ПП-У25Х17Т-О и др; буква О обозначает, что проволока предназначена для наплавки открытой дугой.

§ 5. УГОЛЬНЫЕ И ГРАФИТИРОВАННЫЕ ЭЛЕКТРОДЫ

Электроды изготавливаются из прессованного угля или кокса специального состава. Диаметр электродов от 5 до 30 мм, длина 200—300 мм, сечение круглое. Конец электрода затачивается на конус с углом 60—70° С. Электрод должен быть правильной формы, с гладкой поверхностью и не иметь трещин. Хорошо обожженный угольный электрод при ударе дает чистый металлический звук и не растрескивается во время сварки; угольный электрод, если им провести по бумаге, не оставляет черты.

Для улучшения свойств угольных электродов их выпускают также графитированными, подвергая термической обработке при 2600° С. Графитированные электроды чище по химическому составу, более мягки, имеют серый с металлическим блеском цвет, на бумаге оставляют черную черту. Они лучше угольных, так как их омическое сопротивление в 4 раза ниже; поэтому графитированные электроды меньше нагреваются при дуговой сварке и резке, меньше окисляются (сгорают) и допускают применение тока большей плотности.

Сварку угольными электродами производят на постоянном токе прямой полярности (минус на электроде). Длина дуги составляет от 6 до 15 мм. Дуга легко зажигается и обладает большой устойчивостью. При обратной полярности дуга становится неустойчивой, электрод сильно обгорает, а свариваемый металл науглероживается. Благодаря указанным признакам горения дуги при использовании угольного электрода можно легко определить полярность тока в сварочной цепи.

Глава VI

ДЕФОРМАЦИИ И НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ СВАРКЕ

§ 1. ДЕЙСТВУЮЩИЕ УСИЛИЯ, ДЕФОРМАЦИИ, НАПРЯЖЕНИЯ И СВЯЗЬ МЕЖДУ НИМИ

Сварная конструкция и сварные соединения в процессе эксплуатации испытывают действие различных нагрузок и вызываемых ими усилий: внешних (вес, давление, сила тяги и др.) и внутренних (изменение размеров металла при нагревании и охлаждении, изменение структуры и др.). *Внешние нагрузки* могут быть: статическими (т. е. постоянными), динамическими (т. е. переменными по величине, направлению и продолжительности действия) и ударными. Наиболее опасными для прочности конструкции являются динамические и ударные нагрузки.

Динамические знакопеременные нагрузки называют вибрационными. Они вызывают постепенное снижение прочности металла (т. н. усталость), что приводит к разрушению конструкции при более низких нагрузках.

Внутренние усилия обычно возникают и нарастают постепенно, часто оставаясь постоянными по величине и направлению действия. Они не являются опасными в тех случаях, когда не выходят за пределы, допускаемые для данной конструкции и определяемые расчетом на прочность.

Деформацией называется изменение формы и размеров твердого тела под действием усилия. Если форма тела восстанавливается после прекращения действия силы, то деформация является *упругой*. Если тело не принимает первоначальной формы, то говорят, что оно получило *остаточную*, или *пластическую*, деформацию. Остаточные деформации обычно бывают у тел малоупругих (пластичных) или при приложении к телу очень большого усилия.

Обозначим Δl — удлинение стержня при растяжении. Отношение Δl к первоначальной длине стержня l называется *относительным удлинением* и выражается в % к первоначальной длине стержня:

$$\delta = \frac{\Delta l}{l} \cdot 100\%,$$

где δ — относительное удлинение, %.

Величина деформации определяется величиной действующего усилия. Чем больше усилие, тем больше вызываемая им деформация. О величине усилия судят также по напряжению, которое данное усилие вызывает в теле.

Напряжением называется сила, отнесенная к единице поверхности или к единице площади поперечного сечения тела. Если сила измеряется в *кгс*, а площадь или поверхность в *мм²*, то напряжение будет измеряться в *кгс/мм²*.

В зависимости от направления действующих усилий по отношению к рассматриваемому сечению металла и вызываемых ими деформаций в нем могут возникать следующие напряжения: растяжения, сжатия, изгиба, среза и кручения. Величина напряжения растяжения равна

$$\sigma = \frac{P}{F_0},$$

где σ — напряжение, *кгс/мм²*;

P — сила, *кгс*;

F_0 — площадь поперечного сечения образца до разрушения, *мм²*.

Напряжение $\sigma_{\text{в}}$, при котором происходит разрушение образца под действием растягивающего усилия, называется *временным сопротивлением* * *разрыву*. Напряжение $\sigma_{\text{т}}$, при котором металл продолжает удлиняться (как бы «течет») при постоянной величине растягивающего усилия, называется *пределом текучести*; он всегда меньше временного сопротивления.

Для низко- и среднеуглеродистых сталей предел текучести $\sigma_{\text{т}} = 25\text{—}30$ *кгс/мм²*, временное сопротивление $\sigma_{\text{в}} = 42\text{—}45$ *кгс/мм²*. Напряжения растяжения условно считают положительными и обозначают знаком (+), а напряжения сжатия — отрицательными (—).

В сварных швах и соединениях при работе конструкции могут возникать все упомянутые выше виды напряжений, в зависимости от характера действующих нагрузок. Наиболее часто появляются напряжения растяжения и среза, которые приходится учитывать в первую очередь при расчете сварных швов на прочность.

Ударное приложение нагрузки увеличивает ее действие на металл и повышает величину вызываемых ею напряжений.

Для изделий, подвергающихся действию ударных нагрузок, должны применяться нехрупкие (вязкие) металлы. Сопротивляемость металла ударной нагрузке характеризуется *ударной вязкостью*, которая выражается работой в килограмм-сила-метрах (*кгс·м*), приходящейся на 1 *см²* сечения образца и вызывающей его излом при ударе падающим грузом. Ударная вязкость обозначается $a_{\text{к}}$.

Сварные соединения, работающие при знакопеременной циклической нагрузке, подвергаются испытанию на усталостную прочность. Для этого используются специальные машины, в которых образец большое число раз (циклов) подвергается действию то растягивающих, то сжимающих нагрузок до разрушения. Число циклов составляет от $2 \cdot 10^6$ до $5 \cdot 10^6$. Напряжение, при котором происходит разрушение, называется *пределом усталости*. Главной причиной

* В технической литературе часто вместо термина «временное сопротивление» применяют термин «предел прочности», выражаемый в тех же единицах.

понижения усталостной прочности сварных соединений является концентрация (сосредоточение) напряжений. Напряжения могут концентрироваться в отдельных местах сварных соединений. Причинами концентрации напряжений являются:

1. Дефекты швов — острый надраз, непровар, трещина и другие, расположенные поперек действия растягивающих напряжений.

2. Неправильные очертания сварного шва, например, швы с большой выпуклостью и неплавным переходом от наплавленного металла к основному.

3. Нерациональная конструкция сварных соединений (например, большое число близко расположенных швов, образующих жесткий контур; наличие отверстий, входящих углов, или отсутствие плавных переходов между сопрягаемыми элементами и сечениями в зоне действия высоких напряжений и др.).

В местах концентрации напряжений* суммарная величина их может превысить временное сопротивление разрыву наплавленного металла, что вызовет начало разрушения сварного шва, а в отдельных случаях приводит к разрушению сварной конструкции в целом.

§ 2. ТЕПЛОВЫЕ (ТЕРМИЧЕСКИЕ) ДЕФОРМАЦИИ И НАПРЯЖЕНИЯ

Деформации и напряжения, возникающие от неравномерного нагревания и охлаждения изделия, называются *тепловыми*, или *термическими*. Как известно, при нагревании все металлы расширяются, а при охлаждении — сжимаются. Незакрепленный участок металла, будучи нагрет и затем охлажден до первоначальной температуры, примет те же размеры, которые имел до нагревания.

Величина расширения металла зависит от температуры нагрева и коэффициента линейного расширения.

Допустим, что стержень 1, длина которого равна заштрихованной части (рис. 38, а), закреплен в жесткой рамке 2. Нагревание стержня вызвало бы его удлинение на длину AB , если бы он мог свободно расширяться в рамке. Так как стержень не может удлиняться, то он начнет оказывать давление изнутри на рамку, которая в свою очередь сжимает стержень с концов, вызывая в нем напряжения сжатия. Вследствие этого нагретый стержень, длина которого должна остаться без изменения, получит пластическую деформацию.

В сечениях $I—I$ и $II—II$ рамки возникнут напряжения растяжения, которые будут тем больше, чем выше температура нагрева стержня. Если взять толстый стержень и слабую рамку, то она может разорваться по сечениям $I—I$ и $II—II$. Если рамка жестче и прочнее стержня, последний изогнется и примет положение, показанное на рис. 38, а штрихом.

При последующем охлаждении стержень, подвергшийся пластической деформации, стремится сохранить свою длину, уменьшившуюся в результате сжатия на величину AB . В этом случае сопротивление рамки вызовет в стержне напряжения растяжения и он

* При наличии концентраторов напряжений.

может или разорваться или изогнуть рамку 2. Это же произойдет, если будем нагревать рамку 2 в сечениях $I—I$ и $II—II$, оставляя стержень холодным.

На величину деформации влияет также теплопроводность свариваемого металла: чем выше теплопроводность, тем равномернее распределяется тепловой поток и тем меньше деформация. Поэтому при сварке нержавеющей сталей, обладающих меньшей теплопроводностью и большим коэффициентом линейного расширения,

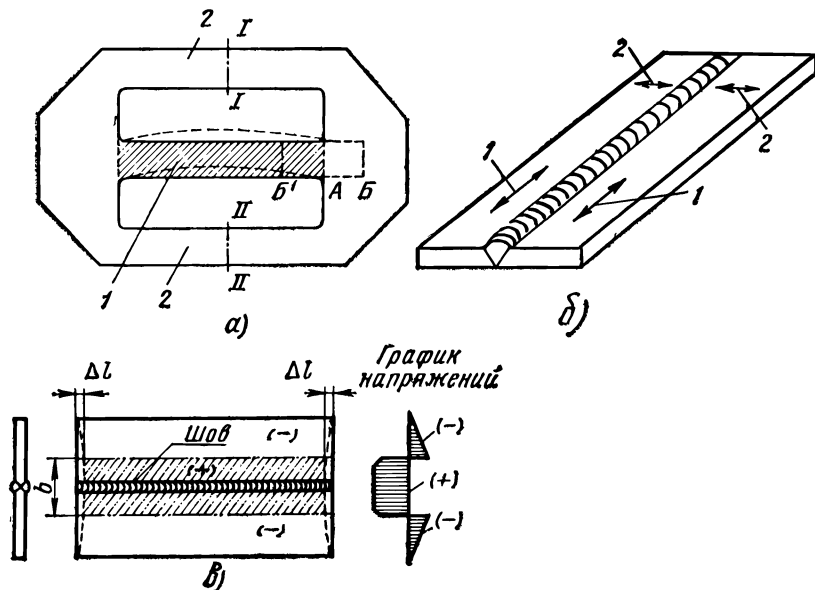


Рис. 38. Деформации и напряжения

а — деформации закрепленного стержня при нагревании и б — напряжения в стыковом сварном соединении: 1 — продольные, 2 — поперечные; в — схема деформаций и напряжений при сварке листов и симметричном нагреве

деформации получаются большими, чем при сварке низкоуглеродистой стали. Алюминий же, обладающий более высоким коэффициентом линейного расширения, но значительно лучше проводящий тепло, дает при сварке меньшие деформации по сравнению с низкоуглеродистой сталью.

Термические напряжения при сварке возникают без воздействия внешних усилий. Такие напряжения в металле называются *внутренними*, или *собственными*. Из собственных термических напряжений наибольшее значение имеют те, которые возникают во время охлаждения изделий (рис. 38, б). Если эти напряжения 1 действуют только вдоль шва, то они не влияют на прочность сварного соединения. Более опасны напряжения 2, действующие перпендикулярно оси шва (поперечные), так как они могут вызвать появление холодных трещин в шве и околошовной зоне. Если де-

формации и напряжения появляются в изделии только в процессе сварки и исчезают при остывании после сварки, они называются *временными*. Деформации и напряжения, которые сохраняются после сварки при полном охлаждении швов, называются *остаточными*. Когда металл обладает пластичностью и работает при статических нагрузках, остаточные напряжения практически не влияют на прочность сварной конструкции. Складываясь с напряжениями от рабочих нагрузок, общие напряжения вызывают пластическую деформацию металла и тем снимаются.

В толстом металле (более 40 мм) возникают *объемные* остаточные напряжения, действующие в трех взаимно перпендикулярных плоскостях. Такие напряжения наиболее опасны для прочности конструкции, так как вызывают хрупкость металла. При наличии концентраторов напряжений (надрезов, непроваров, трещин и пр.), низкой окружающей температуры и повышенной жесткости конструкции возникновение пластических деформаций затруднено и в данном месте может появиться хрупкое разрушение металла. Для устранения остаточных напряжений в этом случае применяют термообработку после сварки.

Остаточные деформации, если они выходят за пределы, допускаемые техническими условиями на изготовление данного изделия, требуют его правки после сварки.

§ 3. ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ СВАРКЕ

Неравномерное нагревание металла. Наличие сосредоточенного источника тепла (сварочное пламя, электрическая дуга), перемещающегося вдоль шва с какой-то скоростью и вызывающего неравномерное нагревание металла при сварке, является основной причиной возникновения внутренних напряжений и деформаций в сварных изделиях.

Так, например, при сварке продольным швом двух листов, расположенных симметрично относительно оси шва (рис. 38, в), листы нагревают в средней зоне шириной b . При остывании шов от продольной усадки укорачивается с обеих сторон на величину Δl , чему препятствуют наружные участки листов, менее нагретые. Вследствие этого в средней полосе после сварки возникнут напряжения растяжения (+), а в наружных полосах — напряжения сжатия (—), расположенные симметрично относительно шва. График этих напряжений показан на рис. 38, в, справа.

Усадка наплавленного металла. *Усадкой* называется уменьшение объема металла при переходе из жидкого состояния в твердое.

В результате усадки металла шва возникают растягивающие напряжения в соседних участках детали, которые вызывают в них соответствующие деформации. Различные металлы имеют разную усадку, обычно измеряемую в процентах от первоначального линейного размера: алюминий 1,7—1,8, бронза 1,45—1,6, латунь 2,06, медь 2,1, сталь низкоуглеродистая литая 2,0, чугун серый литейный 0,7—0,8.

Напряжения, вызванные усадкой, возрастают до момента перехода упругих деформаций в пластические. Если металл недостаточно пластичен, деталь может дать трещину в наиболее слабом месте, каким иногда является зона термического влияния. Напряжения от усадки являются также одной из причин горячих трещин, возникающих во время затвердевания металла шва.

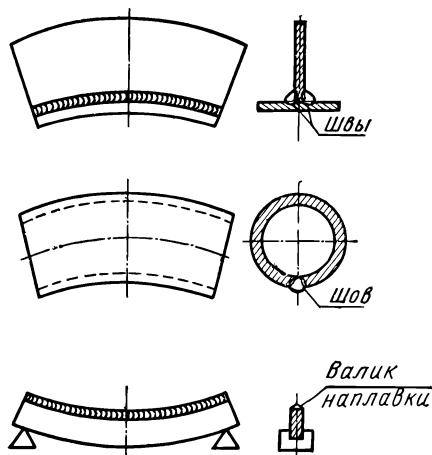


Рис. 39. Деформации от продольной усадки

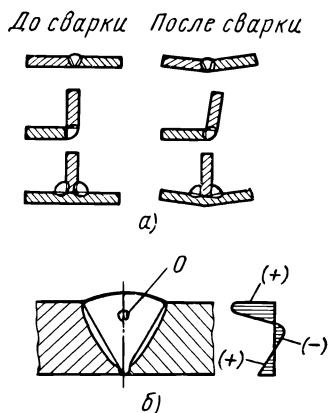


Рис. 40. Деформации от поперечной усадки (а) и график (б) распределения напряжений (О — центр тяжести сечения шва)

При сварке происходит *продольная* и *поперечная усадки*. Если центр тяжести поперечного сечения шва не совпадает с центром тяжести сечения свариваемого элемента, то в результате продольной усадки возникает коробление в продольном направлении (рис. 39). Поперечная усадка дает угловые деформации, т. е. коробление листов (рис. 40) в сторону большего объема наплавленного металла. Поэтому при поперечной усадке листы будут коробиться вверх, в сторону утолщения шва. Если деталь закрепить, создав препятствие деформациям усадки, то в изделии появятся напряжения. При пластичном металле эти напряжения вызывают пластические деформации и не представляют опасности для прочности конструкции.

Величина деформации и связанных с ней напряжений зависит от величины зоны нагрева. Чем больший объем металла нагревается, тем сильнее будут деформации. Поэтому различные способы сварки дают различную величину деформаций. Большая величина нагрева и деформации получается при газовой сварке кислородно-ацетиленовым пламенем, меньшая — при дуговой сварке металлическим электродом.

Размеры и положение швов также влияют на величину деформаций. Наибольшие деформации вызывают длинные швы, швы с большим сечением, а также швы, расположенные несимметрично относительно главных осей сечения свариваемого профиля. Чем сложнее форма детали, чем больше в ней различных швов, тем скорее можно ожидать появления деформаций и напряжений при сварке. При односторонней наплавке плоских деталей уменьшение глубины и площади проплавления основного металла резко уменьшает коробление изделия.

Искусственное охлаждение детали в процессе сварки уменьшает величину деформации.

Структурные превращения в металле. При изменении структуры металла происходит изменение размеров и взаимного расположения его зерен (кристаллитов), сопровождающееся изменением объема металла, что вызывает внутренние напряжения. Напряжения, возникающие вследствие изменения структуры металла, могут иметь практическое значение только при сварке легированных и высокоуглеродистых сталей, склонных к закалке.

При сварке низкоуглеродистой и низколегированной сталей, которые не закаляются, возникающие от изменения структуры напряжения незначительны и не принимаются в расчет при изготовлении сварных конструкций.

§ 4. ОСНОВНЫЕ МЕРЫ ПРЕЯТИЯ ПО УМЕНЬШЕНИЮ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ СВАРКЕ

Для уменьшения деформаций и напряжений при сварке нужно руководствоваться следующими рекомендациями:

1. Применять такие марки электродов, которые дают пластичный металл шва.

2. Выполнять швы с меньшим количеством наплавленного металла, симметрично расположенные относительно центра тяжести сечения элемента; использовать прерывистые швы с расстоянием между ними не менее 30—40 мм.

3. Избегать в конструкциях, особенно работающих при ударных нагрузках, вибрациях и низких окружающих температурах, скоплений большого количества сварных швов и их пересечений друг с другом, а также коротких швов замкнутого контура, так как в подобных местах происходит концентрация собственных напряжений.

4. Симметрично располагать ребра жесткости в конструкциях.

5. Ограничивать применение накладок и косынок.

6. Применять по возможности стыковые швы, так как они обеспечивают наименьшую концентрацию напряжений.

7. Использовать методы секционного изготовления конструкций с последующей сборкой и сваркой готовых узлов, а также применять штампованные и литые детали при сборке узлов сложной конфигурации. В этом случае уменьшается неблагоприятное влияние жестких связей между отдельными деталями, образуемых сварными швами.

8. Преимущественно применять швы с глубоким проплавлением, а также полуавтоматическую и автоматическую сварку под флюсом и в защитном газе, обеспечивающих большую скорость сварки, требующих малых зазоров между листами и обуславливающих более равномерное остывание шва.

При полуавтоматической и автоматической сварке в защитных газах и порошковой проволокой возникают остаточные деформации меньшие, чем при ручной сварке покрытыми электродами.

9. Пользоваться сборочно-сварочными приспособлениями и кондукторами, обеспечивающими заданную точность сборки, получение швов равномерного сечения и соблюдение нужной последовательности сварки. Если зажимы кондукторов допускают перемещение деталей в результате усадки при сварке, то это снижает напряжения. При жестком закреплении деталей остаточные напряжения снижаются вследствие того, что в процессе сварки металл шва получает пластическую деформацию.

10. Правильно выбирать тепловой режим при сварке.

Сваривать жестко закрепленные детали встык нужно при меньших тепловых режимах и применять электроды, дающие пластичный наплавленный металл.

Если при сварке допускается свободное перемещение детали или основной металл склонен к закалке, то следует применять более мощный тепловой режим, что увеличивает объем разогреваемого металла и замедляет его остывание.

При сварке закаливающихся сталей или металла больших толщин, а также сварке при низких окружающих температурах следует с целью уменьшения скорости охлаждения после сварки и разности температур между нагретыми и холодными частями изделий применять предварительный или сопутствующий подогрев изделия или околошовной зоны.

Температура подогрева определяется свойствами металла и обычно составляет: для стали 400—600° С, чугуна 500—800° С, алюминия 200—270° С, бронзы 300—400° С. Низкотемпературный подогрев до 100—300° С нужен в случае сварки при низких окружающих температурах и трудносвариваемых сталей.

11. Соблюдать правильную последовательность наложения швов, при которой в свариваемых элементах, например листах, возможна свободная деформация. Например, при сварке листов настила (рис. 41, а) продольными и поперечными швами сначала выполняют все поперечные швы, соединяющие листы в полосы. После этого сваривают продольные швы, соединяющие полосы между собой. В этом случае листы могут свободно деформироваться в процессе сварки. На рис. 41, б цифрами показана правильная последовательность выполнения швов при сварке листов двутавровой балки.

12. Сваривать швы нужно на проход (при длине шва не более 300 мм) или от середины шва к его концам (при длине до 600 мм). В этом случае в середине шва возникают поперечные напряжения сжатия (рис. 42, а). Если вести сварку от концов шва к середине,

то в средней части появятся поперечные напряжения растяжения (рис. 42, б), отчего в шве или околошовной зоне могут образоваться трещины.

Стремиться к наиболее равномерному распределению тепла по поверхности свариваемых листов. На рис. 43 показан рациональный (а) и нерациональный (б) порядок приварки ребер к настилу из листов толщиной 8 мм. На рис. 43, а сначала свариваются все

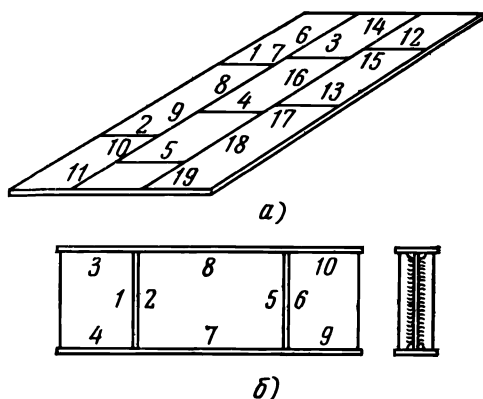


Рис. 41. Последовательность сварки листов:

а — настила, б — двутавровой балки (цифрами обозначена последовательность сварки)

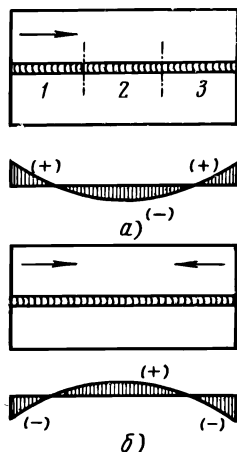


Рис. 42. Напряжения в результате поперечной усадки по длине шва:

а — сварка «на проход», б — сварка от краев (цифрами обозначен порядок наложения швов)

продольные угловые швы с одной стороны ребер, сварка ведется обратно-ступенчатым способом. Затем сваривают поперечные швы, после чего — швы с другой стороны ребер: сначала продольные, потом поперечные. Швы накладывают так, чтобы всегда сваривались наиболее остывшие участки настила, а вызываемые наложением соседних швов деформации уравновешивали бы друг друга. При способе сварки, показанном на рис. 43, б, этот принцип не соблюдается, поэтому настил значительно коробится и объем работ, связанный с последующей правкой, примерно на 30% больше, чем при сварке по схеме, показанной на рис. 43, а.

13. При сварке металла толщиной свыше 14 мм выбирать наиболее целесообразный способ подготовки кромок. На рис. 44 показано влияние на выполнение шва симметричной Х-образной подготовки кромок при многослойной двусторонней сварке. Вследствие большего объема наплавленного металла при сварке второй стороны шва возникла угловая деформация. При сварке стыковых швов, чтобы предупредить коробление листов, применяют времен-

ные ребра жесткости из уголков (рис. 45, а), для тонких листов (до 6 мм) или из прямоугольных планок со скобами для более толстых листов (рис. 45, б). После сварки всего шва эти ребра жесткости срубаются, чтобы предупредить угловую деформацию швов.

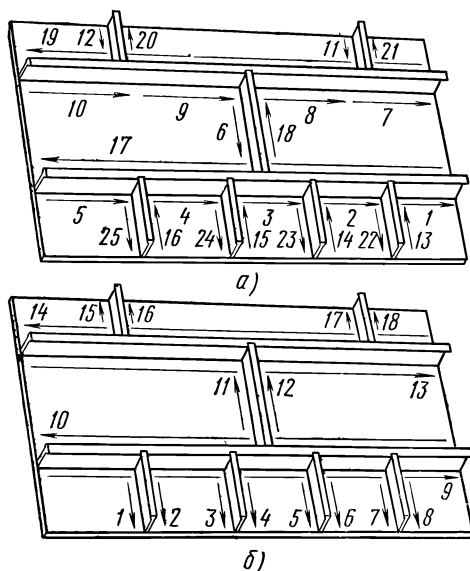


Рис. 43. Рациональный (а) и нерациональный (б) порядок приварки ребер к настилу

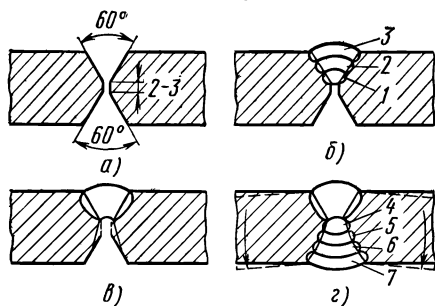


Рис. 44. Угловая деформация при сварке стыкового шва с симметричной Х-образной подготовкой кромок:

а — подготовка кромок, б — сварка первой стороны, в — зачистка корня шва с обратной стороны, г — сварка второй стороны (цифрами указан порядок наложения слоев шва)

При сварке тавровых соединений (рис. 45, в) приваривают временные распорки из уголка или тавра. Снижения поперечной усадки в стыковых швах можно достигнуть также уменьшением угла раскрытия кромок до 50° вместо обычно применяемого угла в 60° , а также применением V-образной подготовки кромок с увеличенным до 3—5 мм затуплением. При этом придерживаются указанной цифрами последовательности наложения швов, которая почти полностью исключает угловые деформации (рис. 46). При V-образной подготовке кромок затупление занимает $\frac{1}{3}$ толщины металла, а $\frac{2}{3}$ приходится на скошенную часть.

14. Металл большой толщины (свыше 20—25 мм) сваривать многослойным швом. В этом случае швы накладывают «горкой» (рис. 47, а) или «каскадом» (рис. 47, б). Заполнив горку, сварку ведут в обе стороны от нее короткими валиками тем же способом. При этом зона сварки все время поддерживается в нагретом состоянии,

что обеспечивает более равномерное распределение тепла и уменьшение напряжений в металле.

15. Проковывать в случае необходимости каждый слой многослойного шва ударами пневмозубила с закругленным бойком. Пос-

ледный слой проковке не подвергается. Однако этот способ трудоемкий, требует наличия пневмоинструмента, создает шум в цехе и поэтому может быть использован только в отдельных случаях.

16. С целью уменьшения коробления листов швы длиной более 600 мм выполнять в обратноступенчатом порядке. Чем короче шов, тем меньше деформируется изделие. Длинный шов делят на участки длиной 150—200 мм с таким расчетом, чтобы каждый участок мог быть сварен одним электродом или целым числом электродов.

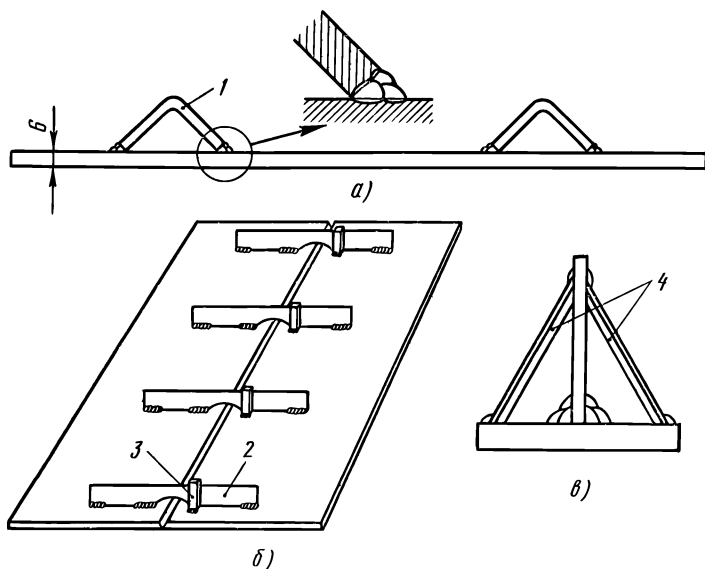


Рис. 45. Применение временных ребер жесткости при сварке листов встык и распорок при сварке втавр:

а — ребра из уголков, *б* — ребра из планок со скобами, *в* — распорки; 1 — ребра, 2 — планки, 3 — скобы, 4 — распорки

Сварку ведут в порядке, указанном на рис. 48, начиная с начала шва, а длинные швы — с середины. В этом случае деформации, возникающие при наложении соседних коротких участков шва, будут иметь противоположное направление.

При обратноступенчатой сварке многослойных швов каждый последующий слой накладывают в обратном направлении по отношению к предыдущему. Стыки разных слоев должны располагаться вразбежку, т. е. не совпадать друг с другом. Уменьшение деформаций при обратноступенчатом способе наложения шва объясняется также и тем, что при нагреве тепло распределяется более равномерно. Весь шов получает равномерные деформации, как это схематически показано на рис. 48 (внизу).

17. Уравновешивать деформации, для чего порядок наложения швов должен быть таким, чтобы последующий шов вызывал де-

формации, обратные тем, которые возникли при наложении предыдущего шва. На рис. 49, *а* показан порядок наложения швов при сварке балки двутаврового сечения. Деформации шва 2 действуют в направлении, противоположном деформациям шва 1, выпрямляя

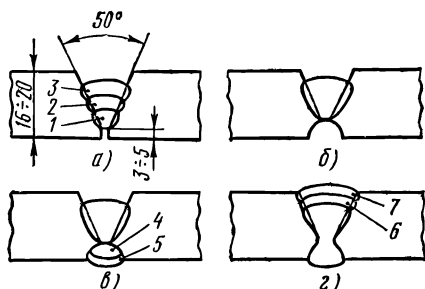


Рис. 46. Сварка с V-образной подго-товкой и уменьшенным углом раскры-тия стыкового шва:

а — сварка верхней половины шва, *б* — за-щистка корня шва, *в* — сварка корня шва с обратной стороны, *г* — окончательная за-варка верхней половины шва (цифрами обозначен порядок наложения слоев шва)

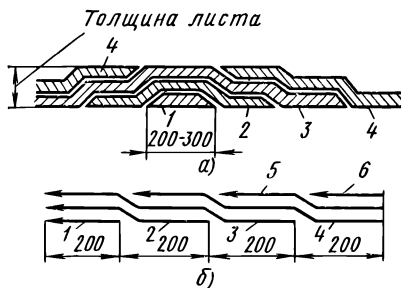


Рис. 47. Последовательность наложе-ния швов при многослойной сварке: *а* — горкой, *б* — каскадом (цифрами пока-зан порядок наложения швов)

балку, покоробившуюся при сварке шва 1. То же происходит при наложении швов 3 и 4. Можно также сваривать швы без искрив-ления в таком порядке: 1; 4; 3 и 2. На рис. 49, *б, в и г* цифрами показан порядок наложения вали-ков при продольной наплавке круглого стержня. Валики накла-дываются с разных сторон стерж-ня на небольшой его ширине. Не следует наплавлять сначала одну половину стержня, а затем вто-рую (см. рис. 49, *б*), так как в этом случае первоначальные де-формации могут полностью не уничтожиться и вал искривится.



Рис. 48. Обратноступенчатый порядок наложения швов (длинной стрелкой показано общее направление сварки, короткими стрелками — направление сварки участков шва)

используют в конструкциях, у которых сварные швы расположены только с одной стороны оси изделия, или на разных расстояниях от нее. Величина предварительной деформации для низкоуглероди-стой стали Ст 3 должна составлять 1—2% от первоначальных раз-меров и зависит от формы изделия.

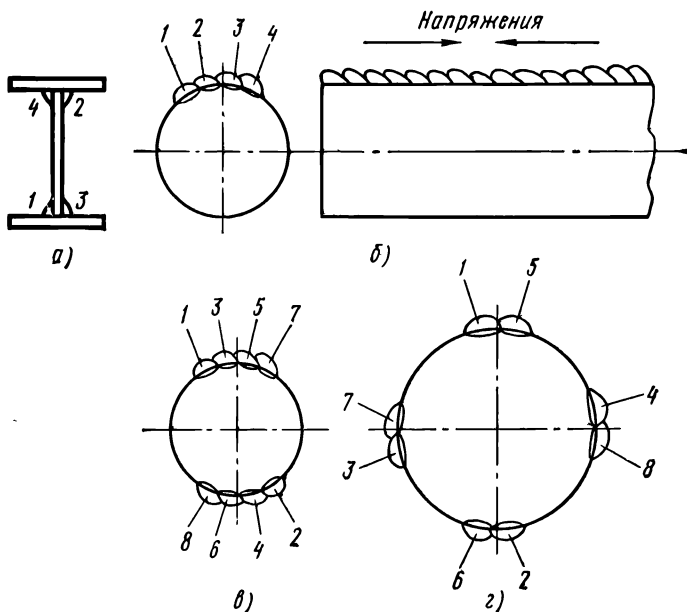


Рис. 49. Уравновешивание деформаций:

а — порядок сварки швов двутавровой балки, *б, в, г* — наплавка валика на тела вращения — оси, валы и т. п. (*б* — неправильно, *в* — правильно, *г* — порядок наложения валиков на вал большого диаметра)

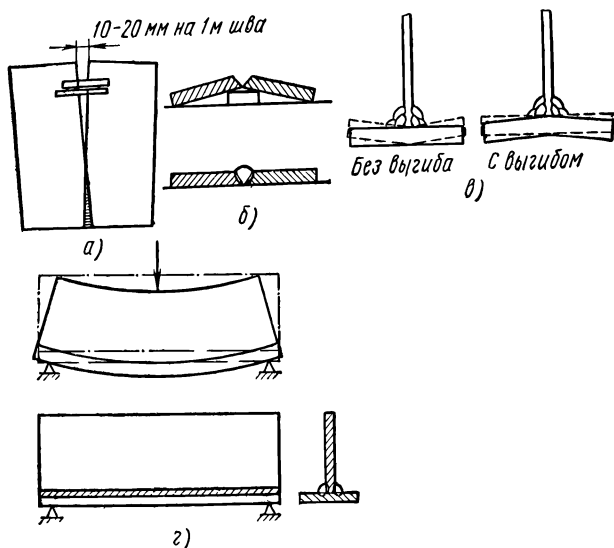


Рис. 50. Примеры использования обратных деформаций:

а — установка листов с предварительным зазором на конце шва, *б* — установка листов под углом, *в* и *г* — предварительный выгиб в обратном направлении

При сварке тавровых соединений угловую деформацию (рис. 52, *а*) можно устранить подготовкой кромок под сварку с увеличенным зазором (рис. 52, *б*). В этом случае деформация резко уменьшается, так как металл шва имеет возможность свободной усадки в направлении, обозначенном стрелками (рис. 52, *в*).

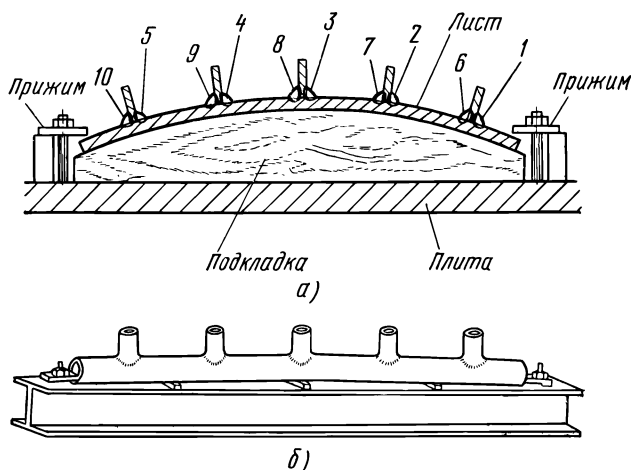


Рис. 51. Обратные деформации:

а — листа при приварке ребер жесткости (цифрами указан порядок сварки швов), *б* — труба, к которой приваривают патрубки

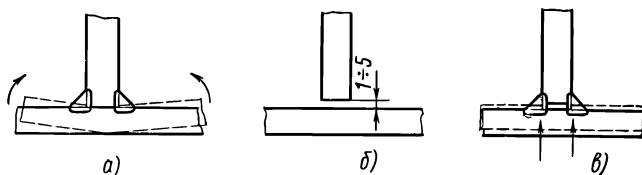


Рис. 52. Уменьшение угловой деформации при сварке тавровых соединений путем увеличения зазора в стыке:

а — деформация при малом зазоре, *б* — подготовка с увеличенным зазором до 1 ± 5 мм, *в* — шов после сварки с увеличенным зазором (стрелки указывают направление деформации)

19. Применять искусственное охлаждение в процессе сварки, что уменьшает зону нагрева металла и деформацию изделия. Для охлаждения изделие погружают в воду, оставляя на поверхности только свариваемое место, или кладут под шов толстую подкладку из хорошей меди, которая обладает высокой теплопроводностью и хорошо отводит тепло, или массивную подкладку из стали. Использование медных и стальных подкладок дает хороший результат при сварке тонколистовой нержавеющей стали, когда

необходимо обеспечить хороший отвод тепла во избежание сильного перегрева и коробления изделия. Иногда медные и стальные подкладки дополнительно охлаждаются водой, пропуская ее по каналам, сделанным в теле подкладки.

20. Применять отжиг или нормализацию изделия после сварки. Отжиг или нормализация полностью устраняют внутренние напряжения в изделии, возникающие при сварке.

21. Применять холодную или горячую правку изделий после сварки. Холодная правка производится домкратами, прессом, ударами молота или кувалды со стороны наибольшего выгиба изделия. Этот способ довольно дорогой, трудоемкий, и при неправильном применении может привести к появлению трещин, разрывов в швах и основном металле.

22. Весьма эффективным является метод исправления деформаций тонколистовых изделий путем холодной прокатки роликами шва и околосшовной зоны после сварки на ширине 7—20 мм. Необходимое давление определяют по формуле

$$P_0 = b \sqrt{\frac{10,1 \cdot d \cdot h \cdot \sigma_T^3}{E}},$$

где P_0 — усилие нажатия ролика, кгс;

b — ширина рабочего пояса ролика, см;

d — диаметр ролика, см;

h — толщина прокатываемого металла, см;

σ_T и E — предел текучести и модуль упругости прокатываемого металла, кгс/см².

При прокатке в металле появляются пластические деформации, устраняющие возникшие напряжения и вызванную ими деформацию. С этой же целью в процессе сварки тонкие листы проковывают молотком, чтобы избежать появления так называемых «хлопунов» при нагреве.

23. При горячей правке осуществляется местный нагрев сварочными горелками до температуры пластического состояния участка металла на выпуклой стороне изделий. При остывании на этом участке возникают напряжения растяжения, выправляющие изделие. Для устранения остаточных напряжений после холодной или горячей правки, если это требуется по условиям работы конструкции, производят термообработку сварного изделия. В качестве примера на рис. 53, а, б, в даны схемы нагрева при горячей правке. Штрихом указано направление изгиба в процессе предварительного нагрева, стрелками — направление нагрева, цифрами — очередность нагрева, а заштрихованными участками — зоны нагрева. При последующем охлаждении балка будет изгибаться в обратном (указанному штрихом) направлении и в большей степени. В двутавровой балке при сварке полки изгибаются: верхняя — краями вниз, а нижняя — краями вверх. Вертикальная стенка изгибается в вертикальной плоскости и образуется серповидность. При помощи нагрева правят сначала верхнюю полку,

затем — нижнюю и вертикальную стенку и в последнюю очередь серповидность.

На рис. 53, з показана правка нагревом выпучин в тонком листе. При правке лист нагревают отдельными участками (пятнами) в местах, указанных точками и расположенных по основанию выпучины. Каждый следующий участок нагревают после остывания предыдущего. Стрелками показан порядок и направление нагрева.

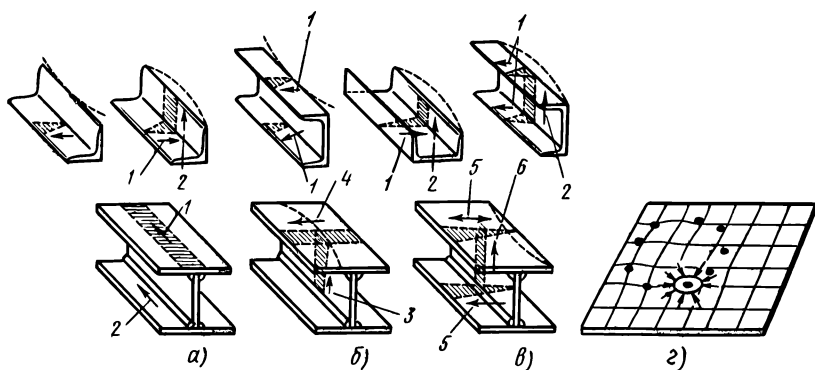


Рис. 53. Нагрев при правке угольников, швеллеров, двутавровых балок и листов:

а — правка верхней и нижней полки уголков и балок, *б* — правка вертикальной стенки, *в* — правка серповидности, *г* — правка выпучины тонкого листа

24. Для устранения концентрации напряжений вдоль шва и предупреждения перехода металла в хрупкое состояние, особенно при низких окружающих температурах, ИЭС им. Е. О. Патона рекомендует способ последующей местной электродуговой обработки кромки шва неплавящимся электродом в аргоне. Этим обеспечивается плавный переход от шва к основному металлу и повышается надежность сварных соединений при низких окружающих температурах.

§ 5. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СВАРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Термическая обработка изделий после сварки производится для устранения (снятия) в них остаточных напряжений в тех случаях, когда это требуется техническими условиями на изготовление данного изделия. Применяют следующие виды термической обработки.

Полный отжиг. Стальное изделие нагревают до $820\text{—}930^\circ\text{C}$, выдерживают при этой температуре и затем медленно охлаждают.

Полный отжиг обеспечивает:

1) получение мелкозернистого строения, что повышает пластичность металла шва и переходной зоны. Благодаря улучшению сцепления между зернами возрастает вязкость металла;

2) понижение твердости металла шва, что облегчает последующую обработку его резанием или давлением;

3) уничтожение внутренних напряжений в сварном изделии.

Время выдержки при температуре отжига составляет от 0,75 до 1 мин на 1 мм толщины изделия; общее время выдержки должно быть не менее 30 мин. Затем изделие медленно охлаждают вместе с печью со скоростью от 50 до 75° в час до температуры 300° С, после чего его можно вынуть из печи и охлаждать на спокойном воздухе.

Слишком длительная выдержка при температуре отжига вредна, так как способствует росту зерен. Особенно это сказывается на мягкой низкоуглеродистой стали при температуре выше 1000° С. Ниже этой температуры рост зерна будет незначителен даже при

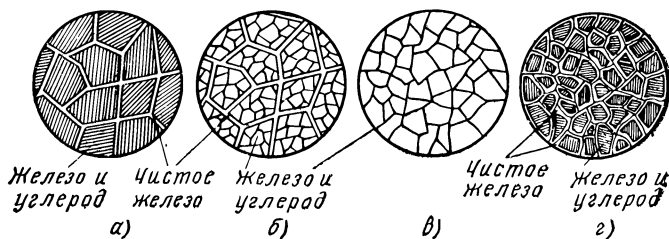


Рис. 54. Схема изменения структуры низкоуглеродистой стали при отжиге

выдержке до 7—8 ч. На рис. 54 показана схема изменения структуры стали при полном отжиге. До отжига металл имеет крупнозернистое строение (рис. 54, а). При определенной температуре внутри крупных зерен образуются мелкие зерна (рис. 54, б). К концу нагревания этот процесс заканчивается и металл приобретает равномерное и однородное строение (рис. 54, в). Если сталь начать медленно охлаждать, то мелкозернистое строение сохранится, а по границам зерен выделится мягкое пластичное чистое железо — феррит (рис. 54, г), обеспечивающий хорошую связь между зёрнами и делающий сталь вязкой и пластичной. Такая структура остается и после отжига.

Если при отжиге нагревать сталь до 1200° С, т. е. до начала оплавления в среде, содержащей кислород, то произойдет не только перегрев, но и пережог (окисление) металла. Пережженная сталь имеет окисленные с поверхности зерна, обладает большой хрупкостью и малой прочностью. Если перегретую сталь можно исправить повторным отжигом, то пережженный металл исправить нельзя.

Нормализация. Нормализация отличается от полного отжига большей скоростью охлаждения. Повышенная скорость охлаждения в первые моменты после нагрева позволяет получить мелкозернистое строение металла. С этой целью сварное изделие после

нагрева до температуры на 20—30° выше критической (см. гл. IV, § 3) и выдержки вынимают из печи и охлаждают на воздухе.

При нормализации металл шва получается несколько более прочным, но менее пластичным, чем при отжиге. Чем больше углерода и марганца содержит сталь, тем более заметно понижение пластичности при нормализации. Для мягкой низкоуглеродистой стали, содержащей менее 0,2% углерода, вместо отжига рекомендуется применять нормализацию.

Отжиг для снятия напряжений (низкотемпературный отжиг или высокий отпуск). Для снятия напряжений изделие нагревают до 600—650°С и после выдержки (из расчета 2—2,5 мин на 1 мм толщины металла, но не менее 30 мин) подвергают медленному охлаждению вместе с печью. Поскольку при этом металл нагревается до температуры, лежащей ниже критической, изменений структуры не происходит.

При отпуске изделие можно нагревать до более низкой температуры, но тогда напряжения частично останутся в изделии, хотя «пики» их значительно снизятся. Так, например, при 400—500°С снимается до 50%, а при 200—300°С — до 10—20% остаточных напряжений, возникающих в процессе сварки.

Для отжига и нормализации всей сварной конструкции требуются соответствующие печи.

Высокий отпуск устраняет остаточные напряжения и повышает пластичность металла, но не ликвидирует сварочные деформации. Для устранения деформаций детали следует предварительно зажать в приспособление, придав им требуемую форму, а затем подвергнуть высокому отпуску. После этого детали сохраняют ту форму, какую они имели в приспособлении.

§ 6. ВЛИЯНИЕ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР НА СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Влияние низких температур на основной металл. При понижении температуры ниже известного предела обычные углеродистые стали и наплавленный металл становятся хрупкими и их ударная вязкость резко понижается, хотя временное сопротивление стали при этом даже возрастает. Если при температуре 20°С ударная вязкость стали Ст3 около 13 кгс·м/см², то при —40°С она составит только 0,5—1 кгс·м/см². Поэтому сварные соединения из обычной стали при температуре ниже —40° могут давать трещины при ударных нагрузках или в местах концентрации напряжений.

Отжиг после сварки устраняет внутренние напряжения и повышает надежность эксплуатации конструкции при пониженных температурах.

Низкоуглеродистые легированные стали, содержащие свыше 3% никеля, например нержавеющей хромоникелевые стали, а также цветные металлы (медь, латунь, алюминий) не уменьшают своей ударной вязкости даже при очень низких температурах (до —250°С) и не становятся хрупкими. Поэтому их широко исполь-

зуют в изделиях, работающих при низких температурах, например, в аппаратах и сосудах для получения и хранения жидкого воздуха, жидкого кислорода, жидкого водорода, жидкого гелия и пр.

Сварка при низких окружающих температурах. Низкая окружающая температура при выполнении сварки (сварка на холоде) оказывает влияние на механические свойства наплавленного металла низкоуглеродистой стали. При температуре ниже -20°C сталь Ст3 несколько понижает ударную вязкость, заметно уменьшается угол загиба, что свидетельствует о повышении хрупкости металла сварного шва. Поэтому в шве могут образоваться трещины уже в процессе сварки на холоде. Наибольшие трудности возникают при сварке на холоде сталей, содержащих углерода свыше 0,25%, а также легированных марганцем, хромом и молибденом, склонных к закалке. В этом случае вследствие быстрого охлаждения участков, прилегающих к сварному шву, которые при этом частично закаливаются и становятся более твердыми и хрупкими, могут появиться трещины. Для предупреждения образования трещин такие стали на холоде следует сваривать с предварительным подогревом места сварки и медленным охлаждением шва после сварки.

В условиях строительства в северных районах страны иногда приходится приостанавливать сварку, если окружающая температура ниже минус $40-45^{\circ}\text{C}$.

Сварка на холоде хромоникелевых нержавеющей сталей и цветных металлов не влияет на свойства наплавленного металла и поэтому вполне допустима.

Для подогрева изделий при сварке на холоде применяют индукционные нагревательные устройства — индукторы (рис. 55). Нагревательное устройство состоит из стального магнитопровода и обмотки. На рис. 55, а изображен индуктор с незамкнутым сердечником 1, которым он устанавливается на нагреваемый лист 3, а обмотка 2 подключается к вторичной обмотке сварочного трансформатора 4.

Свободные концы обмотки нагревателя и вторичной обмотки трансформатора замыкаются на нагреваемое изделие. При прохождении по обмотке индуктора переменного тока в магнитопроводе и воздушном пространстве около полюсов сердечника возникает сильное переменное магнитное поле, которое индуцирует электродвижущую силу в нагреваемом изделии. Под действием электродвижущей силы в изделии возникают вихревые токи, нагревающие металл.

Для нагрева труб, колонн, стержней и резервуаров небольшого диаметра применяют индукторы без специального сердечника (рис. 55, б), которым в данном случае служит сама нагреваемая труба 1, вокруг трубы навивается обмотка 2, включаемая последовательно во вторичную обмотку сварочного трансформатора 3.

Переносные индукторы для подогрева имеют мощность порядка 9—10 ква и вес около 30 кг. Скорость нагрева составляет 70—

80 град/мин. Переменное магнитное поле индуктора оказывает влияние на сварочную дугу, вызывая «магнитное дутье», которое распространяется на расстояние около 100 мм от индуктора.

Температура нагрева металла определяется путем нанесения на него полосок термокраски (термоиндикатора) *, которая при

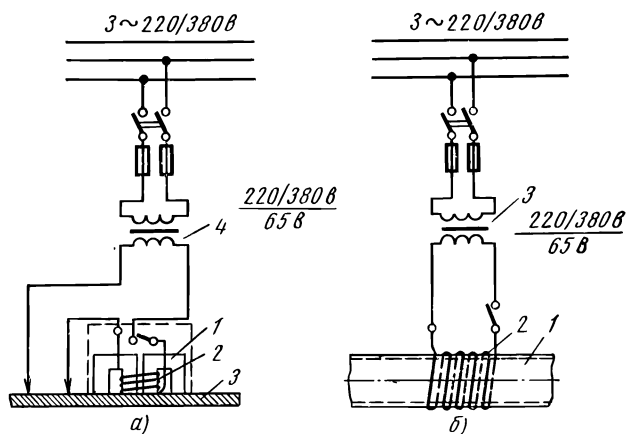


Рис. 55. Схемы индукторов для подогрева:
а — с сердечником, б — без сердечника

нагревании до 150—200°С изменяет свой цвет. Нагревание ведется вдоль оси шва участками длиной до 800 мм и шириной до 200 мм, для чего индуктор на данном участке устанавливается дважды.

В многослойных швах подогрев индуктором производится только при наложении первого валика. Последующие слои нужно наплавлять на металл, не полностью остывший после наплавки предыдущего слоя.

* Термоиндикаторы выпускаются в виде термокрасок по ТУ ЯН-25—58 и применяются для температур от 45 до 510°С, точность замера $\pm 10^\circ$.

Глава VII

СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ И ШВЫ

§ 1. ВИДЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И ШВОВ

Сварным соединением называют совокупность деталей, соединенных сварным швом. При дуговой сварке применяют следующие виды соединений: стыковые, внахлестку, тавровые и угловые; в ряде случаев используются соединения прорезные, торцовые, с накладками, электрозаклепками (рис. 56).

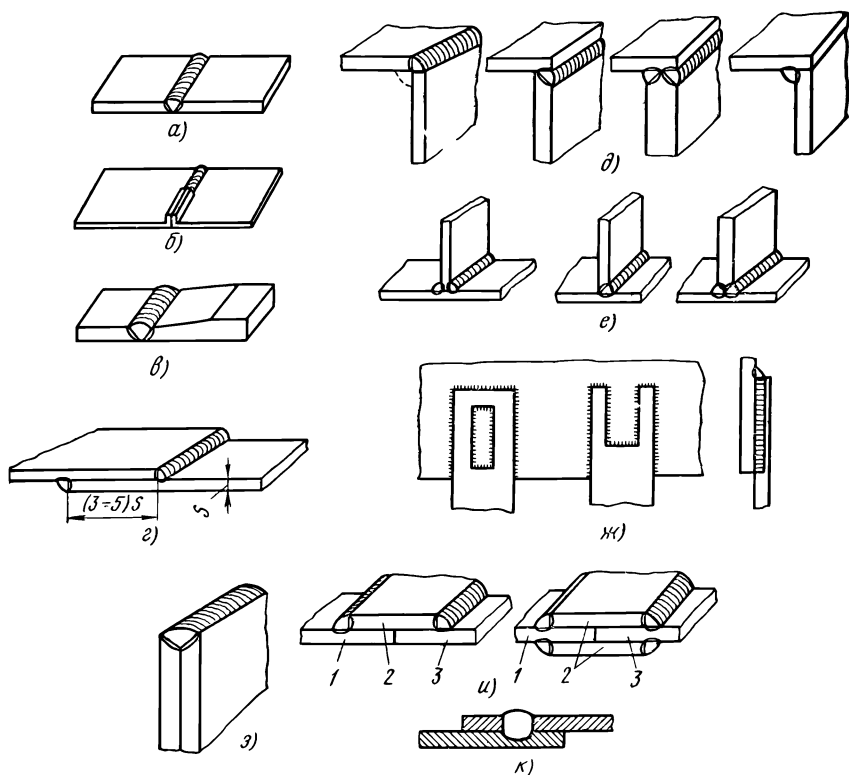


Рис. 56. Сварные соединения:

а — стыковые, *б* — стыковые с отбортовкой, *в* — стыковые листов разной толщины, *г* — анахлестку, *д* — угловые, *е* — тавровые, *ж* — прорезные, *з* — торцовые (боковые), *и* — с накладками, *к* — электрозаклепками

Стыковые соединения. Стыковые соединения (рис. 56, а) являются самыми распространенными, так как дают наименьшие собственные напряжения и деформации при сварке, а также высокую прочность при статических и динамических нагрузках. Они применяются в конструкциях из листового металла и при стыковке уголков, швеллеров, двутавров и труб. Соединения встык требуют наименьшего расхода основного и наплавленного металла. При стыковых соединениях нужна тщательная подготовка листов под сварку и достаточно точная подгонка их друг к другу.

Листы толщиной 1—3 мм можно сваривать встык с отбортовкой, без зазора и без присадочного металла (рис. 56, б).

При ручной дуговой сварке стальных листов толщиной 3—8 мм кромки обрезают под прямым углом к поверхности, а листы располагают с зазором 0,5—2 мм.

Без скоса кромок можно сваривать встык листы до 6 мм при односторонней и до 8 мм при двусторонней сварке.

Листы толщиной от 3 до 26 мм при ручной дуговой сварке сваривают встык с односторонним скосом одной или двух кромок. Этот вид подготовки кромок называется V-образным. Листы толщиной 12—40 мм сваривают с двусторонним скосом кромок, называемым Х-образным при скосе обеих кромок и К-образным при скосе одной кромки.

Кромки притупляют с целью предотвратить протекание металла при сварке (прожог). Зазор между кромками оставляется для облегчения провара корня шва (нижних частей кромок). Большое значение для качества сварки имеет сохранение одинаковой ширины зазора по всей длине шва, т. е. соблюдение параллельности кромок.

Двусторонний скос (Х-образный) имеет преимущества перед односторонним (V-образным), так как при одной и той же толщине листов объем наплавленного металла будет почти в два раза меньше, чем при одностороннем скосе кромок. Соответственно уменьшится расход электродов и электроэнергии при сварке. Кроме того, при двустороннем скосе кромок возникают меньшие коробления и остаточные напряжения, чем при одностороннем. Поэтому листы толщиной свыше 12 мм лучше сваривать с Х-образным скосом кромок. Однако это не всегда осуществимо из-за конструкции и размеров изделия.

При ручной дуговой сварке стали толщиной 20—60 мм применяют также криволинейный U-образный скос одной или двух кромок с целью уменьшения объема наплавленного металла, что увеличивает производительность сварки и дает экономию электродов. При сварке встык листов неодинаковой толщины более толстый лист скашивается в большей степени (рис. 56, в).

Соединения внахлестку. Соединения внахлестку (рис. 56, г) преимущественно применяются при дуговой сварке строительных конструкций из стали толщиной не более 10—12 мм. В отдельных случаях их используют и при сварке листов большей толщины (но не свыше 20—25 мм). Соединения внахлестку не требуют спе-

циальной обработки кромок, кроме обрезки. В таких соединениях рекомендуется по возможности сваривать листы с обеих сторон, так как при односторонней сварке в щель между листами может попасть влага и вызвать последующее ржавление металла в сварном соединении.

Сборка изделия и подготовка листов при сварке внахлестку упрощаются, однако расход основного и наплавленного металла больше, чем при сварке встык. Соединения внахлестку менее прочны при переменных и ударных нагрузках, чем стыковые. При роликовой и точечной контактной электросварке в основном применяют соединения внахлестку.

Угловые соединения. Такие соединения (рис. 56, д) применяют при сварке по кромкам, расположенным под прямым или иным углом друг к другу. Используются, например, при сварке резервуаров, емкостей, сосудов, фланцев трубопроводов и других изделий, работающих под небольшим давлением (ниже $0,7 \text{ кгс/см}^2$), неответственного назначения. Иногда угловые соединения проваривают также и с внутренней стороны. Для металла толщиной 1—3 мм можно применять угловые соединения с отбортовкой и сваркой без присадочного металла.

Тавровые соединения. Тавровые соединения (рис. 56, е) широко используются при дуговой сварке балок, колонн, стоек, каркасов ферм и других строительных конструкций. Выполняются без скоса и со скосом кромок одной или двух сторон. Вертикальный лист должен иметь достаточно ровно обрезанную кромку. При одностороннем и двустороннем скосе кромки между вертикальным и горизонтальным листами оставляется зазор для лучшего провара вертикального листа на всю толщину. Односторонний скос нужен в том случае, если конструкция изделия не позволяет произвести сварку таврового соединения с обеих сторон. В соединениях без скоса кромок возможен непровар в корне шва, поэтому такой шов может разрушиться при вибрационных и ударных нагрузках. В тавровых соединениях со скосом кромок обеспечивается необходимая прочность при любых видах нагрузок.

Прорезные соединения. Эти соединения (рис. 56, ж) применяются, когда длина нормального шва внахлестку не обеспечивает достаточной прочности. Прорезные соединения бывают закрытого или открытого типа. Прорезь может выполняться кислородной, воздушно-дуговой и плазменной резкой.

Торцовые, или боковые, соединения. Такие соединения показаны на рис. 56, з. Листы сваривают по смежным торцам.

Соединения с накладками (рис. 56, и). Накладка 2, перекрывая стык листов 1 и 3, приваривается по боковым кромкам к поверхности листов. Эти соединения требуют дополнительного расхода металла на накладки и поэтому применяются только в тех случаях, когда не могут быть заменены стыковыми или нахлесточными соединениями.

Соединения электрозаклепками. При помощи электрозаклепок получают прочные, но не плотные соединения (рис. 56, к). Верх-

ний лист пробивается или просверливается, и отверстие заваривается так, чтобы был захвачен нижний лист. При толщине верхнего листа до 3 мм его предварительно не просверливают, а проплавляют дугой при сварке заклепки. Электрозаклепочные швы применяют в нахлесточных и тавровых соединениях.

Основные типы и конструктивные элементы электрозаклепочных швов сварных соединений регламентируются ГОСТ 14776—69.

Описанные соединения являются типовыми для ручной дуговой сварки стали. При газовой сварке, сварке под флюсом, сварке

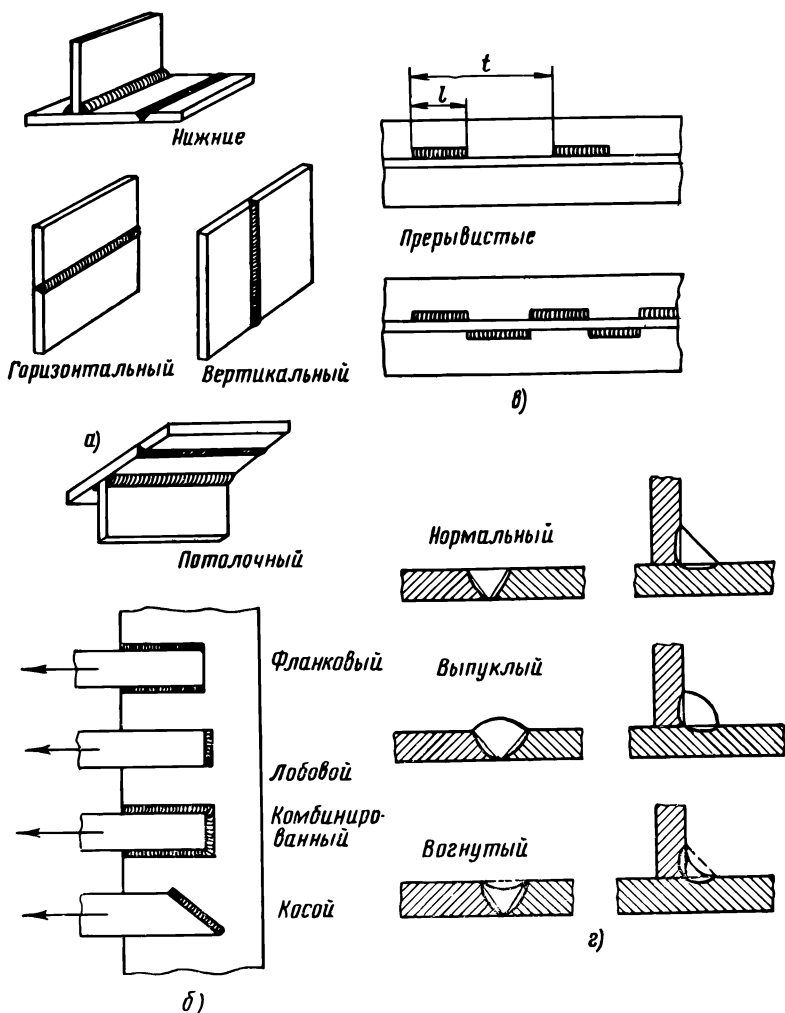


Рис. 57. Классификация сварных швов:

а — по положению в пространстве, б — по отношению к действующему усилию, в — по протяженности, г — по объему наплавленного металла

легкоплавких цветных металлов и в других случаях формы кромок могут быть иными. Сведения о них приведены в последующих главах при описании этих способов сварки.

Формы подготовки и углы скоса кромок, зазоры и допускаемые при этом отклонения для швов сварных соединений при ручной дуговой сварке регламентируются ГОСТ 5264—69.

Виды швов. Существуют следующие виды сварных швов:

1. По положению в пространстве — нижние, горизонтальные, вертикальные и потолочные (рис. 57, *а*). Наиболее простым по выполнению является нижний шов, наиболее трудоемким — потолочный. Потолочные швы могут выполнять сварщики, специально освоившие этот вид сварки. Выполнять потолочные швы дуговой сваркой труднее, чем газовой. Сварка горизонтальных и вертикальных швов на вертикальной поверхности несколько сложнее, чем сварка нижних швов.

2. По отношению к действующим усилиям — фланковые*, лобовые, комбинированные и косые (рис. 57, *б*).

3. По протяженности — непрерывные и прерывистые (рис. 57, *в*). Прерывистые швы применяют в тех случаях, когда соединение не должно быть плотным, а по расчету на прочность не требуется сплошного шва.

Длина отдельных участков прерывистого шва (l) составляет от 50 до 150 мм; расстояние между участками шва обычно в 1,5—2,5 раза больше длины участка; величина t называется шагом шва. Прерывистые швы применяют довольно широко, так как они обеспечивают экономию наплавленного металла, времени и стоимости сварки.

4. По количеству наплавленного металла или степени выпуклости — нормальные, выпуклые и вогнутые (рис. 57, *г*). Выпуклость шва зависит от типа применяемых электродов: при сварке тонкопокрытыми электродами получают швы с большой выпуклостью. При сварке толстопокрытыми электродами, вследствие большей жидкотекучести расплавленного металла, обычно получают нормальные швы.

Швы с большой выпуклостью не всегда обеспечивают повышенную прочность сварного соединения, особенно если оно подвергается переменным нагрузкам и вибрациям. Это объясняется тем, что в швах с большой выпуклостью нельзя получить плавного перехода от валика к основному металлу и в этом месте образуется нечто вроде «подреза» кромок, где и происходит кон-

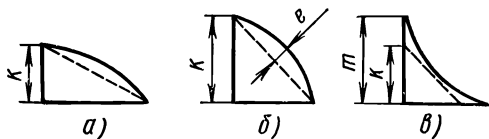


Рис. 58. Угловые швы:

а — неравнобокий выпуклый, *б* — равнобокий выпуклый, *в* — вогнутый

* Термин «фланковый» принят ГОСТ 2601—44*. В литературе часто встречается термин «фланговый», что равнозначно.

центрация напряжений. При действии переменных ударных или вибрационных нагрузок с этого места может начаться разрушение сварного соединения. Швы с большой выпуклостью неэкономичны, так как на их выполнение расходуется больше электродов, времени и электроэнергии.

5. По типу соединения — стыковые и угловые. Угловые швы применяются при выполнении соединений внахлестку, тавровых, угловых, с накладками, прорезных, торцовых. Сторона k углового шва (рис. 58) называется *катетом*.

При определении катета k в швах, изображенных на рис. 58, *а*, принимается меньший катет вписанного в сечение шва треугольника; в швах, показанных на рис. 58, *б* и *в*, принимается катет вписанного равнобедренного треугольника.

ГОСТ 5264—69 допускает выпуклость шва e : при нижнем положении сварки — до 2 мм, при ином положении сварки — до 3 мм. Приращение катета ($m-k$) при любом положении шва допускается до 3 мм.

§ 2. ИЗОБРАЖЕНИЕ И ОБОЗНАЧЕНИЕ ШВОВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Сварные швы изображаются и обозначаются на чертежах условно, в соответствии с ГОСТ 2,312—68. Видимые швы изображают сплошными основными линиями, невидимые — штриховыми линиями. Если шов выполняется на подкладке, то остающуюся подкладку в разрезе штрихуют, съемную — нет. Шов со стороны подкладки изображают как невидимый.

Условные обозначения швов делятся на: *а* — основные, наносимые на чертежах, и *б* — дополнительные (буквенно-цифровые), применяемые при переписке и в нормативно-технической документации.

Основные обозначения включают: буквенное обозначение вида, метода сварки и при необходимости способа сварки; условный графический знак шва; размер сечения шва в мм; длину шва в мм; вспомогательный знак. Дополнительное обозначение состоит из: буквы, определяющей вид сварного соединения (С — стыковое, У — угловое, Т — тавровое, Н — внахлестку); цифры, определяющей тип сварного соединения по соответствующему ГОСТу или техническому документу (например, С11 ГОСТ 8713—58, что означает: стыковое, тип 11 по ГОСТ 8713—58). Для обозначения видов и методов сварки используются следующие буквенные обозначения: Г — газовая, Э — дуговая электросварка, Ф — дуговая электросварка под флюсом, З — дуговая электросварка в защитных газах, Ш — электрошлаковая, Кт — контактная, Уз — ультразвуковая, Тр — трением, Х — холодная, Пз — дуговая плазменная, Эл — электронно-лучевая, Дф — диффузионная, Лз — лазером, Вз — взрывом, И — индукционная, Гп — газопрессовая, Тм — термитная. Для швов, выполненных дуговой электросваркой, буквенное обозначение вида сварки (Э) в основном обозначении не проставляется. Перед буквенным обозначени-

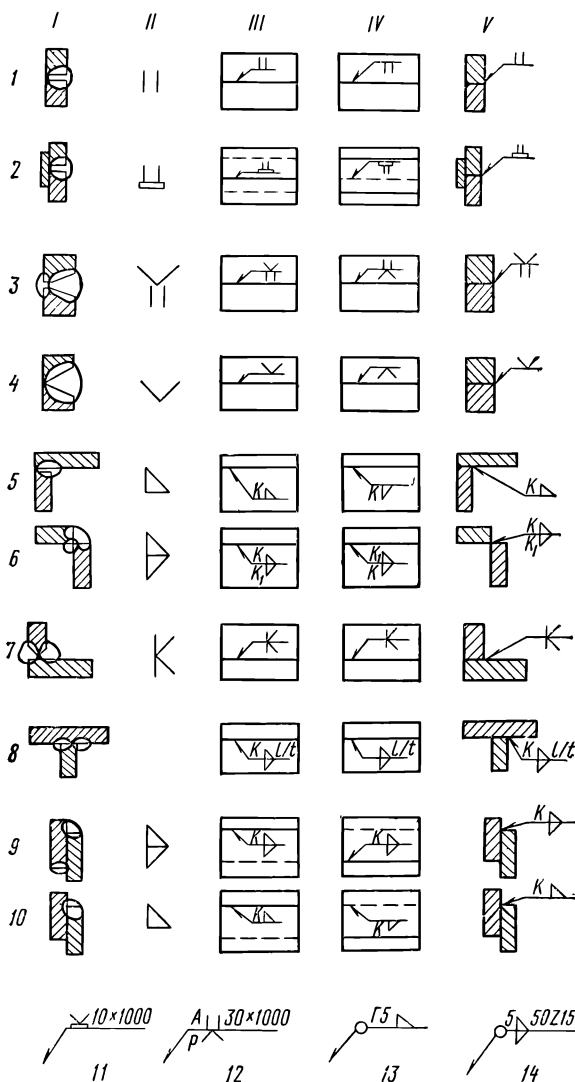


Рис. 59. Примеры условных изображений и обозначений швов сварных соединений:

I — поперечные сечения, *II* — графические знаки, *III* — изображение на лицевой стороне, *IV* — то же, на обратной стороне, *V* — то же, в разрезе, стыковые швы

1 — односторонний без скоса кромок, *2* — то же, на остающейся подкладке, *3* — двусторонний со скосом, *4* — односторонний со скосом; угловые швы, *5* — односторонний без скоса кромок, *6* — двусторонний без скоса, *7* — двусторонний с двумя скосами одной кромки; тавровые без скоса кромок: *8* — двусторонний прерывистый; внахлестку без скоса кромок: *9* — двусторонний, *10* — односторонний, *11* — односторонний шов стыкового соединения на остающейся подкладке, со скосом двух кромок, выполненный дуговой электросваркой, толщина шва 10 мм, длина 1000 мм, *12* — двусторонний шов стыкового соединения, выполненный автоматической дуговой электросваркой без скоса кромок, по ручной подварке с V-образным скосом кромок, толщина шва 30 мм, длина 1000 мм, *13* — односторонний шов углового соединения без скоса кромок, с катетом 5 мм, выполненный по замкнутому контуру газовой сваркой, *14* — шов таврового соединения, без скоса кромок, толщиной (расчетный катет шва) 5 мм при длине провариваемого участка 50 мм и шаге 150 мм, с шахматным расположением участков, выполненный по замкнутому контуру дуговой электросваркой

ем вида сварки проставляют буквенное обозначение способа выполнения сварки: Р — ручной, П — полуавтоматический, А — автоматический. Если все швы выполняют одним и тем же видом и способом сварки, то буквы в обозначениях швов не ставят, а дают указание в технических требованиях (условиях).

Месторасположение шва обозначают линией-выноской, которая имеет горизонтальную полку и наклонный участок, заканчивающийся односторонней стрелкой, указывающей месторасположение шва. Основное обозначение шва наносят: над полкой, когда лицевая сторона шва расположена на той стороне соединения, на которой находится стрелка, и под полкой, когда лицевая сторона шва расположена на противоположной (по отношению к стрелке) стороне. Условные графические знаки швов располагают на полках линий-выносок. Примеры условных изображений и обозначений некоторых сварных швов показаны на рис. 59.

§ 3. РАСЧЕТ ШВОВ НА ПРОЧНОСТЬ

В сварных соединениях некоторые швы являются рабочими, а некоторые — связующими (рис. 60). *Рабочими* называются швы,

воспринимающие нагрузку от внешних усилий. При разрушении рабочего шва может разрушиться сварное соединение. *Связующими* называются швы, служащие для соединения нескольких элементов конструкции (например, полос), несущих основную нагрузку. Наплавленный металл связующих швов деформируется вместе с основным металлом элементов, связанных данным швом. Если связующий шов разрушится, то соединение может работать, так как нагрузка воспринимается элементами основного металла. На прочность рассчитываются только рабочие швы.

Прочность сварного соединения должна быть *не ниже прочности основного металла*.

Прочность сварного соединения характеризуется величиной фактических напряжений, возникающих в нем от действующих усилий. Чтобы соединение было прочным, фактические напряжения должны быть ниже

тех, при которых металл шва разрушается. Принимаемые при расчете напряжения называются *расчетными* и обозначаются греческой буквой σ .

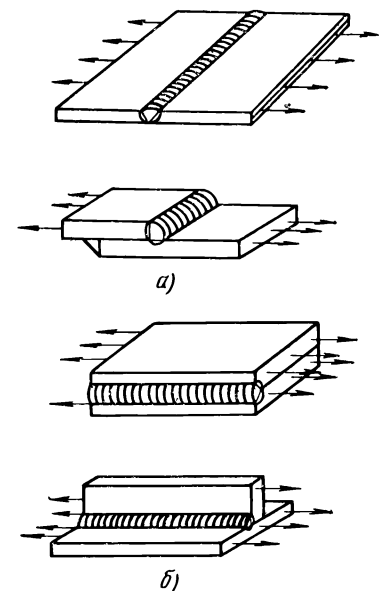


Рис. 60. Швы рабочие (а) и связующие (б)

Расчетное напряжение, т. е. напряжение от расчетных усилий, не должно превышать расчетного сопротивления металла R , т. е.:

$$\sigma \leq R.$$

Величина расчетных сопротивлений (напряжений) регламентируется нормами, установленными для тех или иных конструкций, в зависимости от их назначения, применяемого металла, условий работы, методов контроля и пр.

Расчетное напряжение всегда ниже предела текучести данного металла. Отношение предела текучести σ_T к расчетному напряжению σ называется *запасом прочности*.

$$n_3 = \frac{\sigma_T}{\sigma},$$

где n_3 — запас прочности.

Для стальных изделий запас прочности по пределу текучести обычно равен $n_3 = 1,2 \div 1,6$. Для металлов, не обладающих ясно-выраженным пределом текучести, запас прочности определяют по отношению к временному сопротивлению разрыву σ_B . В этом случае запас прочности составляет обычно $n_B = 3 \div 4$.

Расчетные сопротивления металла стыковых швов R_c^{cb} , принимаемые при расчетах сварных швов стальных строительных конструкций, регламентируются «Строительными нормами и правилами» Госстроя СССР. По этим нормам для ручной, полуавтоматической сварки стыковых швов на стали Ст3 и Ст4 величина R_c^{cb} при растяжении равна: для обычных методов контроля швов (наружным осмотром и обмером) $R_c^{cb} = 1800 \text{ кгс/см}^2$; для повышенных способов контроля (рентгено- и гаммаграфия, ультразвуковая и магнитографическая дефектоскопия и др.) $R_c^{cb} = 2100 \text{ кгс/см}^2$; при срезе $R_{cp}^{cb} = 1300 \text{ кгс/см}^2$. При сварке указанными способами угловых швов Ст3 и Ст4 для всех видов контроля принимают $R_y^{cb} = 1500 \text{ кгс/см}^2$ (при сжатии, растяжении и срезе). Стыковые швы на прочность рассчитывают по формуле

$$N = R_c^{cb} \cdot S \cdot l,$$

где N — предельно допускаемое действующее расчетное усилие, кгс ;

R_c^{cb} — расчетное сопротивление растяжению для металла шва, кгс/см^2 ;

S — толщина металла в расчетном сечении, см ;

l — длина шва, см .

Например, если $R_c^{cb} = 1800 \text{ кгс/см}^2$; $S = 1 \text{ см}$; $l = 20 \text{ см}$, то такой шов может безопасно работать при наибольшем усилии, равном $N = 1800 \cdot 1 \cdot 20 = 36\,000 \text{ кгс}$.

Прочность лобовых угловых швов рассчитывают по формуле

$$N = 0,7 \cdot K \cdot R_y^{cb} \cdot l,$$

где K — высота катета шва, *см*;

R_y^{cb} — расчетное сопротивление срезыванию в угловом шве, *кгс/см²*;

l — длина шва, *см*.

Прочность фланковых угловых швов рассчитывается по формуле *

$$N = 2 \cdot 0,7 \cdot K \cdot R_y^{cb} \cdot l.$$

На рис. 61. показаны обозначения при расчете швов на прочность.

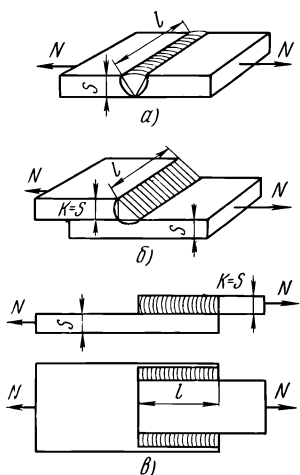


Рис. 61. Обозначения к расчету швов на прочность:

a — стыкового, *б* — углового лобового, *в* — углового фланкового

Пример. Требуется рассчитать угловой фланковый шов. Действующее усилие $N=6000$ *кгс*; катет шва $K=0,8$ *см*; принимая расчетное сопротивление на срезывание $R_y^{cb}=1500$ *кгс/см²*, определяем по формуле необходимую длину шва:

$$l = \frac{N}{2 \cdot 0,7 \cdot K \cdot R_y^{cb}} = \frac{6000}{2 \cdot 0,7 \cdot 0,8 \cdot 1500} = 3,6 \text{ см или } 36 \text{ мм}$$

* По длине фланкового шва напряжения распределяются неравномерно и максимальное значение их приходится на конец шва со стороны приложения усилия. Поэтому при расчете на прочность фланкового шва за расчетную принимают длину шва, равную не более 50 катетам.

Глава VIII

ТЕХНИКА РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ

§ 1. ПОДГОТОВКА МЕТАЛЛА ПОД СВАРКУ

Металл, идущий на изготовление сварных конструкций, предварительно очищают и выправляют.

Очистка должна производиться до сборки узла. В месте сварки кромки тщательно очищают от ржавчины, масла, влаги, окалины, загрязнений, наличие которых приводит к образованию пор и других дефектов. Особенно следует обратить внимание на зачистку в зазоре между кромками. Если в зазор уже собранного узла попали загрязнения, его следует тщательно продуть сжатым воздухом или прожечь пламенем горелки.

Очистка производится ручными и механическими проволочными щетками, иглофрезами, гидropескоструйным и дробеметным способами, пламенем многофакельной горелки, абразивными кругами, травлением в растворах кислот и щелочей, промывкой растворителями.

В крупных цехах для очистки стальных листов после их правки применяют поточный струйный метод последовательной обработки листов 15%-ным раствором ингибированной* соляной кислоты при 40—45° С, промывку водой и нейтрализацию 3—5%-ным раствором кальцинированной соды, промывку и обработку 10%-ным пассивирующим раствором специального состава. Скорость перемещения листа в потоке — 0,5 м/сек.

Перед сваркой кромки деталей, если это предусмотрено чертежами, подвергают обрезке, скосу и очистке. Скос кромок выполняется в соответствии с типом сварного соединения. Для получения ровной и чистой поверхности кромок их иногда обрабатывают на кромкострогальных и торцефрезерных станках, длина обработки на которых может достигать нескольких метров.

Механической обработкой кромок на станках удаляют зону наклепа металла, образовавшуюся при обрезке кромок ножницами, зону термического влияния резки некоторых легированных сталей, повышают точность заготовок и устраняют деформации после кислородной резки, а также придают чашеобразную форму кромкам толстого металла (свыше 30 мм).

* Ингибиторы — специальные химические вещества, предупреждающие последующую коррозию металла.

Машинная кислородная резка является более производительным, дешевым и распространенным способом подготовки кромок под сварку, особенно при большой толщине свариваемого металла (деталей станин, листов котельных барабанов и др.). Машинная кислородная резка должна применяться в тех случаях, когда это

допустимо по техническим условиям на изготовление изделия. Для ускорения процесс резки и скоса кромок выполняют одновременно несколькими резаками, установленными на одной машине под соответствующими углами наклона.

Для обрезки легированных сталей, цветных металлов и их сплавов применяют кислородно-флюсовую и плазменную резку.

На кромках не должно быть зазоров глубиной более 1,5 мм; прямолинейность кромок проверяется с помощью рейки и измерительной линейки, а углы скоса — шаблонами (рис. 62).

Литые заготовки перед сваркой должны быть тщательно очищены от остатков формовочной земли, а имеющаяся на поверхности литейная корка снята наждачным камнем в местах наложения сварных швов.

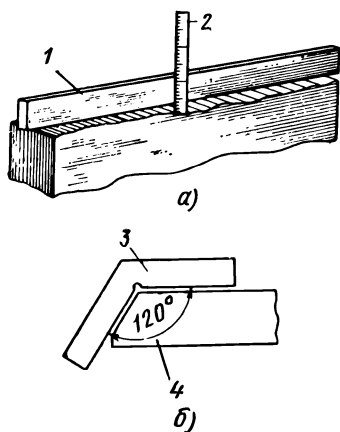


Рис. 62. Проверка подготовки кромок под сварку:

а — прямолинейности, б — угла скоса: 1 — рейка, 2 — измерительная линейка, 3 — шаблон, 4 — кромка

§ 2. СБОРКА ИЗДЕЛИЙ ПОД СВАРКУ

Сборка является ответственной операцией в технологическом процессе изготовления сварных конструкций. При сборке важно обеспечивать требуемую точность пригонки и совпадения кромок свариваемых элементов.

Применяются следующие способы сборки и сварки конструкций:

1. Сборка узла или конструкции в целом с последующей сваркой; этим способом при нескольких сварочных операциях изготавливаются простые узлы и конструкции, состоящие из 2—3 заготовок.

2. Последовательная сборка и сварка путем наращивания отдельных элементов. Применяется в тех случаях, когда невозможно полностью сварить собранную конструкцию. Этот способ малопроизводителен.

3. Поузловая сборка и сварка с последующей сборкой и сваркой конструкций из этих узлов. Данный способ наиболее прогрессивный и сейчас широко распространен. В этом случае ускоряется процесс изготовления конструкции и улучшается качество выполнения сварочных работ, так как сварку узлов осуществляют

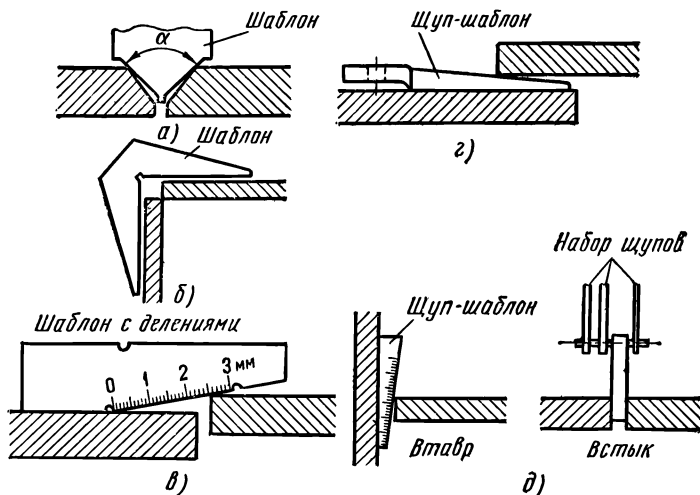


Рис. 63. Проверка качества сборки:

а — угла раскрытия кромки, б — прямого угла, в — превышения кромки, г — зазора между листами при сварке внахлестку, д — зазора при сварке втавр и встык

в заводских условиях или на специализированных участках стройплощадок с использованием приспособлений. Применяется при изготовлении, например, судов, вагонов, цистерн, резервуаров, мостов, каркасов задний и других изделий.

Точность сборки изделий под сварку зависит от их конструкции и назначения, а также способа сварки. Обычно она указывается на чертежах и в технических условиях. Допускаемые отклонения зависят от способа сварки и вида сварного соединения, типа шва. Для ручной дуговой сварки эти отклонения регламентируются ГОСТ 5264—69.

Для проверки точности сборки деталей под сварку используются шаблоны, измерительные линейки и щупы (рис. 63), а также универсальные измерители швов (рис. 64).

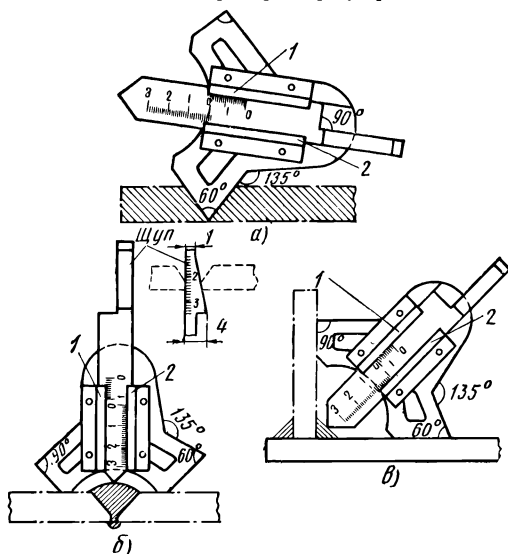


Рис. 64. Универсальный измеритель швов конструкции В. Э. Ушера-Маршака:

а — проверка угла раскрытия кромок, б — проверка величины выпуклости шва, в — проверка высоты углового шва; 1 — шкала выпуклости стыкового шва, 2 — шкала высоты углового шва

При сборке необходимо учитывать возможность последующей деформации изделия под влиянием нагрева при сварке и усадке наплавленного металла. Поэтому, например, при сборке под сварку угловых швов угол между деталями следует увеличивать на $2-3^\circ$, так как при усадке металла шва этот угол уменьшится.

В процессе сборки детали скрепляют короткими, однослойными швами, называемыми прихватками. Выполняют прихватки электродами того же типа, что и сварку данного изделия. Сечение шва прихватки не должно превышать $\frac{1}{2}$ сечения основного шва, максимальное сечение шва прихватки должно быть не более $25-30 \text{ мм}^2$. Длина прихватки обычно берется в пределах от 20 до 120 мм, расстояние между прихватками 500—800 мм. Прихватки рекомендуется накладывать со стороны, обратной наложению первого слоя основного шва. При сварке ответственных конструкций вручную или в защитных газах прихватки удаляют перед наложением основного шва вырубкой или выплавкой. При сварке под флюсом прихватки не удаляют.

При сварке основного шва прихваточные швы должны быть предварительно тщательно очищены от остатков шлака и полностью проварены.

Если под действием усадочных напряжений прихваточные швы разрушаются, то их полностью удаляют и это место заваривают при выполнении основного шва.

§ 3. ВЫБОР РЕЖИМА СВАРКИ

Под *режимом сварки* понимают совокупность показателей, определяющих протекание процесса сварки. Эти показатели называют *элементами режима*. Основными элементами режима дуговой сварки являются: ток, род и полярность тока, диаметр электрода, напряжение дуги и скорость сварки. При ручной сварке к ним добавляется величина поперечного перемещения конца электрода. Остальные факторы — вылет (длина) электрода, свойства покрытия, начальная температура металла, наклон электрода и основного металла — являются дополнительными элементами режима сварки.

Влияние элементов режима сварки на размеры и форму шва. Размеры шва и форма провара не зависят от типа шва (валиковый шов, угловой, стыковой, сварка без разделки и зазора, сварка с разделкой и зазором), а определяются в основном режимом сварки. Основным показателем формы шва является *коэффициент формы провара*, представляющий отношение ширины шва к глубине провара. При дуговой сварке и наплавке он может изменяться в широких пределах — от 0,8 до 20. Уменьшение ширины шва и увеличение глубины провара уменьшает коэффициент формы провара, а противоположное изменение этих величин — увеличивает его.

Величина тока. Увеличение тока увеличивает, а уменьшение — уменьшает глубину провара. При глубине провара более

0,7—0,8 толщины металла резко изменяются условия отвода тепла от нижней части сварочной ванны и может произойти сквозное проплавление металла.

Чем легче металл, т. е. чем меньше его плотность, тем больше провар при токе данной величины. Так, например, один и тот же ток дает более глубокий провар при сварке алюминия, чем при сварке стали. На ширину шва изменение величины тока существенного влияния не оказывает.

Род и полярность тока. При одной и той же величине тока наибольшая глубина провара получается при сварке на постоянном токе обратной полярности. При сварке на прямой полярности глубина провара меньше на 40—50%, а при сварке переменным током — меньше на 15—20%, чем при сварке на постоянном токе обратной полярности.

Ширина шва при постоянном токе прямой полярности меньше, чем при сварке постоянным током обратной полярности и переменным током. Указанное изменение ширины шва становится заметным только при напряжении дуги свыше 30 в.

Диаметр электрода. Уменьшение диаметра при том же токе повышает плотность тока в электроде и уменьшает подвижность дуги, что увеличивает глубину провара и сокращает ширину шва. Соответственно, при уменьшении диаметра электрода глубина провара возрастает. Ширина шва с увеличением диаметра электрода увеличивается за счет повышения подвижности дуги. Заданная глубина провара может быть достигнута и при меньшем токе за счет уменьшения диаметра электрода, однако это вызывает затруднения вследствие повышенного разогрева электрода малого диаметра.

Напряжение дуги почти не оказывает влияния на глубину провара, но влияет на ширину шва. При возрастании напряжения ширина шва увеличивается, при снижении напряжения — уменьшается, что широко используется при механизированных способах сварки для регулирования ширины шва особенно при наплавке. При ручной сварке напряжение изменяется незначительно (от 18 до 22 в), что не оказывает практического влияния на ширину шва.

Скорость сварки. При малых скоростях ручной сварки, составляющих 1—1,5 м/ч, глубина провара получается минимальной, так как в этом случае интенсивность вытеснения жидкого металла сварочной ванны из-под основания столба дуги невелика. Образующийся у основания дуги слой жидкого металла препятствует проплавлению основного металла. Повышение скорости сварки до некоторого значения, соответствующего максимальной погонной энергии дуги, увеличивает глубину провара. При практически применяемых для ручной сварки режимах скорость сварки незначительно влияет на глубину провара.

Ширина шва зависит от скорости сварки: увеличение скорости уменьшает ширину шва, а уменьшение скорости — увеличивает ширину шва.

Это соотношение сохраняется при всех скоростях сварки и широко используется в практике для регулирования ширины шва.

Поперечное перемещение электрода сильно влияет на глубину провара и ширину шва, поэтому его широко используют при ручной сварке для регулирования формы шва. Увеличение ширины поперечных перемещений конца электрода увеличивает ширину шва и уменьшает глубину провара, и наоборот. Это связано с соответствующим изменением концентрации тепла дуги на металле.

Длина (вылет) электрода. При увеличении длины электрода (или его вылета) он больше нагревается и скорость плавления его возрастает, что приводит к уменьшению тока и глубины провара. Если диаметр проволоки более 3 мм, изменение вылета $\pm 6-8$ мм не оказывает влияния на формирование шва. Если используется проволока диаметром 1—2,5 мм, указанные колебания вылета могут ухудшать формирование шва.

Физические свойства покрытия или флюса. При использовании легкого флюса и электрода с легкоплавким покрытием подвижность дуги увеличивается, возрастает ширина шва и сокращается глубина провара. При повышении толщины слоя или тугоплавкости покрытия на конце электрода образуется чехольчик, ограничивающий подвижность дуги, что приводит к уменьшению ширины шва и увеличению глубины провара.

Начальная температура металла в пределах от -60 до $+80^{\circ}\text{C}$ не влияет на форму шва. Подогрев основного металла до $100-400^{\circ}\text{C}$ приводит к увеличению ширины шва и глубины провара, причем быстрее растет ширина шва, чем провар. Предварительным подогревом свариваемого металла объясняется увеличение ширины верхних слоев при многослойной сварке и наплавке.

Наклон электрода. Сварку ведут вертикальным электродом, с наклоном вперед и углом назад (относительно направления сварки). При сварке углом назад дуга сильнее вытесняет металл из ванны и глубина провара возрастает, а ширина шва уменьшается. При сварке углом вперед давление столба на поверхность металла снижается, что уменьшает глубину провара и увеличивает ширину шва по сравнению со сваркой вертикальным электродом.

Наклон изделия. При сварке сверху вниз (на спуск) растет толщина слоя жидкого металла под основанием столба дуги и глубина провара от этого уменьшается; увеличивается блуждание дуги и ширина шва возрастает. При сварке снизу вверх (на подъем) толщина слоя жидкого металла под дугой уменьшается, глубина провара возрастает, а ширина шва уменьшается, так как дуга блуждает меньше. Для нормального формирования шва при ручной сварке угол наклона должен быть $8-10^{\circ}$. При большом угле и сварке на спуск происходит подтекание жидкого металла из-под основания дуги, а при сварке на подъем — появляются непровары и подрезы по кромкам шва. Сварка на спуск применяется при выполнении круговых швов (труб, сосудов). Это сни-

жает опасность прожогов, улучшает формирование шва и предупреждает стекание жидкого металла ванны.

Выбор режима сварки. Режим сварки (тип и марку электрода, диаметр его стержня, род, полярность, напряжение, величину тока) выбирают в зависимости от вида, толщины свариваемого металла и конструкции сварного соединения. Определив условия сварки, обеспечивающие получение высококачественного сварного соединения, выбирают диаметр электрода (проволоки) и величину сварочного тока.

Диаметр проволоки электрода выбирается в зависимости от толщины свариваемого металла. Для стыковых швов можно принимать:

Толщину свариваемого металла, мм	0,5—1,5	1,5—3	3—5	6—8	9—12	13—20
Диаметр проволоки электрода, мм	1,5—2,0	2—3	3—4	4—5	4—6	5—6

При большом диаметре электрода повышается производительность сварки, но возможно проплавление свариваемого металла, затрудняется выполнение швов в вертикальном и потолочном положениях, возможен непровар корня шва. Поэтому первый слой многослойного шва всегда сваривается электродом диаметром 4—5 мм, за исключением швов с U-образной подготовкой, где весь шов можно сваривать электродами одного (максимально допустимого) диаметра.

Вертикальные и потолочные швы свариваются электродами диаметром не более 5 мм; сварщики высокой квалификации могут такие швы сваривать электродами диаметром 6 мм. Прихваточные швы и наплавка валиками небольшого сечения выполняются электродами диаметром не более 5 мм.

Сварочный ток выбирается в зависимости от диаметра электрода и марки электродного покрытия. В табл. 5 приведены рекомендуемые величины тока для электродов различных марок.

Если ток мал, то в сварочную ванну будет поступать недостаточно тепла и возможно несплавление основного и наплавленного металла (непровар), резко понижающее прочность сварного соединения. При слишком большой величине тока весь электрод, спустя некоторое время после начала сварки, сильно разогревается, его металл начинает быстрее плавиться и стекать в шов. Это создает излишек наплавленного металла в шве и также связано с опасностью образования непровара в случае попадания жидкого электродного металла на нерасплавленный основной металл.

При выборе величины тока для сварки встык низкоуглеродистой стали в нижнем положении можно пользоваться формулой акад. К. К. Хренова:

$$I_{\text{св}} = (20 + 6d) \cdot d,$$

где $I_{\text{св}}$ — сварочный ток, а;

d — диаметр металлического стержня электрода, мм.

При толщине металла менее $1,5d$ ток уменьшают на 10—15%, а при толщине более $3d$ — увеличивают на 10—15% по сравнению

с полученным по формуле. При сварке на вертикальной плоскости ток уменьшают на 10—15%, а при сварке потолочных швов — уменьшают на 15—20% по сравнению с током, выбранным для сварки в нижнем положении металла той же толщины *.

Для сварки соединений внахлестку и тавровых можно применять больший ток, так как в этом случае опасность сквозного проплавления меньше.

§ 4. ВОЗБУЖДЕНИЕ ДУГИ И ПОДДЕРЖАНИЕ ЕЕ ГОРЕНИЯ

Для возбуждения дуги сварщик концом электрода прикасается к металлу, а затем быстро отводит его на 2—4 мм. В этот момент образуется дуга, постоянную длину которой поддерживают во время сварки путем постепенного опускания электрода по мере его расплавления. До момента образования дуги сварщик должен закрыть лицо щитком или шлемом.

Другой способ заключается в следующем: сварщик проводит (чиркает) по поверхности свариваемого металла концом электрода и затем быстро отводит его на небольшое расстояние, возбуждая дугу.

Дугу необходимо поддерживать возможно короткой. При короткой дуге около шва образуется небольшое количество мелких капель металла, электрод плавится спокойно, давая равномерный пучок искр, глубина проплавления свариваемого металла получается больше.

Длинная дуга не обеспечивает достаточной глубины проплавления основного металла, а электродный металл при плавлении окисляется и сильно разбрызгивается; в результате получается неровный шов с большим количеством включений окислов.

О длине дуги можно судить по звуку, издаваемому ею при горении. Дуга нормальной длины издает равномерный звук одного тона, слишком длинная дуга — более резкий и громкий звук, часто прерывающийся и сопровождающийся хлопками.

В случае обрыва дугу возбуждают вновь, тщательно заваривают кратер в том месте, где произошел обрыв дуги, и продолжают сварку шва. При сварке особо ответственных узлов, работающих в условиях знакопеременной нагрузки и подверженных явлению «усталости», не разрешается возбуждать дугу на основном металле вне зоны шва, так как это может привести к «ожогу» поверхности металла и явиться причиной начала последующего разрушения шва в данном месте.

§ 5. НАПЛАВКА ВАЛИКА

При перемещении электрода прямолинейно вдоль шва без колебательных движений наплавляется узкий (ниточный) валик. При наложении валика электрод следует держать наклонно, под

* Обычно рекомендуемая, величина сварочного тока указывается в паспорте на электроды данной марки (см., например, табл. 5 гл. V).

некоторым углом к вертикальной линии, чтобы капли металла, перемещающиеся при расплавлении конца электрода в направлении его оси, попадали в расплавленный металл ванны. Электрод должен быть наклонен в сторону направления сварки. При этом глубина проплавления основного металла получается больше. Угол наклона α с покрытого электрода к вертикали должен составлять 15—20°.

Изменяя наклон электрода, сварщик может регулировать глубину расплавления металла, способствовать лучшему формированию валика шва и влиять на скорость охлаждения ванны.

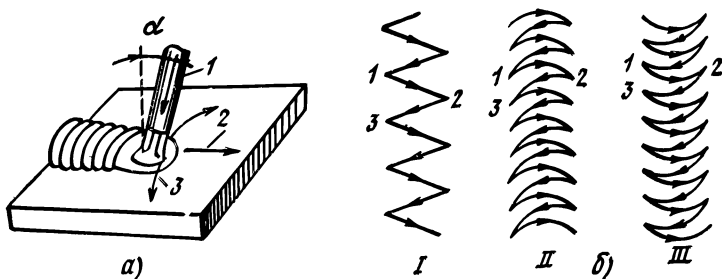


Рис. 65. Схема движений электрода:

a — перемещение электрода в трех направлениях, *б* — наплавка уширенных валиков; *I* — прямолинейное, *II* — криволинейное, выпуклостью в сторону сваренного участка, *III* — то же, выпуклостью в сторону несваренного участка

Узкий валик накладывают при проваре корня шва, сварке тонких листов, сварке горизонтальных и потолочных швов (независимо от числа слоев). Чем медленнее сварщик перемещает электрод вдоль шва, тем шире получается валик. В узком, но высоком валике объем наплавленного металла невелик, такой валик застывает быстрее, и растворенные в металле невыделившиеся газы могут вызвать пористость шва. Поэтому чаще применяют уширенные валики, которые также менее склонны к образованию кристаллизационных трещин. При выполнении их сварщик сообщает электроду колебательные движения поперек шва, причем конец электрода должен совершать три движения (рис. 65, *a*): поступательное *1* вдоль оси электрода сверху вниз, поступательное *2* вдоль линии шва и колебательное *3* поперек шва, перпендикулярно его оси. Колебательные движения электрода способствуют прогреву кромок и замедляют остывание сварочной ванны.

Схемы движений конца электрода при наплавке уширенных валиков показаны на рис. 65, *б*. В точках *1*, *2* и *3* скорость перемещения электрода уменьшается, что способствует прогреванию кромок. При ручной сварке нормальной считается ширина валика, равная 2,5—3 диаметрам электрода. В этом случае все кратеры расплавленного металла *1*, *2*, *3* сливаются в одну ванну и обес-

печивается наилучшее сплавление основного и наплавленного металла.

При слишком большой ширине валика металл в точке 1 затвердеет к тому моменту, когда дуга возвратится в точку 3, и в этом месте может образоваться непровар. Кроме того, понижается

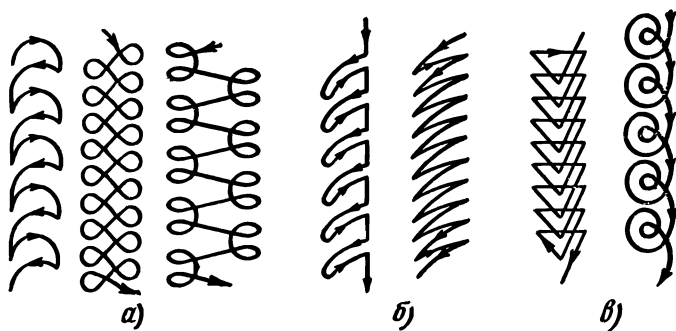


Рис. 66. Особые случаи движения электрода:
а — при усиленном прогревании обеих кромок, б — при большем прогревании одной кромки, в — при прогревании середины шва

производительность сварки. На рис. 66, а показаны движения концом электрода, необходимые для прогревания обеих кромок, на рис. 66, б — для прогревания только одной кромки (например, при сварке листов разной толщины). Для прогревания середины шва электрод перемещают по схеме, данной на рис. 66, в. Наплавляя валик, сварщик может находиться сбоку от шва и перемещать электрод слева направо или располагаться по оси шва и вести электрод «на себя» или «от себя».

После окончания наплавки валика остающийся в конце его кратер должен быть тщательно заварен, чтобы в этом месте не появилась трещина.

При сварке электродами с покрытиями необходимо обеспечить полную и равномерную защиту жидкого металла слоем расплавленного шлака. Шлак должен располагаться позади дуги, не смешиваться с расплавленным металлом и не затекать вперед дуги, т. е. не попадать на поверхность нерасплавленного металла. Металл поддерживается достаточное время в жидком состоянии, чтобы частицы шлака всплыли на поверхность ванны и шлак успел раскислить металл.

§ 6. СВАРКА СТЫКОВЫХ ШВОВ

При сварке швов без скоса кромок валик накладывается с небольшим уширением с одной или с обеих сторон стыка. Во избежание непровара необходимо обеспечить расплавление металла обеих кромок по всей толщине.

Провар металла толщиной до 6 мм по всему сечению шва при сварке встык без скоса кромок зависит от правильного выбора тока и диаметра электрода. При соответствующих диаметрах электрода и величине тока обеспечивается полный провар и высокая производительность сварки без скоса кромок металла толщиной от 4 до 8 мм. Подбирать величину тока рекомендуется опытным путем (сваривая пробные планки).

Соединения встык с V-образной подготовкой кромок в зависимости от толщины металла сваривают однослойными или многослойными швами. При сварке в один слой дугу возбуждают в точке *a* (рис. 67, *a*) на грани скоса, затем электрод перемещают вниз,

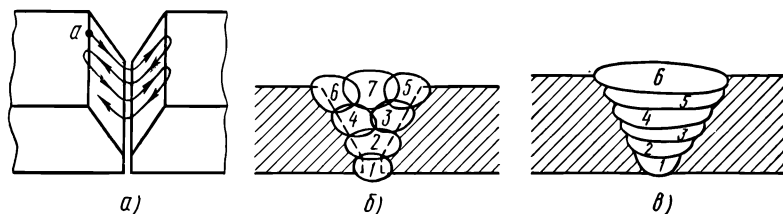


Рис. 67. Сварка стыковых швов (цифрами обозначен порядок наложения слоев шва):

a — однослойный, *б* и *в* — многослойные

проваривают корень шва и выводят дугу на вторую кромку. На скосах кромок движение электрода замедляют для обеспечения достаточного провара, а в корне шва, во избежание сквозного прожога, ускоряют.

С обратной стороны соединения рекомендуется накладывать подварочный шов, предварительно очистив корень шва от наплывов металла и шлака. Иногда с обратной стороны шва ставят подкладку из стали толщиной 2—3 мм. В этом случае можно повысить сварочный ток на 20—30% по сравнению с нормальной величиной, не опасаясь сквозного проплавления. Стальная подкладка при наложении валика шва приваривается и ее оставляют, если конструкция и назначение изделия это позволяют.

В ответственных конструкциях корень шва проваривают с обратной стороны; металл корня шва перед заваркой предварительно вырубает зубилом или зачищают резак для поверхностной резки с целью удаления возможных дефектов (непровара, трещин).

При сварке многослойных стыковых швов сначала тщательно проваривают корень шва электродом диаметром 4—5 мм, затем наплавливают последующие слои уширенными валиками электродами большего диаметра (рис. 67, *б*, *в*). Перед наложением последующих слоев поверхность предыдущих очищают от шлака и окалина. Необходимо расплавлять и проваривать кромки, хорошо заваривать кратеры, не допускать в шве шлаковых прослоек.

Если подварка корня шва с обратной стороны невозможна, то для обеспечения полного провара НИИ мостов рекомендует первый шов (корень шва) сваривать в вертикальном положении, при угле раскрытия кромок 60° , притуплении $1,5 \text{ мм}$, зазоре $3\text{—}4 \text{ мм}$, электродом диаметром 4 мм с покрытием АНО-4, током 160 а . При этом следует избегать резких изменений величины зазора между кромками. Плавные изменения величины зазора в пределах $2\text{—}4 \text{ мм}$ значения не имеют. Сварку ведут в направлении снизу вверх. Применяют и другие рутиловые покрытия, дающие относительно жидкотекучие шлаки, например покрытие ОЗС-3. Второй и последующие швы сваривают в нижнем положении ручной, полуавтоматической или автоматической сваркой. Можно продолжать сварку и в вертикальном положении, если это технологически рационально. Для обеспечения последующего провара в месте прекращения сварки (при смене электрода и по другим причинам) перед ожидаемым перерывом процесса сварки шов «разваривают», т. е. делают электродом местное расплавление кромок, образуя лунку в корне разделки шва. Возобновление сварки начинают со дна лунки. Вследствие малого объема ванны в этот момент металл быстро кристаллизуется и не вытекает из ванны; обеспечивается полный провар кромок и хорошее формирование валика с обратной стороны корня шва.

Швы с Х-образной подготовкой кромок сваривают так же, как и швы с V-образной подготовкой кромок. Необходимо во всех случаях принимать меры, способствующие уменьшению и выравниванию сварочных деформаций и напряжений, как это было указано в главе VI, § 4.

Чтобы при наплавке вышележащих слоев достаточно прогрелся и отжигался нижележащий слой, толщина каждого слоя не должна превышать $4\text{—}5 \text{ мм}$.

Практически для многослойных швов установлены следующие соотношения между площадью поперечного сечения металла, наплавленного за один проход, и диаметром электрода: для первого прохода (провар корня шва); $F_1 = (6\div 8)d_{эл}$ для последующих проходов $F_n = (8\div 12)d_{эл}$, где F_1 — площадь сечения шва при первом проходе, мм^2 ; F_n — площадь сечения шва при последующих проходах, мм^2 ; $d_{эл}$ — диаметр проволоки электрода, мм .

§ 7. СВАРКА УГЛОВЫХ ШВОВ

При сварке угловых швов жидкий металл стремится стекать на нижнюю плоскость. Поэтому сварку таких швов в нижнем положении лучше производить «в лодочку», а изделие располагать так, чтобы шлак не затекал на металл перед дугой (рис. 68, а). Однако не всегда возможно установить деталь в нужное положение.

При сварке углового шва, нижняя плоскость которого расположена горизонтально, возможен непровар вершины угла или одной из кромок. Непровар может образоваться на нижнем листе, если начинать сварку с вертикального листа, так как в этом случае рас-

плавленный металл стечет на недостаточно нагретую поверхность нижнего листа. Поэтому сварку таких швов следует начинать, зажигая дугу на нижней плоскости в точке *А*, и вести электрод так, как показано на рис. 68, б.

Электрод следует держать под углом 45° к поверхности листов, слегка наклоняя его в процессе сварки то к одной, то к другой плоскости (рис. 68, в).

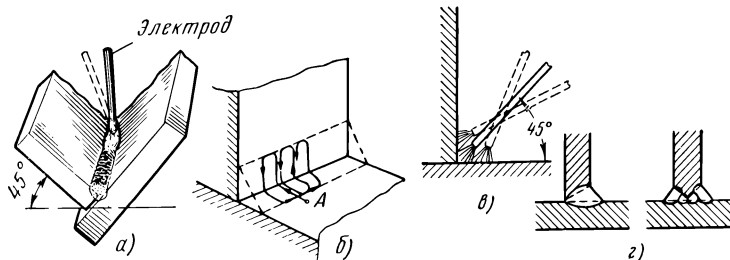


Рис. 68. Сварка угловых швов

Угловые швы при соединении не «в лодочку» выполняют одно-слойными при катете шва до 8 мм; при катете шва свыше 8 мм — в два слоя и более.

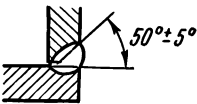
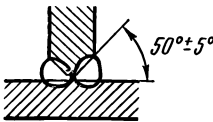
При сварке многослойного углового шва сначала накладывают узкий валик электродом диаметром 3—4 мм, чем обеспечивается провар корня. Определяя число проходов, исходят из площади поперечного сечения шва. Для каждого слоя эта величина должна составлять 30—40 мм². На рис. 68, з показаны однослойный и многослойный угловые швы с разделкой кромок и полным проваром.

Примерные режимы ручной дуговой сварки угловых швов стальных изделий без скоса кромок следующие:

Катет шва, мм	3	6	10	16
Число слоев	1	2	3	4
Диаметр электрода, мм:				
первый слой	4	5	5	5
последующие слои	—	—	5	6
Ток, а:				
первый слой	180	230	240	270
последующие слои	—	—	260	360
Производительность сварки, м/ч	14	12	5	2,5

Примерные режимы сварки угловых швов со скосом кромок даны в табл. 6.

**Примерные режимы ручной дуговой сварки угловых швов
со скосом кромок**

Вид шва	Толщина металла, мм	Число слоев	Диаметр электрода, мм	Ток, а
	4	1	3—4	120—160
	8	1—2	4—5	160—220
	12	3—4	4—6	160—300
	20	6—8	4—6	160—320
	10	2—4	4—6	160—320
	20	4—8	4—6	160—360
	40	8—16	4—6	160—360
	60	16—30	5—6	220—360
	80	30—40	5—6	230—360

§ 8. СВАРКА ВЕРТИКАЛЬНЫХ, ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ И ПОТОЛОЧНЫХ ШВОВ

При сварке вертикальных швов капли расплавленного металла стремятся стекать вниз (рис. 69, а). Поэтому такие швы выполняют более короткой дугой, при которой капли, вследствие действия сил поверхностного натяжения, легче переходят с электрода в кратер

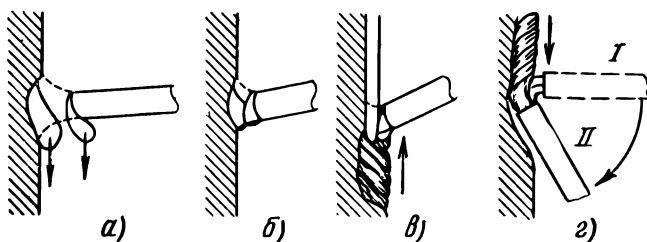


Рис. 69. Сварка вертикальных швов

шва (рис. 69, б). Концы электрода отводят вверх или в сторону от капли, давая ей возможность затвердеть. Вертикальные швы лучше сваривать снизу вверх, тогда нижележащий кратер будет удерживать капли металла (рис. 69, в). Электрод может иметь наклон вверх или вниз. При наклоне электрода вниз сварщику удобнее наблюдать за распределением капель электродного металла в раздельке шва. Если необходимо вести вертикальную сварку сверху вниз, электрод ставится в положение I (рис. 69, г), а после образования

капли опускается ниже в положение II, при котором капля удерживается короткой дугой от стекания. Вертикальные швы лучше сваривать электродом диаметром не более 4 мм, на пониженном токе (порядка 160 а). При этом уменьшается объем жидкого металла в кратере шва, что облегчает сварку.

Для уменьшения стекания металла при выполнении горизонтальных швов (рис. 70, а) скос кромок делают только у верхнего листа. Дугу возбуждают на нижней кромке (положение I), а затем переводят ее на кромку верхнего листа (положение II), поднимая вверх стекающую каплю металла.

Схема движений конца электрода при сварке однослойного горизонтального шва показана на рис. 70, а справа. Горизонтальные швы сваривают также продольными валиками, причем первый валик (корень шва) выполняют электродом диаметра 4 мм, а последующие — электродом 5 мм.

Наиболее трудно выполнять потолочные швы, которые свариваются возможно более короткой дугой. Для сварки потолочных швов применяют электроды с покрытиями более тугоплавкими, чем металл электрода. В этом случае покрытие образует на конце электрода чехольчик, удерживающий капли металла (рис. 70, б).

В процессе сварки конец электрода то удаляют, то приближают к ванне. При удалении электрода дуга гаснет и металл шва затвердевает. При потолочной сварке — вертикальной и горизонтальной — используют электрод меньшего диаметра, а ток уменьшают на 10—12% по сравнению со сваркой металла такой же толщины в нижнем положении.

При сварке потолочных швов пузырьки газа, всплывая, попадают в корень шва, что снижает прочность сварного соединения. Потолочная сварка применяется только при монтаже крупных конструкций, сварке неповоротных стыков трубопроводов, ремонтной сварке и других подобных работах, когда выполнение шва в нижнем положении невозможно.

Вертикальные, горизонтальные и потолочные швы можно сваривать и в защитных газах, обеспечивающих струйный перенос металла электрода в сварочную ванну. При этом следует применять механизированные способы сварки.

Для сварки в любом пространственном положении пригодны электроды: ОМА-2, ОММ-5, ОЗЦ-1, ЩМ-7, ОЗС-4, ОЗС-2, УОНИ-13 и др. (см. табл. 5).

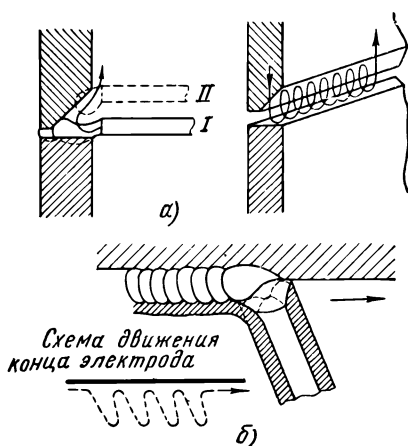


Рис. 70. Сварка горизонтальных (а) и потолочных (б) швов

§ 9. СВАРКА ТОНКОЛИСТОВОЙ СТАЛИ

При сварке тонколистовой стали (менее 3 мм) электрической дугой возможно сквозное проплавление металла в отдельных местах шва. Образующиеся при этом отверстия трудно поддаются заварке.

В тех случаях, когда не предъявляются особые требования в отношении внешнего вида и формы шва (например, при сварке из стали малонапорных неответственных трубопроводов, бочек и других изделий), листовую сталь толщиной 1,5—2,5 мм можно сваривать постоянным током прямой полярности от обычных источников питания, например, сварочных преобразователей ПСО-300-3, сварочных выпрямителей ВД-301 и др., используя электроды диаметром 3—4 мм и максимальный ток 140—180 а.

Для сварки более тонкой стали, а также изделий, к которым предъявляют повышенные требования в отношении внешнего вида и формы сечения шва (стыки труб, узлы трубчатых конструкций, испытывающих ударные и вибрационные нагрузки и другие изделия), применяют электроды меньшего диаметра и малые сварочные токи:

Толщина металла, мм . . .	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
Диаметр электрода, мм . .	1	1,6—2	2	2,5	2,5—3
Ток, а	10—20	30—35	35—45	50—65	65—100

При выполнении швов внахлестку ток увеличивают на 10—15%, а тавровых — на 15—20% по сравнению с указанными значениями.

Для сварки на малых токах применяют электроды со специальными покрытиями, обеспечивающие легкое возбуждение и устойчивое горение дуги; замедленное плавление электрода во избежание получения швов с большим утолщением; получение жидкотекучего расплавленного металла, дающего удовлетворительный внешний вид шва.

Этим требованиям удовлетворяет, например, электрод ОМА-2 с покрытием состава: 36,5% титанового концентрата, 3,5% марганцевой руды, 2% калиевой селитры, 6% ферромарганца, 5,2% ферросилиция, 46,8% муки и 15—18% жидкого стекла, электроды ОМА-2 применяют только для сварки углеродистой стали (см. табл. 5). Для сварки тонкой углеродистой и низколегированной стали (типа хромансиль) предназначены электроды МТ-2, разработанные Киевским политехническим институтом и имеющие покрытие состава: 50% титановой руды (концентрат), 20% полевого шпата, 20% ферромарганца, 2% хромовокислого калия, 8% декстрина. Покрытие замешивают на водном растворе декстрина. Сварку электродами МТ-2 лучше вести на постоянном токе прямой полярности. При толщине металла более 1 мм можно применять переменный ток. Необходимо пользоваться амперметром для точного замера тока.

Сварку тонкой стали лучше вести на толстых теплоотводящих подкладках из меди, без зазора между кромками листов и без поперечных движений концом электрода. Можно применять остающиеся стальные подкладки или вместо них зажимать между кромками

стальную полосу и вести по ней сварку, расплавляя кромки листов косвенным действием тепла дуги. Сталь толщиной 0,5—1 мм также сваривают внахлестку с проплавлением верхнего листа металлическим или угольным электродом, что устраняет возможность сквозного прожога. При этом листы укладывают на стальную подкладку и зажимают в приспособлении вдоль линии шва с обеих сторон его.

Хорошие результаты обеспечивает сварка тонкого металла способом «сверху вниз», так как при этом уменьшается глубина проплавления основного металла и возможность сквозного прожога свариваемого металла. Данный способ нашел широкое применение в практике.

При сварке тонкого металла на малых токах следует применять легкий электрододержатель и гибкий провод сечения не более 6—10 мм².

Для сварки тонкого металла на малых токах применяются специальные источники питания. Например, для сварки постоянным током — преобразователи ПСО-120, выпрямители ВСКГ-30, ВД-101, для сварки переменным током — трансформаторы СТАН-0, ТС-120 и др.

Применяемые для сварки тонкого металла источники питания позволяют плавно регулировать величину тока при малых его значениях и имеют несколько повышенное напряжение холостого хода, облегчающее возбуждение дуги. Для этих же целей Институтом электросварки им. Е. О. Патона разработаны транзисторные источники питания типа АП-4, АП-5 и АП-6 даже сварки постоянным током от 0,05 до 300 а и в импульсном режиме (см. гл. XXI, § 12).

Основным затруднением при сварке тонкого металла является нестабильное формирование шва. В этом случае очень хорошие результаты дает микроплазменная сварка импульсной дугой в среде аргона и гелия (подробнее см. главу XV). Импульсная дуга позволяет строго дозировать ввод тепловой энергии в металл шва при широком регулировании параметров режима сварки и получать высококачественные швы стали и цветных металлов толщиной 0,1—2 мм. Для микроплазменной сварки ИЭС им. Е. О. Патона разработан специальный источник питания типа А-1347 (см. гл. XXI).

Тонкую сталь можно сваривать также угольным электродом на постоянном токе по отбортовке кромок на режиме: диаметр электрода 6—10 мм, ток 120—160 а, скорость сварки 50—70 м/ч. Сварка ведется без присадочного металла, так как металл шва образуется при расплавлении отбортованных кромок. При сварке более толстого металла угольным электродом в шов закладывается проволока или полоска, расплавление которой дает добавочный объем жидкого металла для образования металла шва.

Для тонкого металла широко применяется газовая сварка, которая, однако, дает повышенные тепловые деформации изделия. Хорошие результаты обеспечивает сварка тонкого металла в защитных газах — аргоне, углекислом газе. Для стали толщиной 1—2 мм можно применять полуавтоматическую и автоматическую шланго-

вую сварку под флюсом проволокой малых диаметров, со скоростью до 100—120 м/ч. Наиболее экономичной для изделий из тонкого металла является электрическая контактная сварка, обеспечивающая получение высококачественных швов при минимальных деформациях свариваемого металла.

Окончательный выбор того или иного способа сварки тонкой стали определяется конструкцией и назначением изделия, а также условиями и возможностями производства.

§ 10. СВАРКА ПОД ВОДОЙ

Сварка под водой применяется при аварийно-спасательных и ремонтных работах в речном и морском транспорте, при гидротехнических и строительных работах и в других случаях. Для сварки под водой следует использовать электроды с увеличенным слоем покрытия, например, электроды марок ЦМ-7С, АНО-1 и ОЗС-3, у которых вес покрытия составляет 140—170 % от веса стержня. Такие покрытия при плавлении образуют козырек, внутри которого дуга может устойчиво гореть под водой, вытесняя воду давлением газов дуги. Можно также применять следующие покрытия:

Тип покрытия Состав, %	№ 1	№ 2	№ 3
Мел	10	—	—
Сурик железный	90	100	—
Титановая руда	—	—	50
Полевой шпат	—	—	50
Жидкое стекло (к сухой части покрытия)	30	30	30

Электроды для подводной сварки сверху покрывают слоем парафина или лака из целлулоида, растворенного в ацетоне. После высыхания первого слоя лака лаковое покрытие наносят еще два раза. Парафинирование производят погружением электродов в расплавленный парафин. Толщина покрытия для указанных выше трех составов следующая: для стержня диаметром 4 мм — 0,8 мм, диаметром 5 мм — 1 мм, диаметром 6 мм — 1,2 мм.

Для сварки применяют постоянный ток прямой полярности, так как в этом случае дуга горит под водой более устойчиво, чем на переменном токе. Источник питания должен иметь повышенное напряжение холостого хода порядка 75—95 в; рабочее напряжение 30—40 в. Ток берется: для электрода диаметром 4 мм—200—240 а, для 5 мм—250—360 а, для 6 мм — 300—380 а. В качестве источника питания используются сварочные агрегаты ПАС-400 (САМ-400, САМ-400-1) или универсальный сварочный агрегат, для подводной сварки и резки АСУМ-400 Вильнюсского филиала ВНИИЭСО (см. гл. XXI, табл. 36).

Применяется также подводная полуавтоматическая сварка проволокой Св-08Г2С без дополнительной защиты дуги, а также с защитой дуги аргоном или углекислым газом. Институтом электросварки им. Е. О. Патона разработан также новый способ полуавтоматической подводной сварки с применением специальной порош-

ковой проволоки. Этот способ обеспечивает получение при сварке под водой плотных, удовлетворительно сформированных швов, металл которых обладает достаточно высокими механическими свойствами. Так, например, при сварке низкоуглеродистой стали ВМСтЗ толщиной 12 мм металл шва имеет временное сопротивление разрыву 46 кгс/мм², относительное удлинение 17,4%, угол загиба 145°, ударную вязкость 8—10 кгс·м/см².

§ 11. СВАРКА ЭЛЕКТРОЗАКЛЕПКАМИ

Если от сварного соединения требуется только прочность, то вместо сплошных швов применяют прерывистые или сваренные с помощью электрозаклепок. Способ сварки электрозаклепками (рис. 71, а) впервые разработан инж. С. А. Егоровым. Сварка выполняется при помощи специального пистолета (электрозаклепочника).

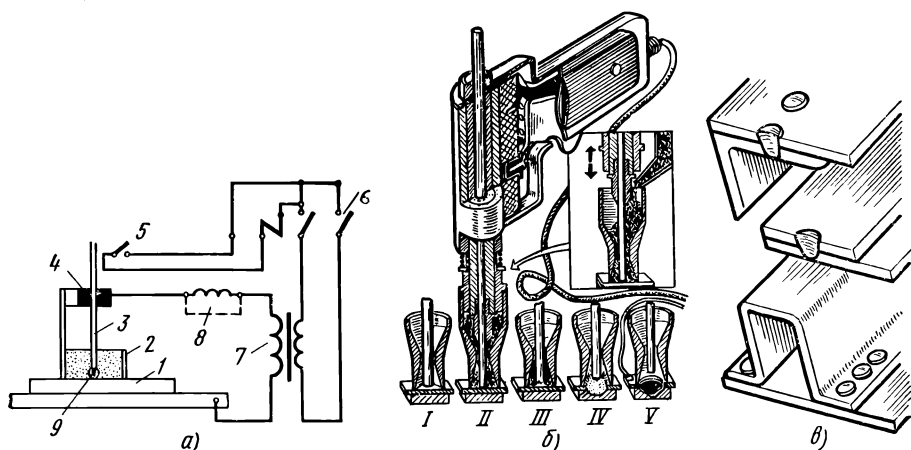


Рис. 71. Сварка электрозаклепками:
а — схема сварки, б — порядок сварки, в — сварные соединения

В контакты 4 электрозаклепочника вставлен металлический электрод 3, который давлением руки прижимают к верхнему листу 1. Конiec электрода находится в флюсоудерживающей коробочке 2, куда засыпается флюс слоем от 10 до 100 мм, в зависимости от величины тока и толщины свариваемого листа. Диаметр электрода может быть до 16 мм. С помощью кнопки 5 и контактора 6 замыкают цепь сварочного трансформатора 7 и дросселя 8. Между электродом и металлом возникает дуга 9, которая горит под флюсом до момента обрыва, электрод плавится, а металл проваривается на глубину, определяемую величиной сварочного тока. После сварки одной точки электрозаклепочник переносится на следующую точку шва и процесс повторяется. С электрозаклепки удаляется излишек флюса и корка шлака. Если толщина верхнего листа более 2 мм, то для ускорения проплавления в нем предварительно сверлят отвер-

ствия диаметром на 2—6 мм больше диаметра электрода. Затем отверстия завариваются электрозаклепками.

Этим способом можно также заваривать отверстия в листах, приваривать к листам круглые стержни, шпильки, болты. По сравнению с обычной сваркой данный способ обеспечивает меньшее коробление изделия, высокую производительность и может использоваться для сварки внахлестку листов толщиной до 12 мм. Применяют следующие режимы сварки электрозаклепками соединений внахлестку.

Толщина верхнего листа, мм	3	6	8	12
Диаметр электрода, мм	6—8	8—10	10—12	14—16
Ток, а	1300— 1400	1800— 1900	2500— 2600	4500— 5000
Время сварки, сек	1—1,5	2—3	3—5	5—6

На рис. 71, б показан порядок сварки электрозаклепками, а на рис. 71, в — некоторые виды соединений электрозаклепками. Производительность ручной сварки составляет до 300 заклепок в час.

В конструкции электрозаклепочника СЛ-60 системы Ю. М. Слесарева сварочный прут (электрод) подается не вручную, а специальным механизмом (типа часового механизма), размещенным в небольшой коробке на стволе электрозаклепочника. Дуга при подаче электрода горит более длительное время, что обеспечивает большее проплавление свариваемого металла в месте расположения электрозаклепки.

Применяется также способ многоточечной автоматической сварки электрозаклепками под флюсом, разработанный Институтом электросварки им. Е. О. Патона, обеспечивающий сварку со скоростью до 4500 электрозаклепок в час.

Сварку электрозаклепками можно производить также порошковой проволокой с применением полуавтомата, например, типа А-745. Этот способ используется для приварки листов обшивки к каркасу кабин тракторов. Сварка производится без предварительного просверливания листов обшивки. Время сварки одной точки проволокой марки ПП-АНЗ, диаметром 3 мм составляет 1 сек.

Сварка электрозаклепками нашла широкое применение в вагоностроении, судостроении, производстве сельхозмашин и другого оборудования.

Глава IX

МАТЕРИАЛЫ И АППАРАТУРА ДЛЯ ГАЗОВОЙ СВАРКИ

§ 1. ГАЗЫ, ПРИСАДОЧНАЯ ПРОВОЛОКА И ФЛЮСЫ для ГАЗОВОЙ СВАРКИ

Кислород. С целью получения высокой температуры пламени для нагревания металла при сварке и резке горячие газы или пары сжигают в смеси с технически чистым кислородом.

Масса 1 м³ кислорода при атмосферном давлении (1 кгс/см²) и 20° С равна 1,33 кг. Кислород получают из атмосферного воздуха методом глубокого охлаждения, а в некоторых случаях из воды путем разложения ее электрическим током (электролиз).

Технический кислород выпускается по ГОСТ 5583—68 трех сортов: 1-го сорта, содержащего не менее 99,7% чистого кислорода, 2-го сорта — не менее 99,5% и 3-го сорта — не менее 99,2% (по объему); остаток в 0,3—0,8% составляют аргон и азот. Содержание влаги (водяных паров) в техническом кислороде не должно превышать 0,005 г/м³, что соответствует температуре насыщения кислорода влагой при давлении 760 мм рт. ст. не выше минус 63° С. Кислород, получаемый электролизом воды, может содержать не более 0,7% водорода (по объему).

Кислород получают как в газообразном, так и в жидком виде. Для использования при сварке и резке жидкий кислород превращают в газ.

Чистота кислорода имеет очень важное значение для кислородной резки, так как даже при незначительном понижении чистоты существенно увеличивается его расход и ухудшается качество реза.

При соприкосновении сжатого газообразного кислорода с пленками масел или жиров последние могут самовоспламениться и вызвать пожар или взрыв. Поэтому кислородные баллоны следует тщательно предохранять от загрязнения маслом. Особенно опасны пропитанные жидким кислородом пористые горячие вещества (уголь, сажа, войлок, вата и др.), которые в этом случае становятся взрывчатыми. Одежда и волосы, будучи насыщенны кислородом, легко загораются. Смеси кислорода с горячими газами, жидкостями и их парами взрывоопасны при определенных соотношениях кислорода и горючего в смеси.

Горючие газы. В качестве горючих газов при сварке и резке применяют ацетилен, водород, пропан, нефтяные газы, природный газ и другие горючие, а также пары керосина. Основные данные горючих приведены в табл. 7.

Ацетилен наиболее широко применяется для газовой сварки и резки, так как дает высокую температуру пламени при сгорании в смеси с кислородом ($3150\text{--}3200^\circ\text{C}$). Ацетилен (C_2H_2) представляет собой газообразное химическое соединение углерода с водородом. Технический ацетилен не имеет цвета, но обладает резким характерным запахом. Длительное вдыхание технического ацетилена вызывает головокружение и даже отравление. Масса 1 м^3 ацетилена при 20°C и 1 кгс/см^2 равна $1,09\text{ кг}$.

Чистый ацетилен является взрывоопасным. Его температура самовоспламенения лежит в пределах от 240 до 630°C и зависит от давления, а также присутствия в ацетилене твердых частиц некоторых веществ. Повышение давления значительно понижает температуру самовоспламенения ацетилена; так, например, при абсолютном давлении 2 кгс/см^2 эта температура равна 630°C , при давлении же 22 кгс/см^2 она равна всего 350°C . Присутствие в чистом ацетилене окиси меди, окиси железа и ржавчины снижает температуру его воспламенения при атмосферном давлении до $240\text{--}300^\circ\text{C}$.

Практикой установлено, что при использовании ацетилена допустимо нагревание его до температур: при атмосферном давлении до 300°C , при избыточном давлении $1,5\text{ кгс/см}^2$ до $150\text{--}180^\circ\text{C}$, при более высоких давлениях до 100°C . Поэтому в ацетиленовых генераторах допускается предельное избыточное давление ацетилена в $1,5\text{ кгс/см}^2$, при сжатии в компрессорах — до 29 кгс/см^2 . Присутствие в ацетилене паров воды снижает его взрывоопасность.

Смеси ацетилена с кислородом и воздухом способны взрываться даже при атмосферном давлении, если содержание ацетилена в смеси с кислородом лежит в пределах $2,8\text{--}100\%$ и в смеси с воздухом — в пределах $2,2\text{--}100\%$ (по объему).

Взрывы ацетилена обладают большой разрушительной силой, поэтому при использовании его необходимо строго соблюдать правила техники безопасности.

Технический ацетилен получают из карбида кальция путем разложения последнего водой. При этом из карбида кальция в ацетилен переходят вредные примеси, загрязняющие ацетилен: сероводород, аммиак, фосфорный водород, кремнистый водород. Эти примеси могут ухудшать свойства наплавленного металла и поэтому удаляются из ацетилена промывкой в воде и химической очисткой.

Особенно нежелательна примесь фосфористого водорода, содержание которого более $0,7\%$ в ацетилене повышает взрывоопасность последнего.

В настоящее время разработаны и применяются в промышленности новые способы получения ацетилена: термоокислительным пиролизом природного газа в смеси с кислородом; разложением жидких углеводородов (нефти, керосина) действием электродугового разряда.

Газы — заменители ацетилена. Для сварки и резки металлов применяют также горючие — заменители ацетилена. При сварке необходимо, чтобы температура пламени примерно в два

раза превышала температуру плавления металла. Поэтому газы-заменители, поскольку температура их пламени ниже, чем у ацетилена, обычно используют при сварке металлов с более низкой температурой плавления, чем сталь (чугуна, алюминия и его сплавов, латуни, свинца), при пайке и т. п.

Температура пламени большинства горючих определяется их скоростью воспламенения, которая зависит от физико-химических свойств газа и количества кислорода в смеси. Величина скорости воспламенения ($м/сек$) следующая: ацетилена 12,5—13,7; пропана 3,8—4,5; бутана 3,5—3,7; метана 2,4—3,3; водорода 8—9. Чем больше скорость воспламенения, тем выше температура пламени. Исключением является водород, который, имея достаточно высокую скорость воспламенения, дает пламя относительно низкой температуры, что обусловлено малой объемной теплотворной способностью водорода. Более правильную оценку пригодности горючего для сварки можно сделать на основании сравнения интенсивности горения газо-кислородных смесей, под которой понимается произведение нормальной скорости горения на теплотворность смеси (табл. 8).

Из данных этой таблицы видно, что первичная интенсивность горения (в I зоне) нормального пламени наиболее высокая у ацетилена ($1,25 \text{ ккал} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$), затем идут пропан, метан и водород, что соответствует соотношению температур пламени этих горючих. Поскольку ацетилен дает наиболее высокую температуру пламени при сгорании в смеси с кислородом, он может применяться во всех случаях газопламенной обработки металлов — сварке стали и других металлов, резке, пайке, закалке, наплавке и металлизации.

Такие газы-заменители, как природный газ и пропан-бутан, можно использовать при сварке тонкой стали, применяя специальные мундштуки и пламя с избытком кислорода, для повышения температуры пламени. В этом случае сварку ведут проволокой, содержащей раскислители — марганец, кремний.

При кислородной резке пользоваться ацетиленом необязательно; можно применять другие горючие газы, которые при сгорании в смеси с кислородом дают пламя с температурой не ниже $1800\text{—}1900^\circ \text{C}$.

Количество тепла в килокалориях, получаемое при полном сгорании 1 м^3 или 1 кг газа, называется *теплотворной способностью* (теплотворностью) газа. Чем выше теплотворная способность газа, тем он более пригоден для сварки и резки металлов.

Для сгорания горючих газов требуется разное количество кислорода, подаваемого в горелку или резак (см. табл. 7).

Если известен расход ацетилена в $\text{м}^3/\text{ч}$ для сварки или резки данного металла, то, пользуясь коэффициентом замены, можно определить требуемое количество горючего газа-заменителя ацетилена.

Коэффициент замены (K_r) называется отношение теплотворной способности ацетилена ($Q_a = 12\,600 \text{ ккал/м}^3$) к теплотворной способности данного горючего газа (Q_r), т. е.

Горючие газы для сварки и резки

Наименование	Температура пламени при сгорания в кислороде, °С	Вес 1 м³ при 20 °С и давлении 760 мм рт. ст., кг	Теплотворная способность (низшая), ккал/м³	Коэффициент замены ацети- лена	Количество кислорода, по- даваемого в горелку на 1 м³ горючего, м³	Область применения
Газы:						
ацетилен (ГОСТ 5457—60)	3150—3200	1,09	12 600	1	1,0÷1,3	Для всех случаев сварки и резки
водород (ГОСТ 3022—70)	2000—2100	0,084	2400	5,2	0,3÷0,4	Сварка стали толщиной до 2 мм, латуни, свинца, алюми- ния, пайка, кислородная резка
пропан технический (ГОСТ 10 196—62)	2300 2300 2400— —2500****	0,65—0,85 0,65—1,45 1,9	7500—8000 9800—13500 21 200	1,6 1,2 0,6	1,2÷1,5 1,5÷1,6; в резак 2,2 3,4—3,8	То же » Сварка и пайка стали*** (толщиной до 4—6 мм), чугу- на и цветных металлов, кисло- родная и кислородно-флюсовая резка
Природный** (по ГОСТ 5542— —50), содержание метана 82— —93 %	2100— —2200****	0,7—0,9	8200—8400	1,6—1,8	Нормальное пламя 1,5— —1,6 окис- лительное — —2 0,6—0,8 0,7	Сварка стали до 4—5 мм, сварка легкоплавких металлов, пайка, кислородная и кисло- родно-флюсовая резка
коксовый сланцевый	2000 2000	0,4—0,5 0,7—0,9	3500—4200 3000—3400	3,2—4,0 4,0	То же »	То же »

$$K_r = \frac{Q_a}{Q_r} = \frac{12600}{Q_r}.$$

Пример. Для резки стали расходуется ацетилен $V_a = 1500 \text{ м}^3/\text{ч}$. Определить требуемое количество метана для тех же условий резки. По табл. 7 находим теплотворную способность метана $Q_r = 8200 \text{ ккал/м}^3$; коэффициент замены для природного газа равен

$$K_r = \frac{12600}{8200} = 1,54; \text{ расход } V_r = K_r \cdot V_a = 1,54 \cdot 1500 = 2300 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Практически принимают $K_r = 1,8$ для повышения производительности сварки.

Вследствие более низкой температуры пламени применение газов-заменителей при сварке ограничено.

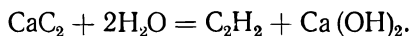
Давления горючих газов, при которых они используются в аппаратуре для сварки и резки, установлены ГОСТ 8856—58 и имеют следующие значения:

Вид газа	Ацетилен			Метан, пропан и другие горючие газы		
	Низкое А	Среднее Б	Среднее В	Низкое Г	Среднее Д	Среднее Е
Разряд давления						
Индекс давления						
Нижний предел давления источника газопитания, кгс/см^2	0,01	0,1	0,35	0,005	0,1	0,5
Верхний регулировочный предел давления, кгс/см^2	0,35	0,36	1,2	0,35	0,35	1,0

Низкое давление индексов А и Г используется в следующей аппаратуре: горелках ручных инжекторных с расходом газа до 2000 л/ч ; резаках ручных (и в резаках переносных машин) инжекторных для резки стали толщиной до 300 мм и вставных; резаках ручных для поверхностной резки на газах заменителях. В остальной аппаратуре применяют средние давления горючих газов индексов Б, В, Д и Е.

Карбид кальция (CaC_2). Представляет собой кускообразное вещество темно-серого или коричневого цвета с объемной массой $2,26 \text{ кг/дм}^3$. В техническом карбиде кальция содержится чистого карбида кальция $80—90\%$, а остальное — примесь извести. Карбид кальция получают на специальных заводах сплавлением известняка и кокса в дуговых электрических печах. После остывания, дробления и сортировки карбид кальция упаковывают по $100—130 \text{ кг}$ в герметические барабаны из кровельной стали и в таком виде доставляют потребителям. Размеры кусков равны от 2 до 80 мм . Частиц размером менее 2 мм (пыли) в техническом карбиде должно быть не более 3% . В среднем при разложении 1 кг технического карбида кальция образуется от 230 до 280 м^3 ацетилена. По ГОСТ 1460—56 * карбид кальция выпускается в кусках следующих размеров (грануляции): 2×8 ; 8×15 ; 15×25 ; $25 \times 80 \text{ мм}$. Чем крупнее карбид кальция, тем больше выход из не-

го ацетилена. Процесс разложения карбида кальция водой происходит по реакции



карбид кальция 1 кг	+	вода 0,562 кг	=	ацетилен 0,406 кг	+	гашеная известь 1,156 кг

Теоретически для разложения 1 кг карбида кальция требуется 0,562 кг (или дм^3) воды. При этом получается 0,406 кг (или $372,5 \text{ дм}^3$) ацетилена и 1,156 кг гашеной извести. При этой реакции выделяется тепло (около 475 ккал/кг карбида кальция), поэтому разложение ведут в избытке воды, чтобы не произошло нагревание ацетилена до высоких температур, могущих вызвать взрывчатый распад его. Практически на 1 кг карбида кальция в генераторах расходуют от 5 до 15 л (дм^3) воды. С учетом потерь ацетилена при разложении карбида кальция удельный расход карбида на 1 м^3 ацетилена практически составляет 4,3—4,5 кг. Карбид кальция жадно поглощает воду. Достаточно присутствия паров воды в воздухе, чтобы карбид кальция начал разлагаться и выделять ацетилен.

Чем меньше размеры кусков карбида кальция, тем быстрее происходит его разложение. Карбидная пыль, смоченная водой, разлагается почти мгновенно, поэтому ее нельзя применять в обычных ацетиленовых генераторах, рассчитанных для работы на кусковом карбиде кальция, так как это может вызвать вспышку и даже взрыв ацетилена в генераторе. Для разложения карбидной пыли применяют генераторы специальной конструкции. Применяют также «сухой» способ разложения карбида кальция. По этому способу на 1 кг мелко раздробленного карбида кальция в генератор подают от 1 до $1,2 \text{ дм}^3$ воды. Часть этой воды идет на реакцию разложения, а остаток ее испаряется, на что расходуется основное количество тепла, выделяющегося при разложении карбида кальция. В результате этого процесса гашеная известь получается в виде сухой пушонки, удаление и транспортировка которой обходится дешево.

Сварочная проволока. При газовой сварке применяют проволоку, близкую по химическому составу к свариваемому металлу. Нельзя пользоваться проволокой неизвестного химического состава. Для газовой сварки применяют такую же проволоку, что и для дуговой сварки (см. табл. 2). Диаметр проволоки выбирают в зависимости от толщины свариваемого металла и способа сварки. Для сварки меди, латуни, алюминия применяют проволоку из цветного металла соответствующей марки. Чугуны и бронзы сваривают при помощи прутков, отлитых из этих металлов.

Флюсы. Для частичной защиты расплавленного металла от окисления и удаления образующихся окислов применяют сварочные порошки или пасты, называемые флюсами.

Составы флюсов выбирают в зависимости от состава и свойств свариваемого металла. Флюс должен плавиться раньше, чем свариваемый металл, хорошо растекаться по шву, не оказывать вредного действия на металл шва и полностью удалять образующиеся при сварке окислы. В качестве флюсов используют прокаленную буру, борную кислоту, кремнекислоту и ряд других веществ.

При сварке углеродистой стали флюсы не применяют, так как в данном случае сварочное пламя достаточно хорошо защищает металл от окисления. Чугуны, некоторые специальные легированные стали (хромистые и хромоникелевые), медь и ее сплавы, алюминий и его сплавы, магниевые сплавы необходимо сваривать с флюсами. Составы флюсов и способы их применения приводятся далее при описании технологии сварки соответствующих металлов.

§ 2. АЦЕТИЛЕНОВЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ. ВОДЯНЫЕ ЗАТВОРЫ

Ацетиленовые генераторы. Ацетиленовым генератором называется аппарат для разложения карбида кальция водой с целью получения газообразного ацетилена.

Согласно ГОСТ 5190—67 ацетиленовые генераторы классифицируются следующим образом:

по производительности — 0,5; 0,75; 1,25; 2,5; 3; 5; 10; 20; 40; 80; 160 и 320 м³/ч ацетилена;

по способу устройства — на передвижные и стационарные. Передвижные генераторы изготавливают производительностью до 3 м³/ч;

в зависимости от системы регулирования взаимодействия карбида кальция с водой: «карбид в воду», «вода на карбид», «вытеснения», «комбинированные — вода на карбит и вытеснения», «сухие». На рис. 72 показаны схемы ацетиленовых генераторов различных систем.

В зависимости от давления вырабатываемого ацетилена генераторы делятся на две группы: низкого давления — до 0,1 кгс/см² включительно; среднего давления — от 0,1 до 0,7 и от 0,7 до 1,5 кгс/см² включительно.

Генератор должен обеспечить высокий коэффициент полезного использования карбида кальция. *Коэффициентом полезного использования* называют отношение фактически полученного объема ацетилена $V_{\text{ф}}$ к тому объему $V_{\text{п}}$, который можно получить из всего загруженного карбида.

Пример. $V_{\text{ф}}=2500 \text{ дм}^3$, $V_{\text{п}}=280 \cdot 10=2800 \text{ дм}^3$, где 280 дм³/кг — выход газа на 1 кг карбида кальция. В генератор загружается 10 кг карбида кальция. К.п.и.

$$\eta = \frac{2500}{2800} = 0,895.$$

Современные генераторы имеют к. п. и. от 0,85 до 0,98.

Температура воды и гашеной извести в зоне реакции не должна превышать 80°С, а получаемого газа — 115°С. Ацетилен, поступаю-

щий в сеть или шланг горелки, должен иметь температуру, превышающую температуру окружающей среды не более чем на 10—15° С. Избыточное давление в заполненных ацетиленом газовых объемах не должно превышать 1,5 кгс/см².

При выполнении монтажных работ для сварки и резки применяют передвижные ацетиленовые генераторы, некоторые типы которых описаны ниже.

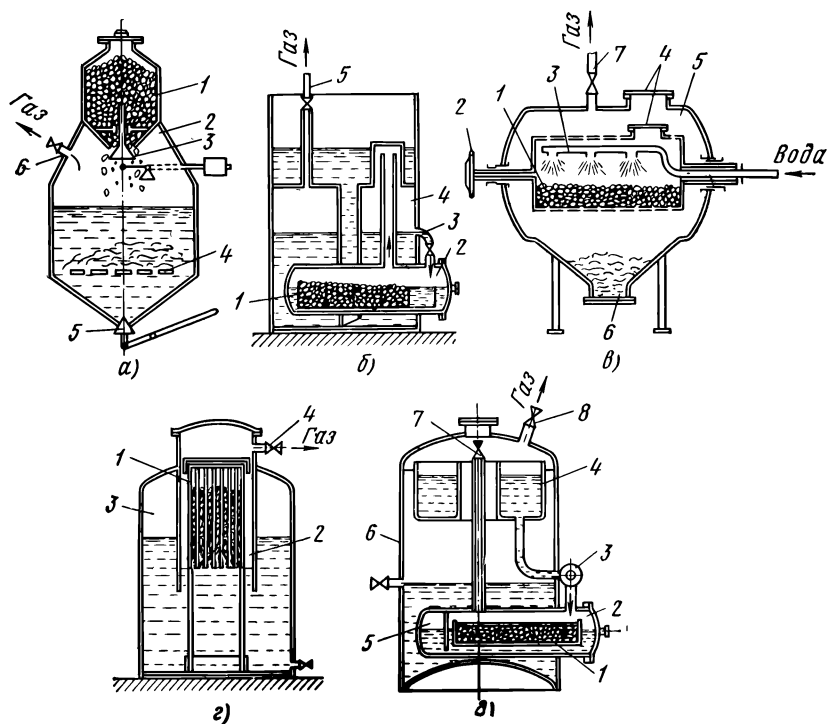


Рис. 72. Схемы ацетиленовых генераторов:

а — система «карбид в воду»: 1 — бункер, 2 — газообразователь, 3 — питатель, 4 — решетка, 5 — спуск ила, 6 — отбор газа; б — система «вода на карбид»: 1 — корзина с карбидом, 2 — реторта, 3 — подача воды, 4 — газосборник, 5 — отбор газа; в — система «сухого разложения»: 1 — барабан с карбидом кальция, 2 — привод, 3 — подача воды, 4 — загрузка карбида, 5 — газосборник, 6 — выгрузка сухой извести (пушонки), 7 — отбор газа; г — система «вытеснения»: 1 — корзина с карбидом, 2 — газообразователь, 3 — воздушная подушка, 4 — бак с водой, 5 — вытеснитель, 6 — газосборник, 7 — обратный клапан, 8 — отбор газа; д — комбинированная система «вода на карбид — вытеснения»: 1 — корзина с карбидом, 2 — реторта, 3 — подача воды, 4 — бак с водой, 5 — воздушная подушка, 6 — газосборник, 7 — обратный клапан, 8 — отбор газа

Генератор АНВ-1-66 (рис. 73, а) имеет производительность 1,25 м³/ч и рабочее давление 250—300 мм вод. ст.; максимальное давление равно 1040 мм вод. ст. (0,104 кгс/см²). Корпус генератора 1 разделен перегородкой 2 на две части. В нижнюю часть вварена реторта 7, в которую вставляется корзина 8 с карбидом; реторта герметически закрывается крышкой на резиновой прокладке. Гене-

ратор заполняется водой через верхнюю открытую часть корпуса до отмеченного уровня. Затем открывается кран *б* и вода из корпуса начинает поступать в реторту, заполняя ее и смачивая карбид. Ацетилен по трубке *10* выходит из реторты и собирается в нижней части корпуса под перегородкой *2*, откуда через осушитель *5* и водяной затвор *4* по шлангу *11* идет в горелку. Вода в реторту поступает до тех пор, пока уровень воды в корпусе не станет ниже крана *б*. Часть воды из реторты вытесняется ацетиленом в конусообразный

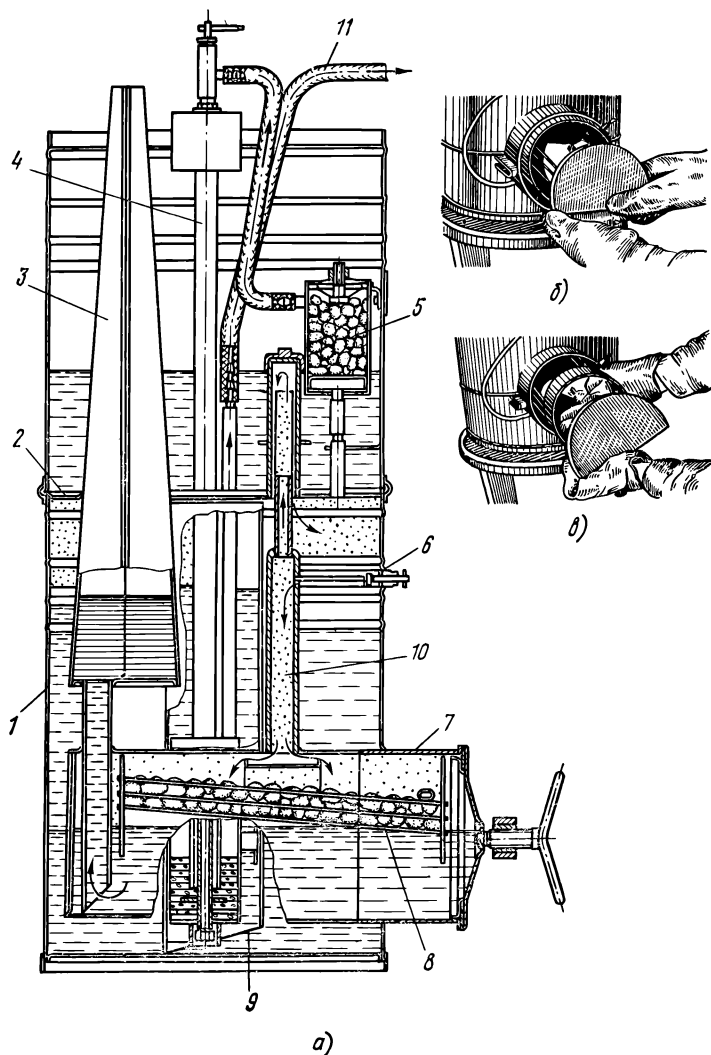


Рис. 73. Ацетиленовый генератор низкого давления АНВ-1-66:
а — схема, *б* — правильная установка корзины в реторту, *в* — то же, не-
 правильно

сосуд 3, что замедляет газовыделение в реторте и нарастание давления ацетилена в генераторе. По мере расходования газа давление понижается, уровень воды в корпусе генератора вновь поднимается до крана 6 и вода снова начинает поступать в реторту. Таким образом, процесс разложения карбида и выделение из него газа в реторте регулируются автоматически, в соответствии с отбором ацетилена из генератора.

Генератор АНВ-1-66 может работать в зимних условиях при температуре до -25°C не замерзая, так как его водоподающая система расположена внутри корпуса, вода в котором нагревается за счет тепла реакции разложения карбида кальция. С этой же целью водяной затвор помещен внутри генератора и находится в середине его циркуляционной трубы 9, по которой вода передавливается из нижней части корпуса в верхнюю. В летнее время затвор может быть вынут из генератора и установлен снаружи его. Осушитель 5 летом загружается кусками кокса размером 10—25 мм, а зимой — в нижней половине — коксом, в верхней — карбидом кальция.

Корзина с карбидом кальция грануляции 25×80 мм должна быть вставлена в генератор без перекоса (рис. 73, б). В генераторе можно использовать также карбид кальция размером 15×22 мм, в этом случае на прутки корзины укладывают более мелкую проволочную сетку, а вес загружаемого карбида кальция уменьшают до 2 кг. Не реже одного раза в три месяца генератор осматривают, полностью очищают и промывают от ила. Водяной затвор генератора осматривают, разбирают и промывают не реже одного раза в месяц. После окончания работы генератор убирают в помещение, вход в которое для посторонних лиц запрещен.

В ряде случаев для сварки и резки металлов необходимо иметь ацетилен под более высоким давлением — порядка $0,1—0,15 \text{ кгс/см}^2$ (перед горелкой). При работе на ацетилене под повышенным давлением легче регулировать пламя, горелка работает более устойчиво, без хлопков и обратных ударов.

ВНИИАвтогенмаш разработал конструкции ацетиленовых генераторов среднего давления, например ГВР-1, 25М, ГВР-3, АСМ-1-66 и др.

Генератор АСМ-1,25-3 (рис. 74) для получения газообразного ацетилена, среднего давления, системы «вытеснения». Внешний вид генератора дан на рис. 74, а, разрез на рис. 74, б. Корпус имеет две части: промыватель 1 и газообразователь 4. К корпусу газообразователя приварено верхнее днище 5 с горловиной, через которую вставляется корзина с карбидом кальция, закрепляемая на крышке 7. Крышку к горловине прижимают рычагом 9 с винтом 8. Между корпусом и шахтой 10 находится газовая подушка, необходимая для работы генератора по системе «вытеснения» воды газом. Ацетилен из газообразователя отводится по трубке 12, на которую сверху одет стакан 11, предотвращающий попадание в промыватель пены и известкового ила; нижний конец трубки 12 опущен в воду промывателя 1, которую заливают через горловину шахты. При

опускании корзины с карбидом кальция в шахту и закрытии крышки 7 вода смачивает карбид; образующийся ацетилен по трубке 12 проходит через слой воды в промывателе, охлаждается и через клапан 3 по шлангу 2 идет в водяной затвор 13, а затем в горелку или резак. Генератор имеет манометр 14 и ручки 15. В зимнее время на

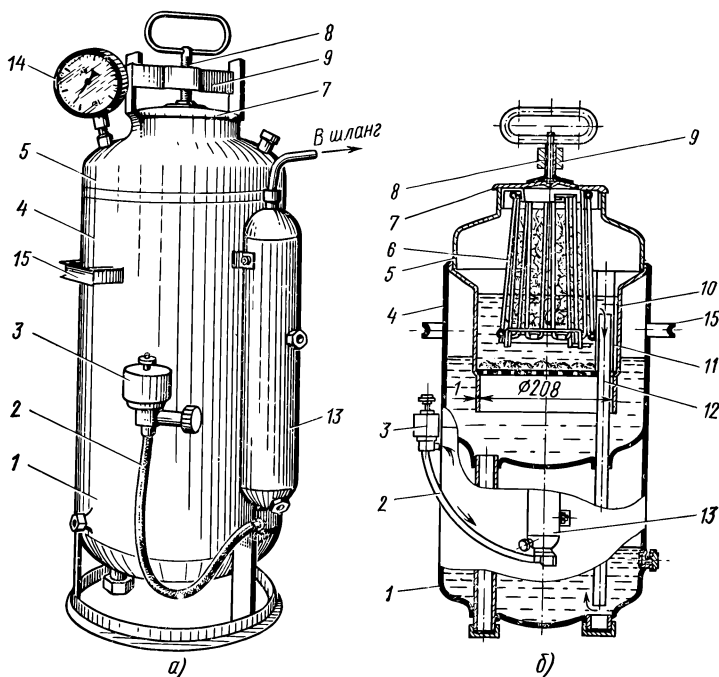


Рис. 74. Ацетиленовый генератор среднего давления АСМ-1,25-3:

1 — промыватель, 2 — шланг, 3 — клапан, 4 — газообразователь, 5 — верхнее днище, 6 — корзина, 7 — крышка, 8 — винт, 9 — рычаг, 10 — шахта, 11 — стакан, 12 — трубка, 13 — водяной затвор, 14 — манометр, 15 — ручки

генератор одевают утепляющий чехол. Производительность генератора $1,25 \text{ м}^3/\text{ч}$, рабочее давление ацетилена $0,1\text{--}0,7 \text{ кгс/см}^2$, максимальное давление $1,5 \text{ кгс/см}^2$, необходимое количество воды для заполнения: корпуса $24,5 \text{ дм}^3$, бачка 16 дм^3 , расход воды на 1 кг карбида кальция 5 дм^3 , единовременная загрузка карбида кальция $2,2 \text{ кг}$, применяемая грануляция карбида кальция $25 \times 80 \text{ мм}$, к. п. и. карбида кальция $0,85\text{--}0,95$, вес без воды 16 кг .

Водяной затвор должен заполняться водой до установленного уровня. В соответствии с рабочим давлением ацетилена применяют водяные затворы низкого и среднего давления.

Схема работы водяного затвора низкого давления при различных условиях показана на рис. 75, а, б, в, г. На рис. 75, д изображена конструкция затвора низкого давления. Ацетилен поступает в

затвор по центральной трубке 1, вытесняя воду в наружную трубку 2. При обратном ударе пламени в центральной трубке образуется водяная пробка, препятствующая прохождению взрывной волны через затвор в ацетиленовый шланг.

В генераторе среднего давления, в котором давление ацетилена может повышаться до $1,5 \text{ кгс/см}^2$, применяют закрытую конструкцию затворов (рис. 76). При нормальной работе ацетилен проходит по трубке 1 через обратный клапан 2 в корпус 3 и ниппель 5, да-

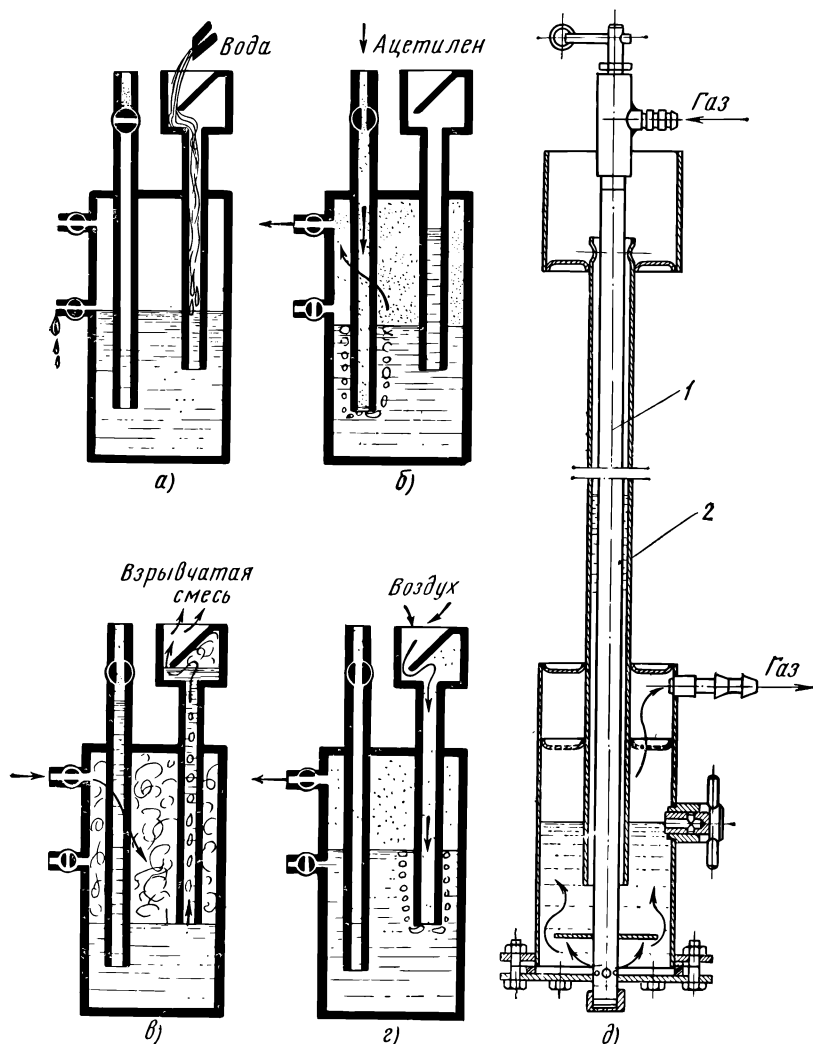


Рис. 75. Схема и конструкция водяного затвора низкого давления:
 а — наполнение водой, б — нормальная работа, в — обратный удар, г — подсос воздуха при недостатке газа, д — конструкция затвора низкого давления

лее — в горелку или резак. При обратном ударе пламени давление в затворе повышается и вода закрывает обратный клапан 2, предотвращая возможность прохода взрывной волны через затвор в трубку 1. Одновременно волна взрыва гасится, проходя узкий зазор между стенкой корпуса затвора и краем диска 4. Затвор наполняется водой до уровня крана 6.

Для газов-заменителей ацетилена (природного, пропана-бутана) используются только затворы закрытого типа, а также обрат-

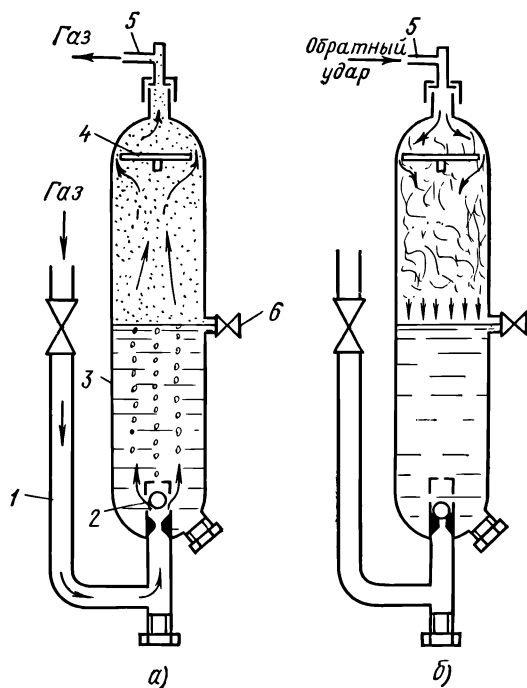


Рис. 76. Схема водяного затвора среднего давления ЗСП-7-67:

а — нормальная работа, б — обратный удар

ные предохранительные клапаны — сетевые и баллонные. Сетевой клапан (рис. 77, а) рассчитывается на пропускную способность 5 и 10 м³/ч для давления от 0,05 до 3 кгс/см². Он имеет корпус 1, сетчатый фильтр 2 и резиновый шариковый клапан 4 с направляющим стержнем 3. Баллонный клапан (рис. 77, б) имеет пропускную способность до 5 м³/ч, рассчитан на давление до 3 кгс/см² и состоит из корпуса 3, резинового клапана 2 с направляющим стержнем 4 и обратной пружины 1. Баллонный клапан ставится после редуктора (по ходу газа).

При обратном ударе пламени или поступлении кислорода в шланг горючего газа резиновый клапан закрывается и отключает поток горючего газа. Обратные клапаны удобны тем, что их можно устанавливать на открытом воздухе при низких температурах, при которых водяные затворы могут работать только при заполнении жидкостью с низкой температурой замерзания (например, антифризом).

§ 3. БАЛЛОНЫ ДЛЯ СЖАТЫХ ГАЗОВ

Баллоны для кислорода и других сжатых газов. Представляют собой стальные цилиндрические сосуды, имеющие внизу днище, а сверху горловину. В горловине баллона сделано конусное отверстие с резьбой, куда ввертывается вентиль. Сверху вентиль закры-

вают колпаком для предохранения от повреждения во время перевозки. Колпаки изготавливают из ковкого чугуна, из труб или из полиэтилена. На нижнюю часть баллона насажен башмак, обеспечивающий устойчивость баллона в вертикальном положении. Баллоны бесшовные для газов высоких давлений изготавливают из труб углеродистой и легированной стали. Наибольшее распространение имеют баллоны емкостью 40 дм³.

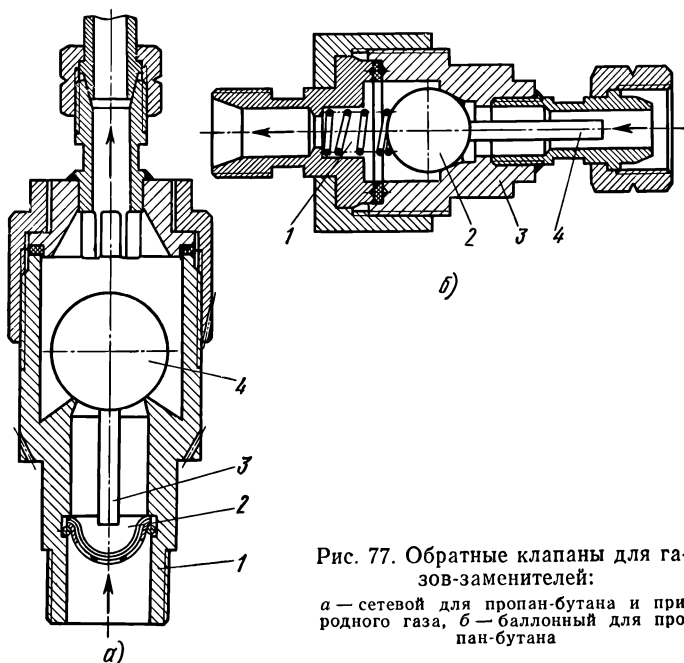


Рис. 77. Обратные клапаны для газов-заменителей:
а — сетевой для пропан-бутана и природного газа, *б* — баллонный для пропан-бутана

Баллоны типов 150 и 150Л применяют для кислорода, водорода, азота, метана, сжатого воздуха и редких газов. Для сжатого воздуха и метана используют также баллоны типов 200 и 200Л. Для углекислого газа применяют баллоны типа 150. Для ацетилена, аммиака и других газов с давлением до 100 кгс/см² применяют баллоны типа 100.

Правила Госгортехнадзора предусматривают окраску баллонов в условный цвет, присвоенный данному газу: кислородные — в голубой, ацетиленовые — в белый, для чистого аргона — в серый, для углекислого газа и воздуха — в черный, водорода — в темно-зеленый, для прочих горячих газов — в красный цвет.

На верхней сферической части баллона оставляют неокрашенный небольшой участок, на котором выбивают паспортные данные баллона: товарный знак завода-изготовителя, номер баллона, вес в килограммах, емкость в литрах, рабочее и испытательное давление в кгс/см², дату (месяц, год) изготовления и год следующего испыта-

ния, клеймо ОТК завода-изготовителя. На этой же части баллона выбивают клейма при последующих осмотрах и испытаниях, которые проводят через каждые пять лет.

Для приближенного расчета количества кислорода в баллоне водяную емкость баллона в литрах (дм^3) умножают на давление газа в нем в кгс/см^2 .

Пример. Емкость баллона 40 дм^3 , давление кислорода 150 кгс/см^2 . Количество кислорода в баллоне равно $40 \times 150 = 6000 \text{ дм}^3$, или 6 м^3 (при атмосферном давлении).

Расходовать кислород из баллона можно до тех пор, пока давление в нем не снизится до 0,5—1 кгс/см^2 . После этого вентиль баллона закрывают, снимают редуктор, наворачивают на вентиль заглушку, колпак и отправляют баллон на склад.

Полностью выпускать кислород из баллона нельзя, так как на заводе, где наполняют баллоны кислородом, не смогут в случае необходимости проверить, каким газом был наполнен баллон.

Баллоны для ацетилена. Хранение и транспортировка ацетилена под давлением в обычных баллонах недопустима из-за возможности взрыва ацетилена, находящегося в баллоне под высоким давлением. Взрыв может произойти от взрывчатого самораспада ацетилена, или при обратном ударе пламени в баллон, или случайном нагреве стенки баллона горелкой, и других причин. Поэтому, чтобы обеспечить безопасность хранения ацетилена под давлением, баллоны заполняют специальной высокопористой массой из активированного древесного угля в количестве 290—320 г/дм^3 емкости баллона или из смеси угля, пемзы, инфузорной земли или из других легких и пористых веществ. Массу в баллоне пропитывают ацетоном, в котором ацетилен хорошо растворяется. Ацетона берут из расчета 225—300 г на 1 дм^2 емкости баллона. Находясь в порах массы, растворенный в ацетоне ацетилен взрывобезопасен, и его можно хранить под давлением до 25—30 кгс/см^2 . Ацетилен в баллонах называется *растворенным ацетиленом* и выпускается по ГОСТ 5457 — 60. Нормальное давление растворенного ацетилена в баллоне 19 кгс/см^2 при 20° С.

Когда открывают вентиль, давление в баллоне понижается, ацетилен выделяется из ацетона и в виде газа выходит через редуктор в шланг горелки. Ацетон остается в порах массы и растворяет новые порции ацетилена при последующих наполнениях баллона газом.

Для определения количества ацетилена в баллоне последний взвешивают до и после наполнения газом. По разности весов определяют количество находящегося в баллоне ацетилена в килограммах.

Пример. Вес баллона с ацетиленом 89 кг ; вес порожнего баллона 83 кг , количество ацетилена в баллоне равно: по весу $89 - 83 = 6 \text{ кг}$; по объему $6 : 1,09 = 5,5 \text{ м}^3$ (при атмосферном давлении к температуре 20° С), где 1,09 кг/м^3 — плотность ацетилена.

Ацетиленовые баллоны, заполненные пористой массой, выпускаются по ГОСТ 5948—60 и имеют те же размеры, что и кислородные.

При отборе ацетилена из баллона вместе с газом уносится часть ацетона — 30—40 г на 1 м³ ацетилена, вследствие чего уменьшается газовбираемость баллона при последующих наполнениях. Для уменьшения потерь ацетона следует отбирать из баллона не более 1700 дм³/ч ацетилена и при этом держать баллон в вертикальном положении. При большом потреблении ацетилена несколько баллонов соединяют в батарею. Для уменьшения потерь ацетона нельзя отбирать ацетилен из баллона до остаточного давления менее 0,5 кгс/см² при температуре ниже 0°С, до 1 кгс/см² при температуре от 0 до 15°С, до 2 кгс/см² при температуре от 15 до 25°С и до 3 кгс/см² при температуре от 25 до 35°С.

Применение растворенного ацетилена при сварке и резке имеет ряд преимуществ по сравнению с ацетиленом, получаемым в передвижных ацетиленовых генераторах.

Баллоны для пропан-бутана. Изготавливаются по ГОСТ 15860—70 сварными из спокойных или полуспокойных сталей, выплаиваемых в мартеновских печах или конверторах. Применяют стали марок ВМ СтЗсп, ВМ СтЗпс, ВК СтЗсп и ВК СтЗпс по ГОСТ 380—71.

§ 4. РЕДУКТОРЫ ДЛЯ СЖАТЫХ ГАЗОВ. РУКАВА (ШЛАНГИ)

Устройство редукторов. Редукторы служат для понижения давления газа, отбираемого из баллона, и автоматического поддержания рабочего давления постоянным, независимо от падения давления газа в баллоне. Согласно ГОСТ 6268—68 постовые редукторы выпускают на рабочее давление газа перед горелкой или резаком: для кислорода — от 0,5 до 15 кгс/см², для ацетилена — от 0,01 до 1,5 кгс/см². Существует много конструкций редукторов, но принцип действия и основные детали их примерно одинаковы.

Схема устройства и работы редуктора показана на рис. 78. Сжатый газ из баллона поступает в камеру высокого давления 1. Давление перед редуктором определяется по манометру 2. Далее газ проходит через клапан 11, преодолевая значительное сопротивление, вследствие чего давление газа за клапаном становится ниже. Пройдя клапан, газ поступает в камеру низкого давления 10. Давление в камере определяется по манометру 3. Из камеры низкого давления газ через вентиль 6 подается в горелку. Мембрана (пластина из резины с прокладками из ткани) 7, регулирующий винт 9 и прижимы 8 и 4 служат для регулирования положения клапана 11, от степени открытия которого зависит рабочее давление газа после редуктора. Чем больше открыт клапан, тем выше рабочее давление газа и тем большее количество газа будет проходить через редуктор. При ввертывании винта 9 сжимаются пружины 8 и 4, открываются клапан 11 и давление в камере 10 повышается. При вывертывании винта 9, наоборот, клапан 11 прикрывается, а давление газа в камере 10, уменьшается.

Установленное рабочее давление в редукторе автоматически поддерживается постоянным. При уменьшении количества отбираемого газа его давление начнет возрастать и в камере низкого давления 10 газ будет с большей силой давить на мембрану 7, которая отойдет вниз и сожмет пружину 8. При этом пружина 4 прикроет клапан 11 и будет держать его в таком положении до тех пор, пока давление в камере 10 не станет вновь равным его первоначальной

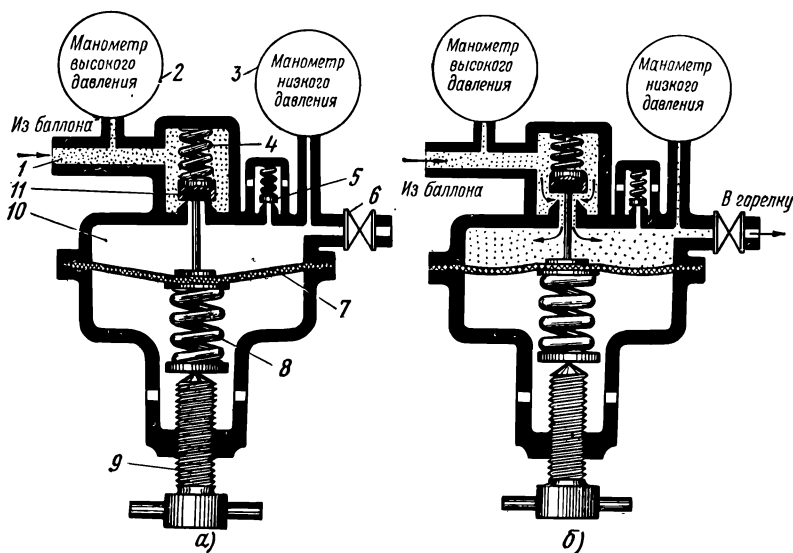


Рис. 78. Схема устройства и работы редуктора:

а — нерабочее положение — газ не идет через редуктор, б — рабочее положение — газ проходит через редуктор

величине. Обратное явление наблюдается при понижении рабочего давления в камере 10. Предохранительный клапан 5 защитит мембрану от разрыва в случае, если клапан 11 начнет пропускать газ.

По конструкции редукторы бывают однокамерные и двухкамерные. В двухкамерных (двухступенчатых) редукторах давление понижается в две ступени: в первой ступени с начального в 150 кгс/см^2 до промежуточного $40\text{--}50 \text{ кгс/см}^2$, а во второй ступени — до конечного рабочего давления $3\text{--}15 \text{ кгс/см}^2$. Двухступенчатые редукторы обеспечивают практически постоянное рабочее давление газа, не изменяющееся при понижении давления в баллоне по мере к «замерзанию», однако они сложнее по конструкции, чем однокамерные, и требуют для своего изготовления больше цветного металла, а поэтому и более дороги.

Баллонные редукторы для кислорода и ацетилена показаны на рис. 79. Ацетиленовый редуктор по принципу действия и конструктивному оформлению подобен кислородному. Отличие со-

стоит в том, что для присоединения к вентилю баллона у ацетиленовых редукторов вместо накидной гайки имеется специальный хомут с нажимным винтом. Кислородные редукторы окрашивают в голубой цвет, ацетиленовые — в белый.

Редукторы для других горючих газов присоединяются к штуцеру вентиля баллона накидной гайкой с левой трубной резьбой $\frac{1}{2}$ " и окрашиваются в красный цвет.

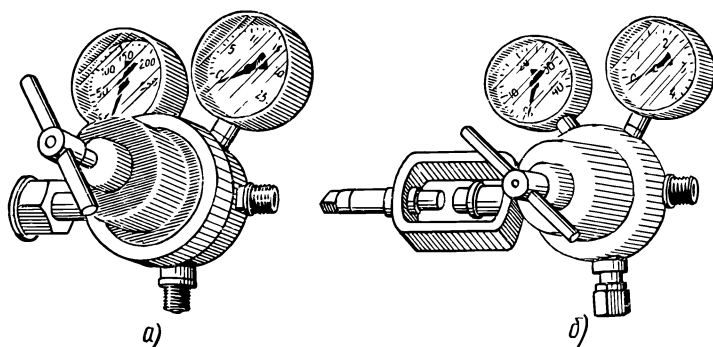


Рис. 79. Баллонные редукторы:
а — кислородный ДКП-1-65, б — ацетиленовый ДАП-1-65

Для централизованного питания кислородом применяют центральные (рамповые) редукторы ДКР-250/500, рассчитанные на максимальную пропускную способность до 250 и 500 $\text{м}^3/\text{ч}$, при рабочем давлении 3—16 $\text{кгс}/\text{см}^2$. В отдельных случаях применяют специальные редукторы с пропускной способностью до 1500—6000 $\text{м}^3/\text{ч}$.

Ниже приводятся технические характеристики баллонных редукторов, выпускаемых промышленностью.

	Давление, $\text{кгс}/\text{см}^2$:		Расход газа, максим., $\text{м}^3/\text{ч}$	Вес, кг
	максимальное на входе	рабочее		
Кислородный ДКП-1-65	200	1—15	До 60	2,4
Водородный ДВП-1-65	200	1—15	80	2,4
Ацетиленовый ДАП-1-65	30	0,1—1,2	5	3,08
Пропан-бутановый ДПП-1-65	25	0,1—3	5	2,48
Кислородные 2-камерные:				
ДКД-8-65	200	0,5—8	25	3,4
ДКД-15-65	200	1—15	60	3,4
Ацетиленовый 2-камерный:				
ДАД-1-65	30	0,1—1,2	До 5	3—49

Для сварочных постов, питаемых от газопроводов, промышленностью выпускаются сетевые редукторы следующих типов.

Газ	ДКС-1 -66 кислород	ДАС-1-66 ацетилен	ДПС-1-66 пропан	ДГМ-1-66 метан
Давление на входе кгс/см^2	7—16	1,1—1,2	2,5—3	2,5—3
Давление рабочее, кгс/см^2	0,1—5	0,1—1	0,2—1,5	0,2—1,5
Расход газа, $\text{м}^3/\text{ч}$	5—10	5—10	3—6	17,5—35

Минимальный расход газа соответствует наименьшему рабочему давлению, максимальный — наибольшему.

Для централизованного питания цехов горючими газами (ацетиленом и пропан-бутаном) выпускаются рамповые газовые редукторы, имеющие следующую характеристику:

	Ацетиленовый ДАР-1-64	Пропан-бутановый ДПР-1-64
Давление газа, кгс/см^2 :		
максимальное на входе	30	25
рабочее	0,2—1	0,2—3
Максимальный расход газа, $\text{м}^3/\text{ч}$. .	15	25
Вес, кг	14,25	14,3

Для аргонодуговой сварки и регулирования расхода аргона, подаваемого в горелку для защиты металла шва, применяют аргонный редуктор АР-40 с расходомером. Редуктор двухступенчатый для измерения расхода аргона имеет манометр-расходомер, установленный на месте манометра низкого давления и имеющий двойную шкалу, градуированную в л/мин для замера расхода аргона: черную — для расходов 5—14 и красную — для расходов 14—20 л/мин . Соответственно этим шкалам редуктор снабжается двумя мерными шайбами (дюзами). Редуктор снабжен клапаном предельного давления, прекращающим поступление в горелку аргона при повышении его давления свыше 3 кгс/см^2 .

Давление газа в редукторе (кгс/см^2): на входе, максимальное 200, в рабочей камере 1—4,7, после редуктора — не более 3. Вес редуктора 4 кг.

Обращение с редукторами. Перед присоединением редуктора к вентилю баллона необходимо продуть штуцер вентиля, открыв вентиль на 1—2 сек, проверить исправность фибровой прокладки на штуцере редуктора. Резьба накидной гайки редуктора не должна иметь повреждений. На штуцере, прокладке и резьбе накидной гайки не должно быть следов масла и грязи.

После присоединения редуктора к вентилю нужно полностью ослабить регулирующий винт редуктора, а затем открыть вентиль баллона, следя за показаниями манометра высокого давления. При этом сварщик должен стоять сбоку от редуктора.

Затем следует отрегулировать рабочее давление, вращая регулирующий винт редуктора по часовой стрелке. Когда давление достигнет нужной величины, можно пустить газ в горелку.

При перерывах в работе необходимо ослабить пружину редуктора и выпускать газ из горелки, вращая регулирующий винт против часовой стрелки, пока стрелка манометра низкого давления не

остановится на нулевом делении. После этого полностью закрыть вентиль баллона.

Манометры редуктора всегда должны быть исправными и правильно показывать давление газа. Неисправные манометры необходимо заменять. Неисправный редуктор следует сдать в мастерскую для ремонта. Не разрешается ремонтировать редуктор на баллоне, так как это может привести к несчастному случаю.

Рукава (шланги). Шланги служат для подвода газа в горелку или резак. Они должны выдерживать давление газа, быть гибкими и не стеснять движений сварщика. Шланги изготовляют из вулканизированной резины с одной или двумя тканевыми прокладками. Шланги предназначаются для работы при наружной температуре от +50 до —35° С. Для более низкой температуры изготовляют шланги по особым ТУ, неокрашенные, из морозостойкой резины. Например, резина марки 14К-10 по МРТУ 38-5-11-66 —64 выдерживает температуру до —65° С.

По ГОСТ 9356—60* рукава, в зависимости от назначения и условий работы, изготовляются следующих трех типов: тип I — для ацетилена и городского газа на рабочее давление не более 6 кгс/см²; тип II — для жидкого топлива (бензин, керосин) на рабочее давление не более 6 кгс/см²; тип III — для кислорода на рабочее давление не более 15 кгс/см². Для малых горелок применяют рукава с внутренним диаметром 6 мм, для горелок и резаков нормальной и повышенной мощности — рукава с внутренним диаметром 9, 12 и 16 мм. Рукава всех типов должны выдерживать гидравлическое испытание на давление, на 25% превышающее максимальное рабочее (типы I и II — на 7,5 кгс/см², тип III — на 17,75 кгс/см²).

Запас прочности рукавов типов I и II должен быть не менее, чем четырехкратный, а типа III — не менее, чем трехкратный по отношению к рабочему давлению. Рукава типа II должны быть изготовлены из бензостойкой резины. Все рукава должны иметь цветной наружный слой: для кислорода — синий, ацетилена — красный, жидкого топлива — желтый. Чтобы сварщик мог свободно работать, длина каждого шланга берется от 8 до 20 м. При длине более 20 м слишком сильно возрастают потери давления в шлангах.

§ 5. СВАРОЧНЫЕ ГОРЕЛКИ

Инжекторные горелки. Сварочная горелка — основной инструмент при газовой сварке. Наибольшее применение находят инжекторные горелки, работающие на ацетилене низкого и среднего давления (рис. 80, а).

Кислород под давлением поступает по трубке 5 через вентиль 6 в сопло инжектора 3. При истечении кислорода из сопла с большой скоростью создается разрежение в трубке 4, в которую через вентиль 7 засасывается ацетилен. Кислород и ацетилен далее поступают в смесительную камеру 2, где образуют горячую смесь, выходящую из мундштука 1 и дающую при сгорании сварочное пламя. Разрез инжекторного устройства горелки показан на рис. 80, б.

Для нормальной работы инжекторной горелки давление поступающего в нее кислорода должно быть 2—4 кгс/см². Давление ацетилена может быть значительно ниже — от 0,01 до 0,1 кгс/см² (от 100 до 1000 мм вод. ст.).

Инжекторные горелки могут работать и при среднем давлении (от 0,1 до 1,5 кгс/см²) ацетилена. Более высокое давление облегчает работу инжектора и регулирование пламени, однако при слишком высоком давлении приходится сильно прикрывать вентиль горючего

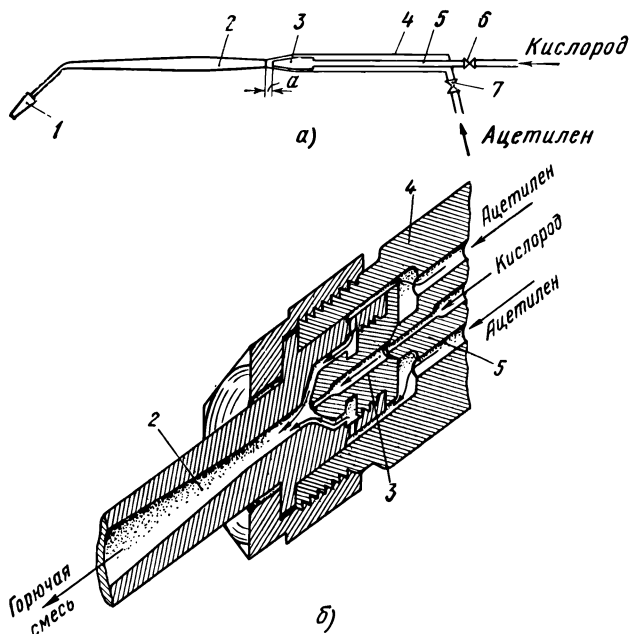


Рис. 80. Схема инжекторной горелки (а) и разрез инжекторного устройства (б)

газа на горелке, что увеличивает возможность хлопков и обратных ударов пламени. Поэтому при работе от баллона давление ацетилена перед горелкой должно поддерживаться в пределах 0,2—0,5 кгс/см².

Для нормальной величины подсоса (т. е. разрежения в ацетиленовых каналах) в горелке имеет значение расстояние *a* между концом сопла инжектора и входом в смесительную камеру (рис. 80, а). При увеличении этого расстояния до некоторого предела подсос возрастает, а при уменьшении — падает.

Устойчивое горение пламени при нормальном составе смеси для ацетилено-кислородных горелок и мундштуков обеспечивается при скорости истечения смеси из сопла мундштука в пределах от 50 до 170 м/сек (для мундштуков с диаметром выходного канала

d_m от 0,6 до 3,5 мм); при этом избыточное давление смеси в трубке перед мундштуком должно быть в пределах 0,03—0,27 кгс/см². При скорости истечения 20—40 м/сек возникают хлопки и обратные удары пламени, а при скорости 140—240 м/сек возможен отрыв пламени от мундштука горелки.

Для лучшего отвода тепла мундштука изготавливают из теплоустойчивых, высокотеплопроводных материалов — меди МЗ или хромистой бронзы Бр.Х0,5 (ЦМТУ 3299—53), к которой в меньшей степени прилипают брызги расплавленного металла. Мундштуки горелок малой мощности и имеющие водяное охлаждение изготавливают из латуни ЛС59-1. Для устойчивого горения и правильной формы пламени требуется тщательная обработка поверхности выходного канала мундштука; недопустимы заусенцы, вмятины и другие повреждения, могущие вызвать отрыв, хлопок или обратный удар пламени. Снаружи мундштуки полируют для предупреждения налипания брызг металла.

В соответствии с ГОСТ 1077—69 и 5191—69 инжекторные ацетилено-кислородные сварочные горелки и резак должны обеспечивать запас* ацетилена не менее: горелки — 15%, резак — 10% от максимального расхода газа.

На рис. 81 показаны инжекторные горелки средней мощности ГС-3 и малой мощности ГС-2. Горелки снабжаются сменным набором наконечников различных номеров, отличающихся расходом газа и предназначенных для сварки металла различной толщины.

Номер наконечника подбирается в соответствии с толщиной свариваемого металла (стали) или требуемым удельным расходом ацетилена в $дм^3/ч$ на 1 мм толщины по данным табл. 9.

Промышленностью выпускались также горелки ГС-53 и «Москва» с характеристикой, аналогичной горелке ГС-3, и горелка «Малютка», соответствующая горелке ГС-2.

Для сварки и наплавки черных и цветных металлов большой толщины, заварки дефектов в крупногабаритных чугунных деталях, нагрева при правке, гибке и выдавливании металла и других подобных работах применяют горелки большой мощности ГС-4.

Они имеют два наконечника: № 8 для металла толщиной 30—50 мм, на расход ацетилена 2,8—4,5 и кислорода 3,1—5 $м^3/ч$; № 9 для толщин 50—100 мм, на расход ацетилена 4,5—7, кислорода 5—8 $м^3/ч$. В этих наконечниках инжектор и смесительная камера установлены непосредственно перед мундштуком, а горячий газ подается в инжектор по трубке, расположенной внутри трубки для подачи кислорода. Этим предупреждается нагревание горючего газа и смеси отраженным теплом пламени, что уменьшает возможность обратных ударов и хлопков при работе в тяжелых условиях нагрева. Для работы на пропан-бутане горелка ГС-4 имеет два наконечника с сетчатыми мундштуками на расходы: № 8 — пропан-бутана

* Запас ацетилена — увеличение его расхода при полном открытии ацетиленового вентиля горелки по сравнению с паспортным расходом газа для данного номера мундштука.

1,7—2,7, кислорода 6—9,5 м³/ч; № 9 — пропан-бутана 2,7—4,2; кислорода 9,5—14,7 м³/ч.

К рукоятке (стволу) универсальных горелок ГС-3 можно присоединять также наконечники специального типа: многопламенные, для подогрева, паяния и др.

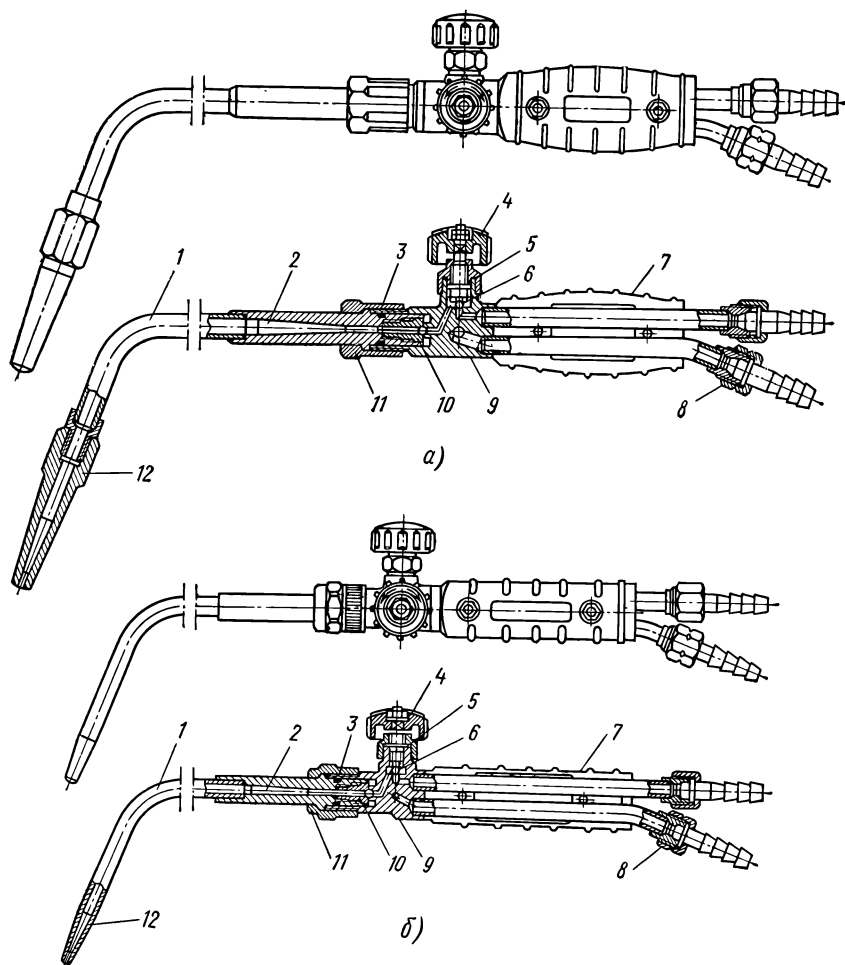


Рис. 81. Внешний вид и разрез инжекторных горелок:

а — типа ГС-3, б — типа ГС-2; 1 — трубка наконечника, 2 — смешительная камера, 3 и 5 — резиновые уплотнительные кольца (маслостойкая резина ГОСТ 9833—61 со смазкой ЦИАТИМ-221 по ГОСТ 9433—60), 4 — маховичок, 6 — шаровой уплотнительный клапан, 7 — пластмассовая рукоятка, 8 — ацетиленовый ниппель, 9 — корпус, 10 — инжектор, 11 — накидная гайка, 12 — мундштук

При сварке крупных деталей (например, заварке чугуна с подогревом и др.) применяются специальные теплоустойчивые наконечники НАТ-5-6 и НАТ-5-7, снабженные теплоизоляционной прослойкой Х25Т, отличающейся повышенной теплоустойчивостью и

Техническая характеристика наконечников горелок ГС-2 и ГС-3

Показатели	Номера наконечников							
	0	1	2	3	4	5	6	7
Примерная толщина свариваемого металла (сталь), мм	0,3—0,6	0,5—1,5	1—2,5	2,5—4	4—7	7—11	10—18	17—30
Расход, $\text{дм}^3/\text{ч}$:								
ацетилен	25—60	50—125	120—240	230—400	400—700	660—1100	1050—1750	1700—2800
кислорода	28—70	50—135	130—260	250—400	430—750	470—1200	1150—1950	1900—3100
Диаметр отверстий, мм:								
инжектора	0,18	0,25	0,35	0,45	0,6	0,75	0,95	1,2
смесительной камеры	0,6	0,85	1,15	1,5	1,9	2,3	2,8	3,5
мундштука	0,6	0,85	1,15	1,5	1,9	2,3	2,8	3,5
Давление кислорода, $\text{кгс}/\text{см}^2$	0,8—4	1—4	1,5—4	2—4	2—4	2—4	2—4	2—4
Скорость истечения смеси из мундштука, $\text{м}/\text{сек}$	40—135	50—130	65—135	75—135	80—140	90—150	100—160	110—170

сопротивляемостью окислению при высоких температурах. Такие наконечники могут длительное время выдерживать сильный нагрев, не давая при этом хлопков обратных ударов пламени. Для этих же работ на Бежицком сталелитейном заводе используют обычные наконечники, но снабженные дополнительной трубкой для подвода к ним охлаждающего воздуха. Такой наконечник № 6 требует для своего охлаждения $90 \text{ м}^3/\text{ч}$ воздуха при давлении $5 \text{ кгс}/\text{см}^2$ и может работать непрерывно в течение 15—20 мин.

Горелки ГС-2 применяют для сварки металла малых толщин от 0,3 до 4 мм. Эти горелки имеют вес 360—400 г и комплект наконечников № 0; 1; 2 и 3. Для них используют шланги с внутренним диаметром 6 мм.

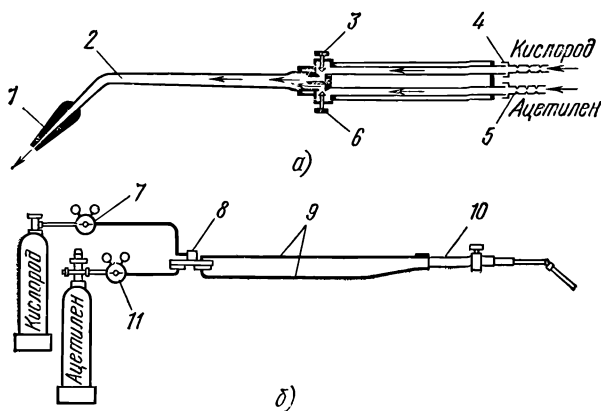


Рис. 82. Безынжекторная горелка:

а — схема горелки, *б* — схема аппаратуры равного давления; 1 — мундштук, 2 — трубка, 3 — вентиль для кислорода; ниппели: 4 — кислородный, 5 — ацетиленовый, 6 — вентиль для ацетилена, 7 — редуктор кислородный, 8 — регулятор ДКР, 9 — шланги, 10 — горелка ГАР, 11 — редуктор ацетиленовый

Техническая характеристика наконечников № 1, 2 и 3 и горелок ГС-2 такая же, как у соответствующих номеров наконечников нормальной горелки (см. табл. 9). Наконечник № 0 применяют для сварки металла толщиной от 0,3 до 0,6 мм; он рассчитан на расход ацетилена от 25 до $60 \text{ дм}^3/\text{ч}$, кислорода от 28 до $70 \text{ дм}^3/\text{ч}$, давление кислорода от 0,8 до $4 \text{ кгс}/\text{см}^2$. Диаметры каналов наконечника следующие: инжектора — 0,18 мм, смесительной камеры — 0,6 мм, мундштука — 0,6 мм.

Для сварки, пайки и нагрева металлов очень малой толщины (0,1—0,6 мм) применяют горелки микромощности ГС-1 с наконечниками № 00 и 0. Наконечник № 00, предназначенный для толщин 0,1—0,25 мм, рассчитан на расход ацетилена 10—25 $\text{дм}^3/\text{ч}$, кислорода 13—34 $\text{дм}^3/\text{ч}$. Характеристика наконечника № 0 дана выше.

Безынжекторные горелки. В инжекторных горелках при сильном нагревании мундштука инжектирующее действие струи кислорода, вытекающей из сопла инжектора, ухудшается. В этом случае

в инжекторной горелке состав горючей смеси изменяется и в ней появляется избыток кислорода, из-за чего приходится прерывать сварку и охлаждать мундштук.

Более постоянный состав горючей смеси дают безынжекторные горелки, в которые оба газа — кислород и ацетилен — поступают под одинаковым давлением — $0,5 - 1,0 \text{ кгс/см}^2$. Горелки большой мощности и многопламенные, работающие в тяжелых условиях и при высокой температуре, обычно делаются безынжекторными и снабжаются устройствами для водяного охлаждения мундштука.

Схема безынжекторной горелки изображена на рис. 82, а. Кислород и ацетилен поступают в горелку под равными давлениями, а количество газов регулируют ventилями горелки.

ВНИИАвтогенмаш разработана газосварочная аппаратура, состоящая из постового беспружинного регулятора ДКР, автоматически обеспечивающего равенство рабочих давлений кислорода и ацетилена в безынжекторной горелке ГАР (равного давления). Горелка ГАР укомплектована семью наконечниками. Каждый наконечник имеет смесительную камеру с двумя калиброванными отверстиями: боковыми для ацетилена и центральными для кислорода. Кислород и ацетилен поступают в горелку из регулятора под одинаковыми давлениями (рис. 82, б). Регулирующим газом является ацетилен; при изменении давления ацетилена регулятор соответственно изменяет давление кислорода так, что оно всегда остается равным давлению ацетилена, поступающего в горелку. Поэтому состав горючей смеси в горелке остается постоянным.

Горелки для работы на пропан-бутане. Для повышения скорости сгорания и температуры пламени в пропан-бутан-кислородных горелках с одно сопловыми наконечниками применяются дополнительный подогрев и перемешивание газов до выхода их из мундштука. С этой целью в горелках ГЗУ-2-62 и ГЗМ-2-63М, разработанных ВНИИАвтогенмаш, имеются специальный подогреватель и подогревающая камера, располагаемые между трубкой горючей смеси и мундштуком наконечника (рис. 83, а).

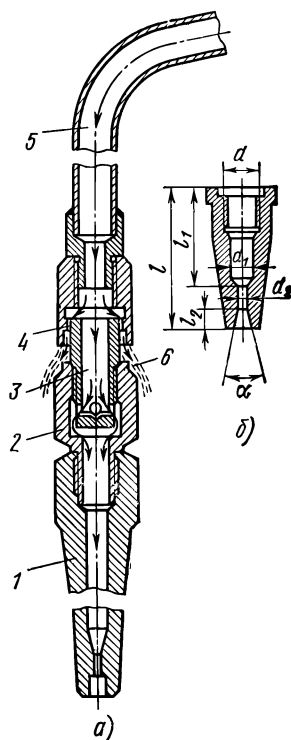


Рис. 83. Наконечник горелки ГЗУ-2-62 с подогревателем и подогревающей камерой (а) и мундштуки Копейского машиностроительного завода имени С. М. Кирова (б):

1 — мундштук, 2 — подогревающая камера, 3 — подогреватель, 4 — сопла подогревателя, 5 — трубка для горючей смеси, 6 — факелы подогревающего пламени

Поступающая в мундштук 1 по трубке 5 смесь пропан-бутан-кислород проходит подогреватель 3 и направляется в камеру 2. Часть (5—10%) потока смеси поступает в каналы сопел 4 и образует факелы 6, нагревающие камеру 2. В камере 2 смесь подогревается до 300—360° С и, сгорая на выходе из мундштука 1, образует острое, резко очерченное ядро и факел пламени. Температура пламени в этом случае повышается примерно на 300—330° С. Подогревающие камеры изготовляют из нержавеющей стали 1Х18Н9, так как латунные быстро выходят из строя вследствие выгорания цинка.

Горелками с подогревателями можно выполнять сварку стали толщиной до 5 мм пропан-бутан-кислородным пламенем при всех положениях шва в пространстве, а также сваривать чугун. Вместо пропан-бутана могут использоваться и другие газы-заменители: метан, природный и городской газы. Горелки ГЗУ-2-62 имеют четыре односopловых, наконечника (№ 1, 2, 3 и 4) для сварки и три (№ 5, 6 и 7) сетчатых для подогрева. Сетчатые наконечники не имеют подогревателей и подогревающих камер. Горелка ГЗМ-2-62М снабжена только четырьмя односopловыми наконечниками: № 0, 1, 2 и 3.

Расход газов для наконечников различных номеров составляет (в $\text{дм}^3/\text{ч}$):

№ наконечника	0	1	2	3	4	5	6	7
Расход:								
пропан-бутана	15—40	30—70	70—140	140—240	240—400	400—650	650—1050	1050—1700
кислорода	50—140	105—260	260—540	520—840	840—1400	1350—2200	2200—3600	3500—5800

Для сварки и наплавки пропан-бутан-кислородным пламенем на Копейском машиностроительном заводе им. С. М. Кирова успешно применяют мундштуки, конструкция которых показана на рис. 83, б. Размеры мундштуков (мм) следующие:

Номер мундштука	2	3	4	5	6
d_1	4	4	5	5,5	6
d_2	1,8	2,2	2,5	2,8	3,2
α	25°	25°	25°	30°	30°
l	34	39	42	42	42
l_1	20	25	28	28	28
l_2	4	4,5	5	5	5
d	M8×1	M8×1	M9×1	M10×1	M11×1

Камерно-вихревые горелки. Для ряда процессов (нагрева, пайки, сварки пластмасс и др.) не требуется высокая температура, даваемая ацетилено-кислородным пламенем. Для этих процессов могут применяться камерно-вихревые горелки, работающие на пропановоздушной смеси, разработанные и исследованные Ю. И. Некрасовым во ВНИИАвтогенмаше. Эти горелки имеют вместо мундштука камеру сгорания, в которую отдельно подаются пропан и воздух под давлением от 0,5 до 2 $\text{кгс}/\text{см}^2$. Пропан подается в камеру

через центральный канал сопла, а воздух, являющийся также вихреобразующим газом, поступает по многозаходным ленточным винтовым каналам, обеспечивающим «закрутку» газовой смеси в камере сгорания. Смесь пропана и воздуха сгорает в камере и выходит через ее концевое сопло с большой скоростью, образуя пламя необходимой температуры. Длина рабочей части пламени в зависимости от расхода газов равна от 5 до 25 мм. Регулируя коэффициент избытка воздуха в смеси от 1 до 4 можно получить пламя с температурой (соответственно) от 1700 до 350°C. Камера сгорания изготавливается из теплостойкой стали.

Горелки специальные. Для различных процессов газопламенной обработки используются специальные горелки. К ним относятся: горелки для поверхностной закалки; для пламенной очистки металла от краски и окалины; для пайки и нагрева; многопламенные для газопрессовой сварки; для сварки термопластиков (винипласта, оргстекла, полиэтилена и др.); для поверхностной термообработки и др. Эти горелки имеют соответствующую форму мундштуков и рассчитаны на требуемый расход газов. Они выпускаются как для работы на ацетилене, так и газах-заменителях: пропан-бутане, природном газе и др.

Глава X

СВАРОЧНОЕ ПЛАМЯ

§ 1. СВОЙСТВА И РЕГУЛИРОВАНИЕ СВАРОЧНОГО ПЛАМЕНИ

Внешний вид, температура и влияние сварочного пламени на расплавленный металл зависят от состава горючей смеси, т. е. соотношения в ней кислорода и ацетилена.

При сгорании ацетилена в воздухе без добавления кислорода образуется пламя желтоватого цвета, имеющее форму длинного факела без светлого ядра. Такое пламя имеет низкую температуру и коптит, выделяя много сажи (несгоревшего углерода), поэтому непригодно для сварки.

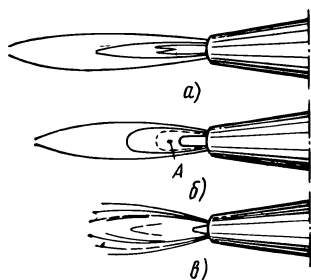


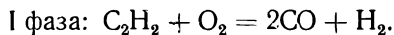
Рис. 84. Схемы сварочного пламени:

а — науглероживающего, *б* — нормального (восстановительного), *в* — окислительного; *А* — зона максимальной температуры

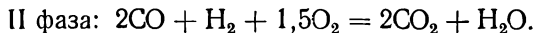
Если в пламя прибавлять кислород, оно резко меняет свой цвет и форму, а температура его значительно повышается. Изменяя соотношения кислорода и ацетилена, можно получать три основных вида сварочного пламени (рис. 84, *а*, *б*, *в*): нормальное, называемое также восстановительным; окислительное (с избытком кислорода) и науглероживающее (с избытком ацетилена).

Для сварки большинства металлов применяют нормальное (восстановительное) пламя. Теоретически оно об-

разуется, когда в горелку на один объем ацетилена подается один объем кислорода. Ацетилен тогда сгорает за счет кислорода смеси по реакции.



Последующее сгорание происходит за счет кислорода окружающего воздуха по реакции



Оксид углерода и водород, образующиеся в пламени при I фазе сгорания, раскисляют металл, восстанавливая имеющиеся в сварочной ванне окислы. При этом металл шва получается без пор, газовых пузырей и включений окислов.

Практически в смесь подают несколько больше кислорода, чем это нужно для получения восстановительного пламени по приведенной выше схеме сгорания. Нормальное пламя получается при избытке кислорода в смеси до 30% против теоретического, т. е. при отношении ацетилена и кислорода от 1:1 до 1:1,3.

Схема образования нормального восстановительного ацетилено-кислородного пламени показана на рис. 85, а. Нормальное пламя имеет ядро, восстановительную зону и факел. У ядра четко очерченная форма, близкая к форме цилиндра с закругленным концом, и ярко светящаяся оболочка из раскаленных частиц углерода, сгорание которых происходит в наружном слое оболочки. Размеры ядра зависят от расхода горючей смеси и скорости ее истечения. Если увеличить давление кислорода в горелке, то скорость истечения смеси увеличится и ядро удлинится. С уменьшением скорости истечения смеси ядро укорачивается. На рис. 85, а внизу приведены длины и диаметры (мм) ядер ацетилено-кислородного пламени для мундштуков разных номеров.

Восстановительная зона имеет темный цвет, отличающий ее от ядра и остальной части пламени. Длина этой зоны достигает 20 мм от конца ядра, а зависимости от номера мундштука. Она содержит окись углерода и водород. Восстановительная зона имеет наиболее высокую температуру в точке, отстоящей на расстоянии 2—6 мм от конца ядра. Этой частью пламени нагревают и расплавляют металл в процессе сварки.

Остальная часть пламени за восстановительной зоной называется факелом. Факел содержит углекислый газ, пары воды и азот, которые образуют при сгорании окиси углерода и водорода восстановительной зоны за счет кислорода окружающего воздуха, в состав которого входит азот. Температура факела значительно ниже температуры восстановительной зоны.

Если увеличить подачу кислорода или уменьшить подачу ацетилена в горелку, то получается окислительное пламя. Оно образуется, когда в смеси на один объем ацетилена приходится более 1,3 объема кислорода. Окислительное пламя характеризуется укороченным, заостренным ядром с менее резкими очертаниями. Температура окислительного пламени выше температуры нормального восстановительного, однако такое пламя может окислять свариваемый металл.

При уменьшении подачи кислорода или увеличении подачи ацетилена получается науглероживающее пламя, которое иногда называют ацетиленистым. Оно образуется при подаче в горелку 0,95 и менее объема кислорода на один объем ацетилена. В ацетиленистом пламени размеры зоны сгорания увеличиваются, ядро теряет резкие очертания, становится расплывчатым, а на конце ядра появляется зеленый венчик, по которому судят об избытке ацетилена. Восстановительная зона светлее, почти сливается с ядром и пламя принимает желтоватую окраску. При большом избытке ацетилена пламя коптит вследствие недостатка кислорода, необходимого для полного сгорания ацетилена.

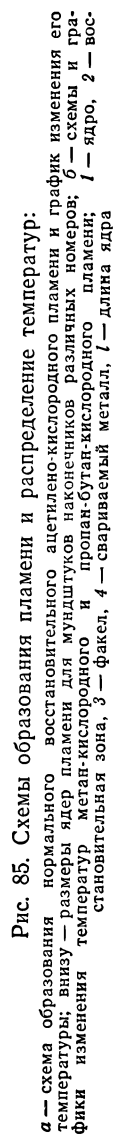


Рис. 85. Схемы образования пламени и распределение температур:

Избыточный ацетилен в ацетиленистом пламени разлагается на водород и углерод, переходит в расплавленный металл. Температура такого пламени ниже температуры восстановительного пламени. Уменьшая подачу ацетилена в горелку (до полного исчезновения зеленого венчика на конце ядра), ацетиленистое пламя превращают в нормальное.

При регулировании пламени следует обращать внимание на правильность установки давления кислорода и размер ядра пламени. С повышением давления кислорода скорость истечения смеси из мундштука возрастает и пламя становится «жестким», т. е. раздувает металл сварочной ванны и этим затрудняет сварку. При слишком большой скорости истечения смеси пламя может отрываться от мундштука. Если же давление кислорода недостаточно, то пламя становится короче и при приближении конца мундштука к металлу горелка начинает хлопать.

Сварочное пламя должно обладать достаточной *тепловой мощностью*, т. е. давать количество тепла, необходимое для расплавления свариваемого и присадочного металла и покрытия потерь тепла в окружающую среду. Тепловая мощность пламени определяется расходом ацетилена ($\text{дм}^3/\text{ч}$) в горелке.

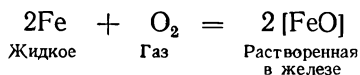
При сварке тепловая мощность пламени выбирается в зависимости от толщины свариваемого металла и его физических свойств. Металл большой толщины и хорошо проводящий тепло требует более мощного сварочного пламени, чем тонкий, менее теплопроводный и более легкоплавкий металл. Изменяя тепловую мощность пламени, можно в широких пределах регулировать скорость нагрева и расплавления металла, что является одним из положительных качеств процесса газовой сварки. Схема и распределение температур для метан-кислородного и пропан-бутан-кислородного пламени показаны на рис. 85, б.

§ 2. МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ГАЗОВОЙ СВАРКЕ

Металлургические процессы при газовой сварке характеризуются: малым объемом ванны расплавленного металла; высокой температурой и концентрацией тепла в месте сварки; большой скоростью расплавления и остывания металла; интенсивным перемешиванием металла ванны газовым потоком пламени и присадочной проволокой; химическим взаимодействием расплавленного металла с газами пламени.

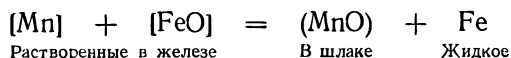
При избытке в пламени кислорода происходят реакции окисления железа, марганца, кремния и углерода по уравнениям:

1. Железо:

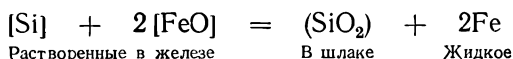


Образующаяся закись железа FeO может окислять марганец, кремний и углерод по реакциям:

2. Марганец:

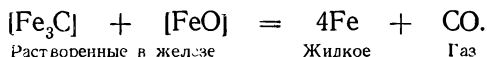


3. Кремний:



Так как окислы MnO и SiO₂ переходят в шлак, то количество раскислителей (марганца и кремния) в металле шва уменьшается. Это приводит к появлению избытка кислорода в наплавленном металле и ухудшению его механических свойств.

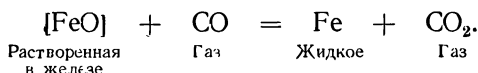
4. Углерод:



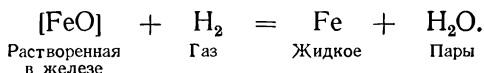
При выходе окиси углерода из сварочной ванны происходит кипение и разбрызгивание металла.

Если пламя имеет восстановительный характер, в сварочной ванне будут протекать реакции восстановления, обратные приведенным выше, а именно:

1. Восстановление железа окисью углерода:



2. Восстановление железа водородом:

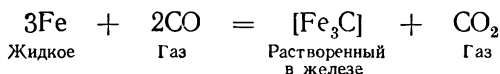
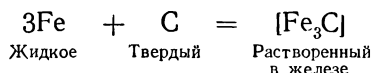


Водород способен хорошо растворяться в жидком железе. При быстром остывании сварочной ванны он может остаться в шве в виде мелких газовых пузырей. Однако газовая сварка обеспечивает более медленное охлаждение металла по сравнению с дуговой сваркой. Поэтому при газовой сварке углеродистой стали весь водород успевает выделиться из металла шва и последний получается плотным.

Большую опасность водород представляет для сварки меди и латуни, так как может вызвать «водородную болезнь» (растрескивание) меди и пористость шва при сварке латуни.

3. Восстановление железа из его закиси FeO осуществляется марганцем и кремнием по приведенным выше уравнениям 2 и 3.

Если в пламени имеется избыток углерода, то он может переходить в металл и науглероживать его по реакциям:



Свободный углерод образуется в пламени при разложении ацетилена по реакции $\text{C}_2\text{H}_2 \rightarrow 2\text{C} + \text{H}_2$.

При газовой сварке в металле шва происходят структурные изменения. Вследствие более медленного (по сравнению с дуговой сваркой) нагрева зона влияния при газовой сварке получается больше, чем при дуговой.

При газовой сварке углеродистых сталей малых толщин зона теплового влияния основного металла простирается на 8—15 мм, а средних толщин — на 20—25 мм в ту и другую сторону от шва. Характер изменения структуры металла в зоне теплового влияния определяется составом металла (сплава) и его состоянием перед сваркой. Для улучшения структуры и свойства металла шва и околошовной зоны часто применяют горячую проковку шва, общую или местную термообработку. Местную термообработку также производят путем нагрева металла шва и околошовной зоны пламенем сварочной горелки.

Глава XI

ТЕХНОЛОГИЯ ГАЗОВОЙ СВАРКИ

§ 1. ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГАЗОВОЙ СВАРКИ

Газовая сварка сравнительно проста, не требует сложного, дорогого оборудования и источника электроэнергии.

Недостатком газовой сварки является меньшая по сравнению с дуговой скорость нагрева металла и большая зона теплового воздействия на металл. При газовой сварке концентрация тепла меньше, а коробление свариваемых деталей больше.

Вследствие сравнительно медленного нагрева металла пламенем и невысокой концентрации тепла производительность газовой сварки снижается с увеличением толщины свариваемого металла. Например, при толщине стали 1 мм скорость газовой сварки составляет около 10 м/ч, при толщине 10 мм — только 2 м/ч. Поэтому газовая сварка стали толщиной свыше 6 мм менее производительна, чем дуговая сварка.

Стоимость ацетилена и кислорода выше стоимости электроэнергии, поэтому газовая сварка обходится дороже электрической. К недостаткам газовой сварки относится также взрывоопасность и пожароопасность при нарушении правил обращения с карбидом кальция, горючими газами и жидкостями, кислородом, баллонами со сжатыми газами и ацетиленовыми генераторами.

Газовую сварку применяют при следующих работах:

изготовлении и ремонте изделий из стали толщиной 1—3 мм;
сварке сосудов и резервуаров небольшой емкости, заварке трещин, вварке заплат и пр.;

ремонте литых изделий из чугуна, бронзы, силумина;

сварке стыков труб малых и средних диаметров;

изготовлении изделий из алюминия и его сплавов, меди, латуни и свинца;

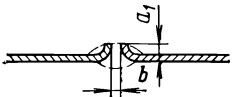
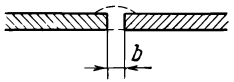
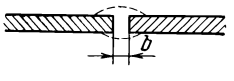
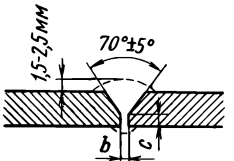
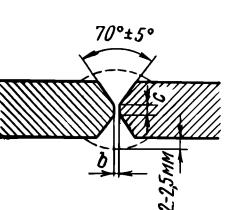
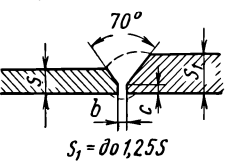
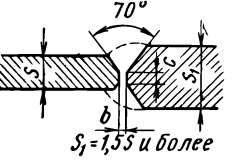
изготовлении узлов конструкций из тонкостенных труб;

наплавке латуни на детали из стали и чугуна;

сварке ковкого и высокопрочного чугуна с применением присадочных прутков из латуни и бронзы; низкотемпературной пайке-сварке чугуна.

Газовой сваркой можно соединять почти все металлы, применяемые в технике. Чугун, медь, латунь, свинец легче поддаются газовой сварке, чем дуговой.

Подготовка кромок при газовой сварке стыковых соединений

Название шва	Схема шва	Размеры, мм		
		толщина металла, S	зазор, b	притупление, c
С отбортовкой кромок, без присадочного металла		0,5—1	—	1—2
Без скоса кромок { односторонний двусторонний		1—3	0,5—2	—
		3—6	1—2	—
V-образный		3—16	2—4	2—3
X-образный		16—25	2—4	2—3
V-образный при листах разной толщины		5—20	2—4	1,5—2,5
X-образный при листах разной толщины		12—30	3—4	2—4

§ 2. ТЕХНИКА ГАЗОВОЙ СВАРКИ

Газовой сваркой можно выполнять нижние, горизонтальные, вертикальные и потолочные швы. Наиболее трудно выполнять потолочные швы, так как в этом случае сварщик должен поддерживать и распределять по шву жидкий металл, используя давление газов пламени. Наиболее часто газовой сваркой выполняют стыковые соединения, реже угловые и торцовые соединения. Газовой сваркой не рекомендуется выполнять соединения внахлестку и тавровые, так как они требуют интенсивного нагрева металла и сопровождаются повышенным короблением изделия.

Отбортованные соединения тонкого металла сваривают без присадочной проволоки. Применяют прерывистые и непрерывные швы, а также швы однослойные и многослойные. Перед сваркой кромки тщательно очищают от следов масла, краски, ржавчины, окалины, влаги и прочих загрязнений.

В табл. 10 показана подготовка кромок при газовой сварке стыковых соединений углеродистых сталей.

§ 3. ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ГОРЕЛКИ ПРИ ГАЗОВОЙ СВАРКЕ

Пламя горелки направляют на свариваемый металл так, чтобы кромки металла находились в восстановительной зоне на расстоянии 2—6 мм от конца ядра. Касаться расплавленного металла концом ядра нельзя, так как это вызовет науглероживание металла ванны. Конец присадочной проволоки также должен находиться

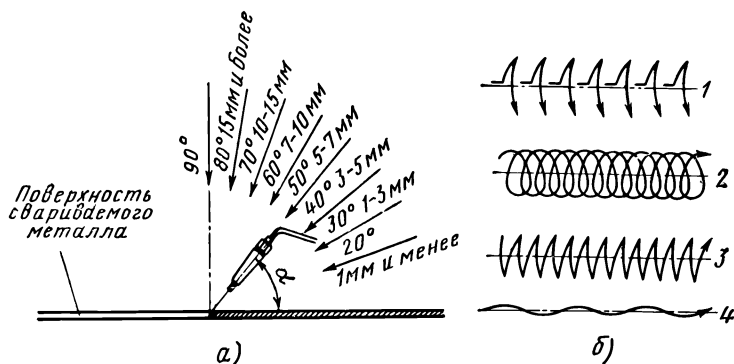


Рис. 86. Углы наклона (а) и способы перемещения (б) мундштука при газовой сварке

в восстановительной зоне или быть погруженным в ванну расплавленного металла. В том месте, куда направлен конец ядра пламени, жидкий металл давлением газов слегка раздувается в стороны, образуя углубление в сварочной ванне.

Скорость нагрева металла при газовой сварке можно регулировать, изменяя угол наклона мундштука к поверхности металла. Чем больше этот угол, тем больше тепла передается от пламени

металлу и тем быстрее он будет нагреваться. При сварке толстого или хорошо проводящего тепло металла (например, красной меди) угол наклона мундштука α берут больше, чем при сварке тонкого или с низкой теплопроводностью. На рис. 86, *а* показаны углы наклона мундштука, рекомендуемые при левой (см. § 4 этой главы) сварке стали различной толщины.

На рис. 86, *б* показаны способы перемещения мундштука по шву. Основным является перемещение мундштука вдоль шва. Поперечные и круговые движения являются вспомогательными и служат для регулирования скорости прогрева и расплавления кромок, а также способствуют образованию нужной формы сварного шва.

Способ 4 (рис. 86, *б*) применяют при сварке тонкого металла, способы 2 и 3 — при сварке металла средней толщины. Во время сварки нужно стремиться к тому, чтобы металл ванны всегда был защищен от окружающего воздуха газами восстановительной зоны пламени. Поэтому способ 1, при котором пламя периодически отводится в сторону, применять не рекомендуется, так как при нем возможно окисление кислородом воздуха.

§ 4. ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ ГАЗОВОЙ СВАРКИ

Левая сварка (рис. 87, *а*). Этот способ наиболее распространен. Его применяют при сварке тонких и легкоплавких металлов. Горелку перемещают справа налево, а присадочную проволоку ведут впереди пламени, которое направляют на несваренный участок

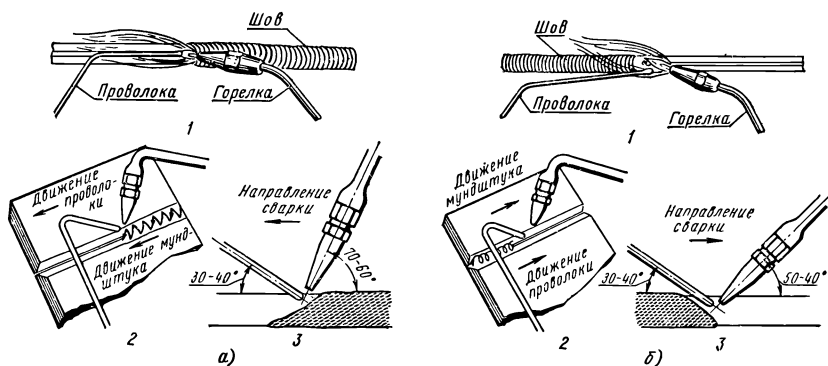


Рис. 87. Способы сварки:

а — левый, *б* — правый; 1 — момент сварки, 2 — схемы движений мундштука и проволоки, 3 — углы наклона мундштука и проволоки

шва. На рис. 87, *а* внизу показана схема движения мундштука и проволоки при левом способе сварки. Мощность пламени при левой сварке берут от 100 до 130 дм³ ацетилена в час на 1 мм толщины металла (стали).

Правая сварка (рис. 87, б). Горелку ведут слева направо, присадочную проволоку перемещают вслед за горелкой. Пламя направляют на конец проволоки и сваренный участок шва. Поперечные колебательные движения производят не так часто, как при левой сварке. Мундштуком делают незначительные поперечные колебания; при сварке металла толщиной менее 8 мм мундштук перемещают вдоль оси шва без поперечных движений. Конец проволоки держат погруженным в сварочную ванну и перемешивают им жидкий металл, чем облегчается удаление окислов и шлаков. Тепло пламени рассеивается в меньшей степени и используется лучше, чем при левой сварке. Поэтому при правой сварке угол раскрытия шва делают не 90°, а 60—70°, что уменьшает количество наплавленного металла, расход проволоки и коробление изделия от усадки металла шва.

Правой сваркой целесообразно соединять металл толщиной свыше 5 мм, а также металл высокой теплопроводности с разделкой кромок, как, например, красную медь. Качество шва при правой сварке выше, чем при левой, потому что расплавленный металл лучше защищен пламенем, которое одновременно отжигает наплавленный металл и замедляет его охлаждение. Вследствие лучшего использования тепла правая сварка металла больших толщин экономичнее и производительнее левой — скорость правой сварки на 10—20% выше, а экономия газов составляет 10—15%.

Правой сваркой можно сваривать сталь толщиной до 6 мм без скоса кромок, с полным проваром, без подварки с обратной стороны шва. Мощность пламени при правой сварке берут от 120 до 150 дм³ ацетилена в час на 1 мм толщины металла (стали). Мундштук должен быть наклонен к свариваемому металлу под углом не менее 40°.

При правой сварке рекомендуется применять присадочную проволоку диаметром, равным половине толщины свариваемого металла. При левой сварке пользуется проволокой диаметром на 1 мм больше, чем при правой сварке. Проволока диаметром более 6—8 мм при газовой сварке не применяется.

Сварка сквозным валиком (рис. 88). Листы устанавливают вертикально с зазором, равным половине толщины листа. Пламенем горелки расплавляют кромки, образуя круглое отверстие, нижнюю часть которого заплавляют присадочным металлом на всю толщину свариваемого металла. Затем перемещают пламя выше, оплавляя верхнюю кромку отверстия и накладывая следующий слой металла на нижнюю сторону отверстия, и так до тех пор, пока не будет сварен весь шов. Шов получается в виде сквозного валика, соединяющего свариваемые листы. Металл шва получается плотным, без пор, раковин и шлаковых включений.

Сварка ванночками. Этим способом сваривают стыковые и угловые соединения металла небольшой толщины (менее 3 мм) с присадочной проволокой. Когда на шве образуется ванночка диаметром 4—5 мм, сварщик вводит в нее конец проволоки и, расплавив небольшое количество ее, перемещает конец проволоки в тем-

ную, восстановительную часть пламени. При этом он делает мундштуком круговое движение, перемещая его на следующий участок шва. Новая ванночка должна перекрывать предыдущую на $\frac{1}{3}$ диаметра. Конец проволоки во избежание окисления нужно держать в восстановительной зоне пламени, а ядро пламени не должно погружаться в ванночку во избежание науглероживания металла шва. Сваренные этим способом (облегченными швами) тонкие листы и трубы из малоуглеродистой и низколегированной стали дают соединения отличного качества.

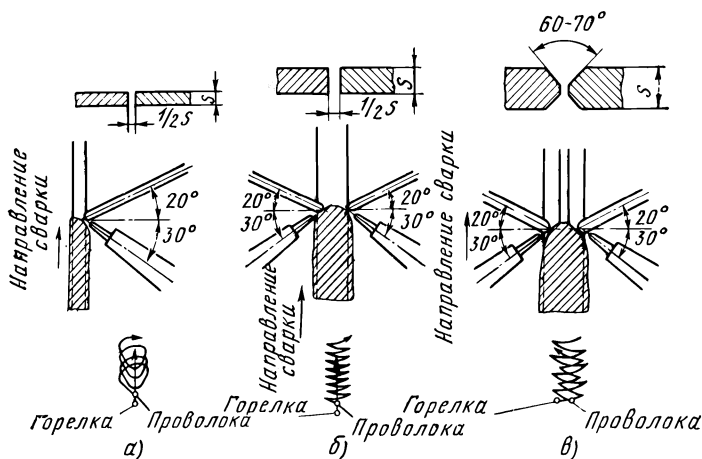


Рис. 88. Схемы сварки сквозным валиком при толщине (S) металла в мм; а — от 2 до 6, б — от 6 до 12, в — от 12 до 20

Многослойная газовая сварка. Этот способ сварки имеет ряд преимуществ по сравнению с однослойной: обеспечивается меньшая зона нагрева металла; достигается отжиг нижележащих слоев при наплавке последующих; обеспечивается возможность проковки каждого слоя шва перед наложением следующего. Все это улучшает качество металла шва. Однако многослойная сварка менее производительна и требует большего расхода газов, чем однослойная, поэтому ее применяют только при изготовлении ответственных изделий. Сварку ведут короткими участками. При наложении слоев нужно следить за тем, чтобы стыки швов в различных слоях не совпадали. Перед наложением нового слоя нужно проволоочной щеткой тщательно очистить поверхность предыдущего от окалины и шлаков.

Сварка окислительным пламенем. Этим способом сваривают малоуглеродистые стали. Сварку ведут окислительным пламенем, имеющим состав

$$\beta = \frac{O_2}{C_2 H_2} = 1,4.$$

Для раскисления образующихся при этом в сварочной ванне окислов железа применяют проволоки марок Св-12ГС, Св-08Г и Св-08Г2С по ГОСТ 2246—60, содержащие повышенные количества марганца и кремния, которые являются раскислителями. Данный способ повышает производительность на 10—15%.

Сварка пропан-бутан-кислородным пламенем. Сварка ведется при повышенном содержании кислорода в смеси с целью повыше-

$$\left(\beta = \frac{\text{кислород}}{\text{пропан-бутан}} = 3,5 \right)$$

ния температуры пламени и увеличения провара и жидкотекучести ванны. Для раскисления металла швов применяют проволоки Св-12ГС, Св-08Г, Св-08Г2С, а также проволоку Св-15ГЮ (0,5—0,8% алюминия и 1—1,4% марганца) по ГОСТ 2246—60.

Исследованиями А. Н. Шашкова, Ю. И. Некрасова и С. С. Ваксман установлена возможность использования в данном случае обычной малоуглеродистой присадочной проволоки Св-08 с раскисляющим покрытием, содержащим 50% ферромарганца и 50%

ферросилиция, разведенного на жидком стекле. Вес покрытия (без учета веса жидкого стекла) составляет 2,8—3,5% к весу проволоки. Толщина покрытия: 0,4—0,6 мм при использовании проволоки диаметром 3 мм и 0,5—0,8 мм при диаметре 4 мм. Расход пропана 60—80 л/ч на 1 мм толщины стали, $\beta = 3,5$, угол наклона прутка к плоскости металла составляет 30—45°, угол разделки кромок 90°, расстояние от ядра до прутка 1,5—2 мм, до металла 6—8 мм. Этим способом можно сваривать стали толщиной до 12 мм. Проволока Св-08 с указанным покрытием является полноценным

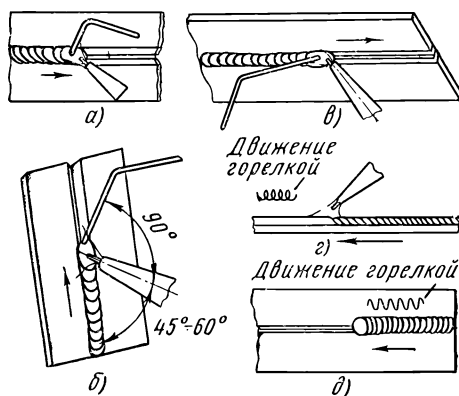


Рис. 89. Особенности сварки различных швов:

а — горизонтальных, б — вертикальных и наклонных, в — потолочных, г — с отбортовкой, д — то же

заменителем более дефицитных марок проволоки с марганцем и кремнием при сварке пропан-бутаном.

Особенности сварки различных швов. Горизонтальные швы сваривают правым способом (рис. 89, а). Иногда сварку ведут справа налево, держа конец проволоки сверху, а мундштук снизу ванны. Сварочную ванну располагают под некоторым углом к оси шва. При этом облегчается формирование шва, а металл ванны удерживается от стекания.

Вертикальные и наклонные швы сваривают снизу вверх левым способом (рис. 89, б). При толщине металла более 5 мм шов сваривают двойным валиком.

При сварке потолочных швов (рис. 89, в) кромки нагревают до начала оплавления (запотевания) и в этот момент вводят в ванну присадочную проволоку, конец которой быстро оплавляют. Металл ванны удерживается от стекания вниз пруток и давлением газов пламени, которое достигает $100\text{—}120\text{ гс/см}^2$. Пруток держат под небольшим углом к свариваемому металлу. Сварку ведут правым способом. Рекомендуется применять многослойные швы, свариваемые в несколько проходов.

Сварку металла толщиной менее 3 мм с отбортованными кромками без присадочного металла производят спиралеобразными (рис. 89, г) или зигзагообразными (рис. 89, д) движениями мундштука.

Глава XII

АППАРАТУРА ДЛЯ КИСЛОРОДНОЙ РЕЗКИ

§ 1. РЕЗАКИ ДЛЯ РУЧНОЙ РЕЗКИ

Резаки классифицируются по следующим признакам:

- 1) виду резки — разделительной, поверхностной, кислородно-флюсовой;
- 2) назначению — для ручной резки, механизированной резки, специальные;
- 3) роду горючего — для ацетилена, газов-заменителей, жидких горючих;
- 4) принципу действия — инжекторные, безынжекторные;
- 5) давлению кислорода — высокого, низкого;
- 6) конструкции мундштуков — щелевые, многосопловые.

Наибольшее применение имеют универсальные инжекторные ручные резаки со щелевыми мундштуками.

Резак состоит из рукоятки, газоподводящих трубок, корпуса с вентилями и головки, в которую ввертываются мундштуки. Применяют два основных типа мундштуков: с кольцевым подогревательным пламенем или щелевые (рис. 90, *в, г, д*) и многосопловые (рис. 90, *а, б, е, ж, з, и*). Щелевые мундштуки состоят из внутреннего и наружного мундштуков, которые ввертываются на резьбе в головку резака или присоединяются к ней накидной гайкой. По кольцевому зазору между наружным и внутренним мундштуками поступает горючая смесь подогревательного пламени. По центральному каналу внутреннего мундштука подается струя кислорода, в которой сгорает разрезаемый металл.

Многосопловые мундштуки изготовляют цельными из одного куска металла или составными, имеющими ряд каналов (сопел) диаметром 0,7—1 мм, расположенных вокруг центрального канала для струи кислорода. В мундштуках с внутрисопловым смещением (*и*) кислород и горючий газ поступают в сопла по отдельным каналам, смешиваются и образуют горючую смесь, сгорающую по выходе из сопла. Такие мундштуки хорошо работают при высоких температурах и не дают обратных ударов пламени даже при сильном нагревании мундштука. Многосопловые мундштуки обычно применяют при работе на газах-заменителях: природном, нефтяном, коксовом и других, обладающих низкими скоростями горения. Эти мундштуки более трудоемки в изготовлении. Сопла таких мундштуков иногда забиваются каплями шлаков, что вызывает хлопки и обратные удары пламени, нарушающие резку. Поэтому более широкое при-

менение нашли щелевые мундштуки. В последних конструкциях резаков применяют самоцентрирующие щелевые мундштуки (рис. 90, *з*).

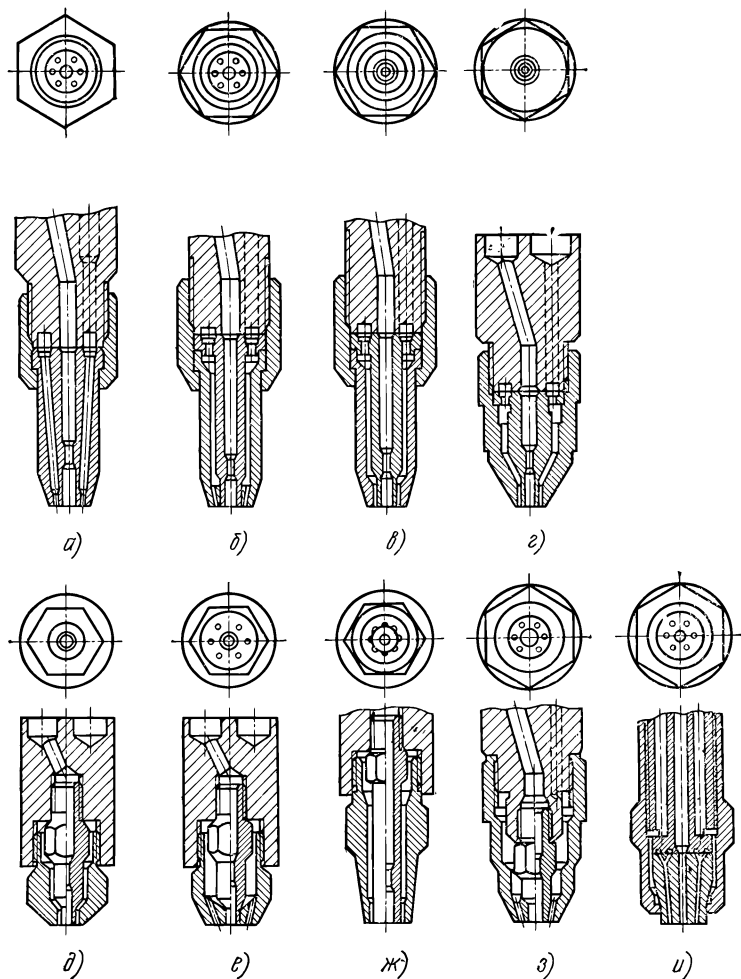


Рис. 90. Конструкции мундштуков для резки:

а — неразборный многосопловой, *б* — составной многосопловой, *в*, *г* — составной щелевой, *д* — составной щелевой, ввертываемый, *е* — составной многосопловой, ввертываемый, *ж* — составной многосопловой со шлицами, ввертываемый, *з* — составной многосопловой, ввертываемый с уменьшенным расходом меди, *и* — с внутрисопловым смещением горючего газа и кислорода (применяется в машинах для резки горючего проката)

Резак (рис. 91) имеет рукоятку 7 и корпус 8; к корпусу накидной гайкой 11 присоединена смешительная камера 12, в которую ввернут инжектор 10. Кислород, поступающий через шланговый ниппель 5, идет далее по двум направлениям.

Кислород подогревательного пламени регулируется вентилем 4 и поступает в центральный канал инжектора 10. Попадая в смесительную камеру 12, струя кислорода создает разрежение в каналах, по которым через ниппель 6 и вентиль 9 подсасывается ацетилен. Горючая смесь по трубке 13 идет в головку резака и, выходя через зазор между наружным 15 и внутренним 14 мундштуками, сгорает, образуя подогревательное пламя.

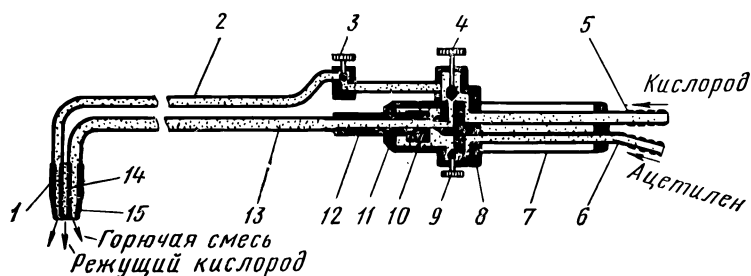


Рис. 91. Схема инжекторного резака

Другая часть кислорода через вентиль 3 проходит в трубку 2 и поступает в головку 1, откуда выходит через центральный канал внутреннего мундштука 14, образуя режущую струю кислорода.

На рис. 92, а и б показан резак «Пламя-62» с свернутыми мундштуками.

Резак можно устанавливать на тележку с двумя роликами, катящимися по поверхности разрезаемого металла. Благодаря этому расстояние между мундштуками и поверхностью металла остается постоянным и отпадает необходимость держать резак на весу во время работы. Тележка позволяет резать не только в направлении, перпендикулярном к поверхности разрезаемого металла, но и под углом до 35° к вертикали, что требуется при скосе кромок под сварку. К тележке можно привернуть циркуль, позволяющий резать по окружности.

Давление кислорода устанавливают в пределах от 3 до 14 кгс/см^2 давление ацетилена от 0,02 до 0,1 кгс/см^2 .

Для резки металла заданной толщины подбирают мундштуки соответствующих номеров, руководствуясь данными табл. 11.

Резак «Пламя-62» может работать на заменителях ацетилена — природном газе и пропан-бутане. В этом случае диаметры мундштуков выбирают по табл. 12. Диаметр канала в инжекторе 1 мм, диаметр входа в смесительную камеру — 3,5 мм.

Промышленностью выпускается ручной универсальный резак РУ-70 для резки низкоуглеродистой стали толщиной от 3 до 300 мм, работающий на ацетиле и его заменителях (рис. 92, в). Отличительной особенностью резака является расположение инжектора и смесительной камеры непосредственно в головке резака.

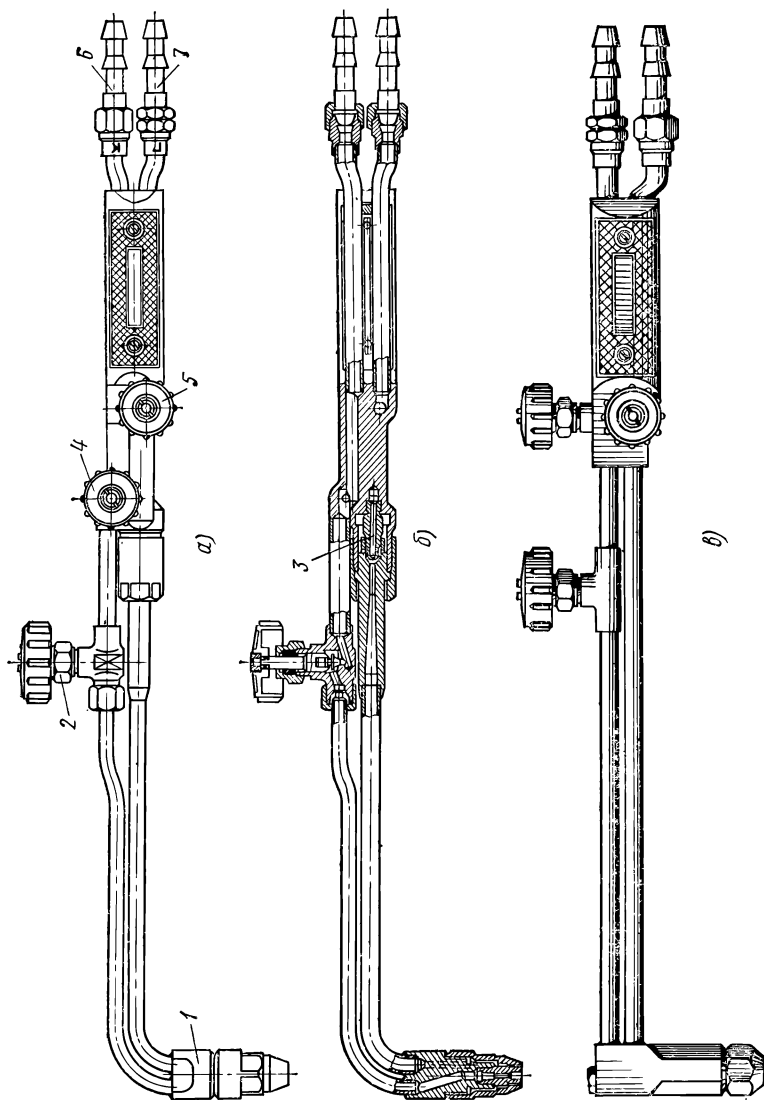


Рис. 92. Резаки:

а — резак «Пламя-62», б — то же, резак РУ-70; 1 — головка, 2 — вентиль режущего кислорода, 3 — инжектор, 4 — вентиль кислорода подогревающего пламени, 5 — вентиль ацетиленового пламени, 6 — кислородный ниппель, 7 — ацетиленовый ниппель

Таблица 11

**Техническая характеристика инжекторного резака
«Пламя-62»**

Показатели	Толщина разрезаемого металла, мм					
	3—6	6—25	50	100	200	300
Номер мундштука:						
внутреннего	1	2	3	4	5	5
наружного	1	1	1	2	2	2
Давление кислорода, кгс/см ² . .	3,5	4	6	8	11	14
Расход, м ³ /ч:						
кислорода	3	5,2	8,5	18,5	33,5	42
ацетилена	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2
Примерная ширина реза, мм . .	2—2,5	2,5—3,5	3,5—4,5	4,5—7	7—10	10—15
Скорость резки, мм/мин	550	370	260	165	100	80

Таблица 12

Мундштуки для резки на заменителях ацетилена

Показатели	Природный газ		Пропан-бутан		
Максимальное давление газа, кгс/см ²	0,01	0,01	0,1	0,1	0,1
Толщина разрезаемого металла, мм	5—100	100—300	3—8	5—100	100—300
Диаметры* каналов мундштуков, мм:					
наружного d_1	4,1	5,6	4,1	5,3	7,0
внутреннего d_2	3,5	5,0	2,5	3,5	5,0
» d_3	1,2	2,0	0,8	1,1	2,0
» d_3	1,5	3,0	—	1,5	3,0
» d_3	2,0			2,0	

* d_1 — внутренний диаметр канала наружного мундштука, d_2 — наружный диаметр конца внутреннего мундштука; d_3 — диаметр канала режущего кислорода.

Резак РУ-70 выпускается в трех исполнениях: РУ — для резки стали с использованием ацетилена и газов-заменителей; РУА — для резки только на ацетилена и РУЗ — для резки только на газах-заменителях ацетилена. По технической характеристике резак РУ-70 близок к резаку «Пламя-62».

§ 2. КЕРОСИНОРЕЗЫ

В керосинорезах в качестве горючего используют пары керосина. Комплект керосинореза состоит из резака, бачка для жидкого горючего и циркуля с тележкой. Схема резака керосинореза изображена на рис. 93. Кислород через винтиль 9 и инжектор 4 поступает в го-

ловку 3, где смешивается с парами керосина. Керосин поступает через вентиль 7 в асбестовую набивку 11, где испаряется в результате нагрева пламенем вспомогательного мундштука 12. Горючая смесь выходит наружу через кольцевой зазор между мундштуками 1 и 2, образуя подогревающее пламя. Мощность и состав пламени регулируют вентилем 9 и маховичком 10, изменяющими положение инжектора 4 в смесительной камере. Режущий кислород проходит через вентиль 6 по трубке 5 и в центральный канал мундштука 1. Головка керосинореза имеет кольцевые мундштуки щелевого типа. Резак снабжен рукояткой 8, в которой размещаются трубки для подвода керосина и кислорода.

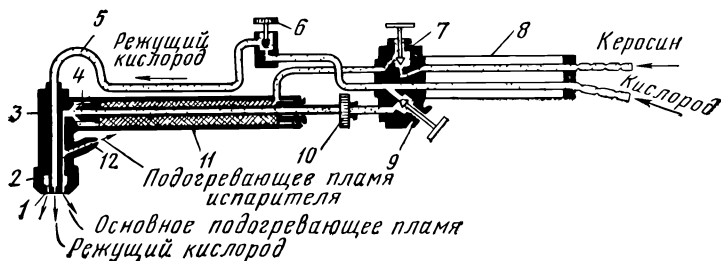


Рис. 93. Схема резака керосинореза

Керосин подается в резак под давлением 1,5—3 кгс/см² из баки емкостью 5 дм³, снабженного ручным воздушным насосом, манометром и запорным вентилям.

Номер мундштука керосинореза подбирают по табл. 13 в зависимости от толщины разрезаемого металла.

Таблица 13

Техническая характеристика керосинореза

Показатели	Толщина разрезаемого металла, мм			
	до 20	20—50	50—100	100—200
Номер внутреннего мундштука (сопла)	1	2	3	4
Давление, кгс/см ² :				
кислорода	4—5	5—7	7—9	9—11
керосина в баке	1,5—3,0	1,5—3,0	1,5—3,0	1,5—3,0
Расход:				
кислорода, м ³ /ч	5,4—7,6	7,6—9,8	9,8—20,2	20,2—32,6
кислорода, дм ³ пог. м	134—423	423—1090	1000—3360	3360—7230
керосина, кг/ч	0,7—0,8	0,8—0,9	0,9—1,1	1,1—1,3
керосина, г/пог. м	25—53	53—100	100—180	180—290
Скорость резки, мм/мин	450—300	300—150	150—100	100—75

При работе с керосинорезом необходимо руководствоваться следующими правилами:

1. Давление в баке с керосином должно быть ниже давления кислорода на входе в резак, иначе керосин может через инжектор попасть в кислородный шланг; это приведет к обратному удару пламени в кислородный шланг, его разрыву и загоранию*.

По этой же причине при перерывах в работе неработающий резак керосинореза нужно всегда класть так, чтобы его головка была обращена вниз во избежание затекания керосина в кислородный шланг из испарителя (предложение резчика Д. Ф. Фоменко). Для защиты кислородного шланга от обратных ударов пламени следует применять клапаны ЛКО-1-56, устанавливаемые на кислородном ниппеле керосинореза (рис. 94).

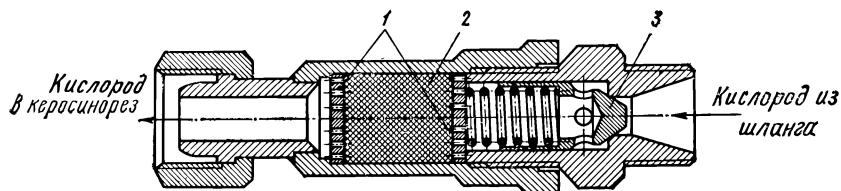


Рис. 94. Клапан к керосинорезу против обратных ударов:

1 — пламярассекающая шайба, 2 — латунная сетка-тепопоглотитель, 3 — обратный клапан

2. Перед созданием в баке давления при помощи ручного насоса вентиль горючего на баке следует открыть на пол-оборота. При этом вентили подачи керосина и кислорода на керосинорезе должны быть плотно закрыты, а инжектор керосинореза открыт.

3. После того как в баке установлено необходимое давление, отрегулировано давление кислорода после редуктора и резчик убедился в герметичности всех соединений, в резак сначала пускается горючее, затем подогревающий кислород и зажигается пламя; после достаточного прогрева испарителя может быть пущен режущий кислород. Предварительно корпус испарителя можно подогревать паяльной лампой. Пока испаритель нагрет недостаточно, в пламени заметны искры, которые исчезают по мере нагревания корпуса испарителя и полного испарения поступающего в него керосина. Запрещается работать резаком с перегретым до вишневого цвета испарителем.

4. После исчезновения искр в пламени необходимо отрегулировать его состав, затем на короткое время открыть вентиль подачи режущего кислорода и убедиться в устойчивости подогревающего пламени при пуске режущей струи кислорода. Если при этом ядро основного подогревающего пламени несколько удлинено, следует увеличить подачу подогревающего кислорода.

* В шланг для горючего пламя при обратном ударе не попадает, так как гаснет из-за отсутствия окислителя.

5. При прекращении работы керосинореза сначала закрывают вентиль режущего кислорода, потом вентиль для подачи горючего и вентиль подачи подогревающего кислорода. Затем открывают на бачке спускной кран для снижения давления до атмосферного.

При недостаточном поступлении в резак керосина и кислорода или засорении мундштука возможны хлопки пламени. Для устранения хлопков пламени необходимо или увеличить поступление в резак горючего и кислорода или, прекратив работу, прочистить мундштуки.

Иногда подогревающее пламя гаснет вследствие засорения сопла продуктами разложения керосина. В этом случае необходимо прекратить работу, вывернуть сопло из головки резака и прочистить его канал медной проволокой.

Пламя может гаснуть или изменять форму также вследствие неправильной навивки асбестовой оплетки испарителя, образования на ней нагара, утечки воздуха из бачка с керосином. Если нет утечки воздуха, то для восстановления нормальной работы необходимо разобрать резак, очистить испаритель от нагара и, в случае необходимости, заменить асбестовую оплетку новой. Нельзя новую оплетку делать слишком слабой или чересчур плотной. Если оплетка навита слабо, пламя будет колебаться при изменении положения резака в пространстве, а если слишком плотно — прохождение керосина будет затруднено.

Чтобы резак работал безотказно, необходимо систематически прочищать его испаритель (не реже одного раза в неделю) и промывать асбестовую оплетку в горячей воде. Промышленностью выпускаются керосинорезы, снабженные съемным испарителем, корпус которого изготовлен из нержавеющей жароупорной стали 0Х18Н9Т. Такие испарители удобно очищать и они служат значительно дольше.

В качестве горючего в керосинорезах допускается применение только осветительного керосина по ГОСТ 4753—68. При понижении температуры керосин повышает свою вязкость. Так, при -45° вязкость керосина в 6 раз выше, чем при $+20^{\circ}\text{C}$. Это увеличивает сопротивление течению керосина в шланге и оплетке испарителя, что вызывает необходимость повышать давление в бачке на 0,5—1,0 кгс/см². Расход керосина при этом также уменьшается. Поэтому керосин целесообразно использовать при окружающей температуре не ниже -15°C и резке стали толщиной не более 200 мм. При более низких окружающих температурах и больших толщинах стали резку можно производить только на бензине А-66, соблюдая необходимые меры предосторожности при работе с этим, более взрывоопасным, чем керосин горючим. Применяемый резак должен иметь мундштуки, рассчитанные для работы на бензине. Бензином приходится пользоваться также в установках типа БУПР для кислородной резки под водой.

Для очистки от механических примесей, остатков смолистых веществ и влаги керосин перед заливом в бачок следует отстаивать, а затем фильтровать через сукно или мелкую латунную сетку.

Разработаны и применяются резаки и горелки с механическим распылением керосина с помощью специального сопла-распылителя, размещаемого непосредственно в головке резака. Такую конструкцию имеет, например, резак РКР-3 для ручной резки стали толщиной до 100 мм. В этом резаке мощность пламени может быть получена (по расходу керосина) до 1,6 кг/ч, что позволяет использовать его при работе в условиях низкой окружающей температуры, когда мощность пламени необходимо резко увеличить.

§ 3. РЕЗАКИ ДЛЯ МАШИННОЙ РЕЗКИ И СПЕЦИАЛЬНЫЕ РЕЗАКИ

Резаки для машинной резки. Такие резаки устанавливаются на машинах для кислородной резки. Отличительной особенностью их являются прямолинейная конструкция, при которой оси мундштуков, головки, корпуса и газоподводящие трубки расположены вертикально, соответственно рабочему положению резака на машине. Машинные резаки снабжаются реечно-зубчатым механизмом для перемещения по высоте при установке перед началом резки мундштука на заданном расстоянии от поверхности металла. В зависимости от типа машины некоторые резаки снабжаются также «механизмом плавления», который обеспечивает постоянное расстояние мундштука от поверхности разрезаемого металла при волнистости и неровности последнего. Для машин общего назначения выпускаются резаки типов РМ-2 (2-вентильные) и РМ-3 (3-вентильные), отличающиеся числом вентиля в корпусе, расположением ниппелей (вертикальным или горизонтальным), конструкцией корпуса и головки диаметром кожуха, длиной, размерами реек и проходных каналов. Для шарнирных машин изготавливаются резаки типа РШМ-3 с горизонтальным расположением ниппелей. Применяются также безвентильные резаки типа РМ-0 с вынесенными узлами регулирования. На рис. 95 показана в качестве примера конструкция трехвентильного машинного резака с горизонтальным расположением вентиля. По конструкции используются машинные резаки инжекторные (И), равного давления (РД) и внутрисоплового смещения (ВС).

Разработаны и применяются также машинные резаки РКШ, РКМ, РКП и РКС, работающие на керосине. В отличие от ручных керосинорезов в этих резаках осуществляется механическое распыление керосина кислородом с помощью специального инжекторного устройства, расположенного в головке резака. Мелкие частицы распыленного керосина затем дополнительно испаряются при попадании в медный мундштук, который всегда нагрет во время работы отраженным теплом подогревающего пламени резака. Такими резаками могут оснащаться серийные резательные машины, например, типа АСШ-2, СГУ и др.

Резаки для срезки заклепок, вырезки труб и отверстий. При выполнении некоторых операций целесообразно применять резаки специальной конструкции, например: резаки с плоскими мундштуками для срезания заклепок; резаки с короткими мундштуками, ось которых перпендикулярна оси резака, — для вырезки труб; резаки

для вырезки отверстий небольшого диаметра. Резаки выполняются вставными и присоединяются к рукоятке универсальной горелки.

Резаки для резки стали больших толщин. Для резки стали толщиной от 300 до 700 мм (прибылей болванок, отливок, разрезки крупного стального лома) применяют резаки (рис. 96), работающие на кислороде низкого давления (до 3 кгс/см^2). В качестве горючего газа применяют ацетилен, расходуемый от 1,0 до $4,2 \text{ м}^3/\text{ч}$, или газы-заменители. Питание резака ацетиленом осуществляется от батареи ацетиленовых баллонов или генератора среднего давления ($0,1\text{--}0,2 \text{ кгс/см}^2$). Питание кислородом производится от батареи кислородных баллонов. Мундштук резака (рис. 97, а) имеет сменные латунные сопла-вставки со ступенчатым или плавным суживающимся цилиндрическим каналом, без расширения на выходе, обеспечивающие сохранение цилиндрической формы режущей струи кислорода после сопла. Перед соплом режущий кислород проходит длинный прямой участок кислородо-подводящей трубки, благодаря чему устраняются завихрения в кислородной струе и повышается ее пробивная способность. Для правильного определения давления режущего кислорода перед резаком установлен дополнительный манометр.

Для работы на природном газе инжектор резака

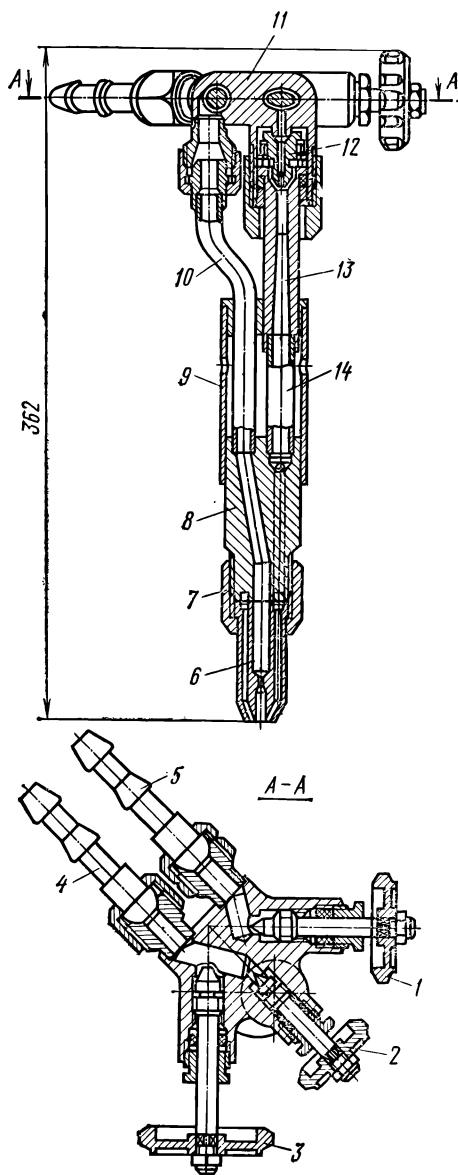


Рис. 95. Трехвентильный машинный резак с горизонтальным расположением вентилялей:

1 — вентиль ацетилена, 2 — вентиль подогревающего кислорода, 3 — вентиль режущего кислорода, 4 — кислородный ниппель, 5 — ацетиленовый ниппель, 6 — мундштук, 7 — накидная гайка, 8 — головка, 9 — кожух, 10 — трубка режущего кислорода, 11 — корпус, 12 — инжектор, 13 — смешивательная камера, 14 — трубка горючей смеси

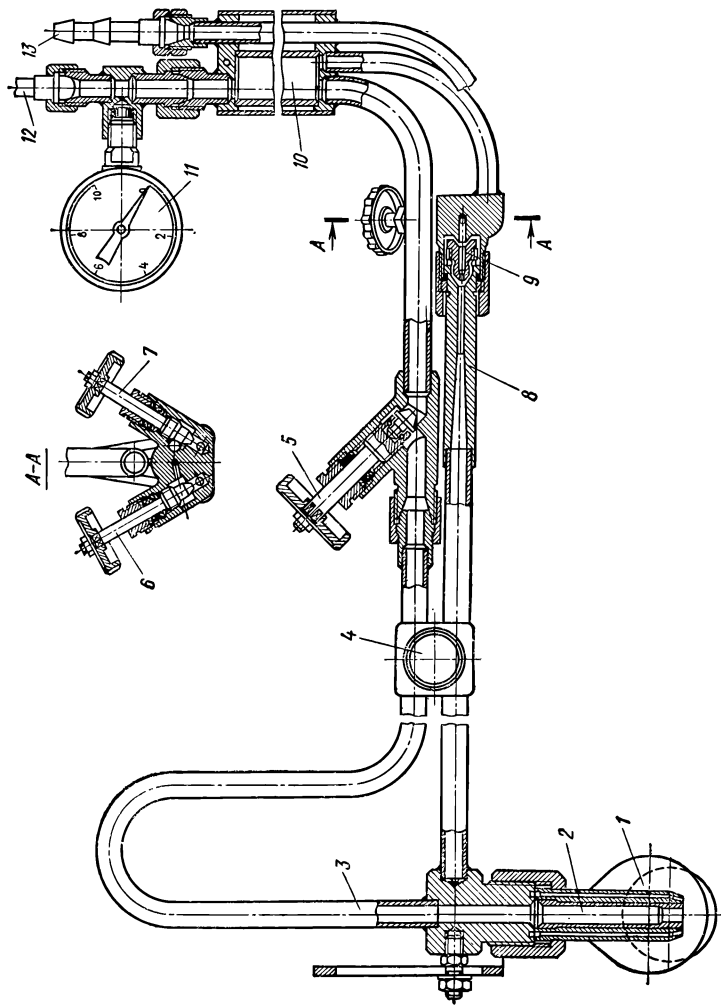


Рис. 96. Резак РР-700 для резки стали больших толщин:

1 — каретка, 2 — мундштуки, 3 — трубка режущего кислорода, 4 — боковая рукоятка, 5 — вентиль режущего кислорода, 6 — вентиль подогревающего кислорода, 7 — вентиль ацетилена, 8 — смешивающая камера, 9 — инжектор, 10 — манометр режущего кислорода, 11 — манометр ацетилена, 12 — вентиль режущего кислорода, 13 — вентиль ацетилена

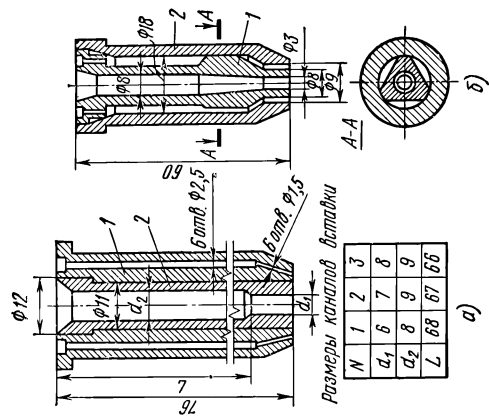


Рис. 97. Мундштуки:

а — мундштуки для резки больших толщин: 1 — мундштуки из меди М-3, 2 — сменная вставка из латуни ЛС-59-1; б — мундштуки для резки больших толщин на природном газе

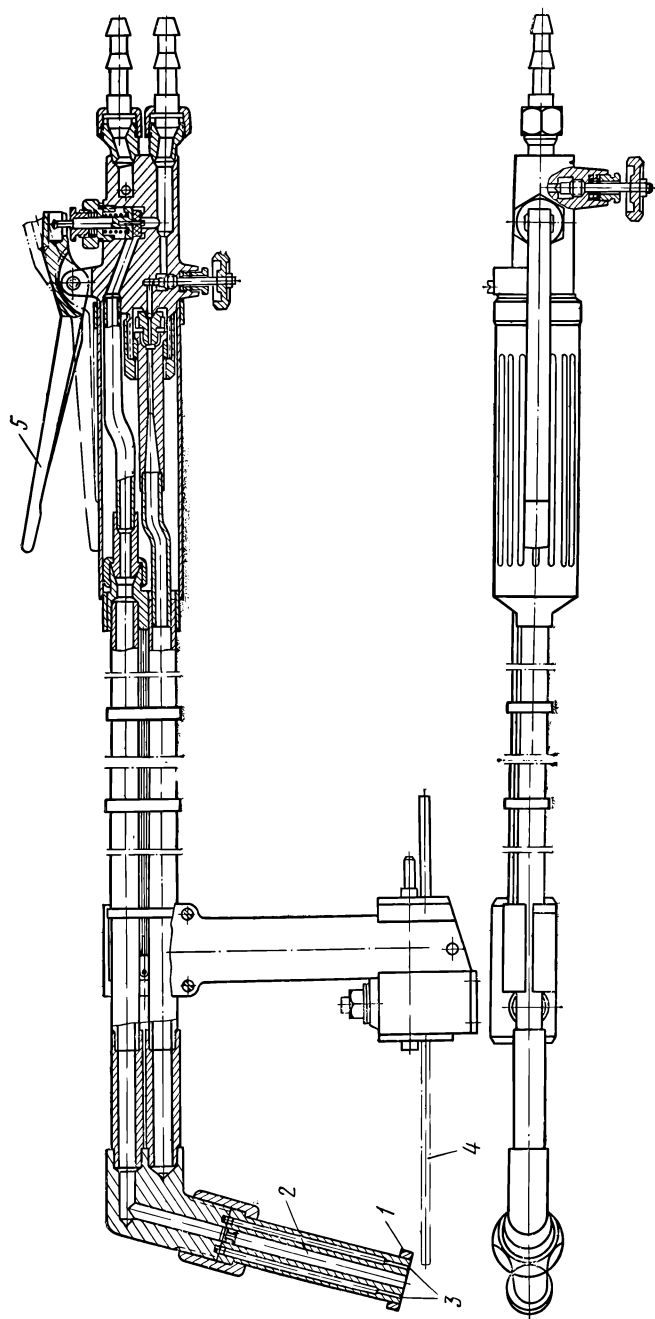


Рис. 98. Резак для поверхностной резки и выплавки пороков

рассверливается со стороны входа до диаметра 3 мм, со стороны выхода до 2 мм. Мундштук имеет конструкцию, изображенную на рис. 97, б, и состоит из внутреннего режущего сопла 1, вставленного в наружный подогревающий мундштук 2. Режущее сопло и подогревающий мундштук изготовляются из стали 45 с последующим никелированием или воронением. Давление кислорода перед резком $3,5 \text{ кгс/см}^2$, расход кислорода 6—7 м³/ч, ширина реза 8—10 мм.

Резаки для поверхностной резки. Такие резак (рис. 98) отличаются от резаков для разделительной резки тем, что их мундштуки имеют канал 2 большого диаметра для режущей струи кислорода и несколько каналов 3 малого диаметра для подогревающего пламени. Струя кислорода выходит из мундштука с меньшей скоростью, чем при разделительной резке, что обеспечивает сгорание лишь поверхностных слоев металла.

При пуске струи режущего кислорода стальной пруток 4 в месте его касания поверхности металла загорается и тем ускоряет начало резки. Быстрый пуск режущего кислорода осуществляется рычажным клапаном 5. При поверхностной резке мундштук держат под углом 15—20° к поверхности (рис. 99), вследствие чего на металле получается неглубокая (до 10 мм), но достаточно широкая (до 50 мм) канавка. Опорное кольцо 1 (рис. 98) на мундштуке сделано из нержавеющей жароупорной стали.

С помощью таких резаков выплавляют дефектные участки сварных швов, зачищают вершину шва перед подваркой с обратной стороны, готовят кромки швов для сварки и производят ряд других специальных работ. Подогревающая смесь вытекает через каналы 3 мундштука 2, образуя факелы подогревающего пламени.

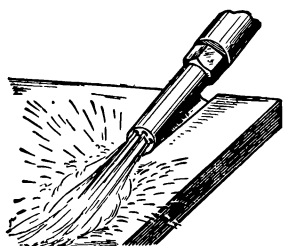


Рис. 99. Схема поверхностной кислородной резки и формы выплавляемых канавок

§ 4. МАШИНЫ ДЛЯ КИСЛОРОДНОЙ РЕЗКИ

Общие сведения. Для получения точного, чистого реза резаку необходимо придать принудительное движение с постоянной скоростью, соответствующей толщине разрезаемого металла. Это достигается при механизированном процессе кислородной резки, осуществляемом стационарными и переносными машинами различных типов. Техническое требование на машины для резки регламентируется ГОСТ 5614—67. В зависимости от вида резки применяют два типа машин: К — для резки стали кислородной струей; Пл — для резки металлов плазменной дугой (см. главу XV, § 4). Стационар-

ные машины в зависимости от технологического назначения выпускаются следующих типов: Р — для раскройных работ; Т — для точной прямолинейной и фигурной резки деталей; У — универсальные для прямолинейной и фигурной резки заготовок; М — для резки малогабаритных деталей и заготовок.

Переносные машины. Представляют собой самоходные тележки, оснащенные резаком и имеющие в качестве привода электродвигатель, пружинный механизм или газовую турбину. Эти машины устанавливаются прямо на лист разрезаемого металла, по которому они и перемещаются. На таких машинах может быть установлено от 1 до 3 резаков. Скорость резки машинами составляет от 130 до 1200 мм/мин, в зависимости от толщины металла. Направляют движение тележки по намеченной линии реза рукой, по линейке или циркулю. На рис. 100 показаны переносные машины некоторых типов.

Машина «Радуга» (рис. 100, а) конструкции Одесского завода «Автогенмаш» весит 16 кг и предназначена для резки стали толщиной от 5 до 300 мм одним или двумя резаками. Она может перемещаться по прямому или изогнутому угольнику, по окружности с помощью циркуля радиусом от 150 до 1500 мм и более, а также по разметке с направлением от руки. Скорость резки можно изменять от 80 до 1500 мм/мин, потребляемая мощность 26 Вт.

На рис. 100, б показана переносная машина «Спутник» для резки труб конструкции завода «Автогенмаш». Тележка крепится цепью к трубе, по поверхности которой она перемещается механизмом, приводимым в действие электродвигателем мощностью 55 Вт. Скорость передвижения (скорость резки) регулируется реостатом, ручка которого находится на щитке. Пределы изменения скорости 230—500 мм/мин, диаметр обрезаемой трубы 194—1100 мм, толщина стенки 4,5—5 мм, угол скоса кромки до 35°.

На рис. 100, в показана установка ПМР-1000 для резки стали большой толщины (от 300 до 1000 мм). Давление кислорода — до 4 кгс/см², ацетилена — не менее 0,1 кгс/см² потребляемая мощность 98 Вт, скорость резки — от 40 до 100 мм/мин, вылет резака 100—800 мм, ширина реза 6—20 мм. Резак работает по принципу внутрисоплового смещения газов.

Помимо описанных применяются также и другие специализированные машины, например, для вырезки фланцев и дисков, для вырезки отверстий на вертикальной плоскости и др.

Стационарные машины. Применяют для кислородной резки при массовой заготовке деталей под сварку, вырезке однотипных заготовок, раскрое листов и прочих работах в заготовительных отделениях металлообрабатывающих и сварочных цехов.

На рис. 101, а показана шарнирная машина АСШ-2, предназначенная для вырезки деталей по шаблону методом копирования его контура магнитным роликом. На колонне 1 машины укреплены шарнирные рамы 2 и 3, легко вращающиеся на шарикоподшипниках. В верхней части рамы 3 установлены электродвигатель 7 и ведущая головка с магнитной катушкой 5. Внутри катушки вращается сталь-

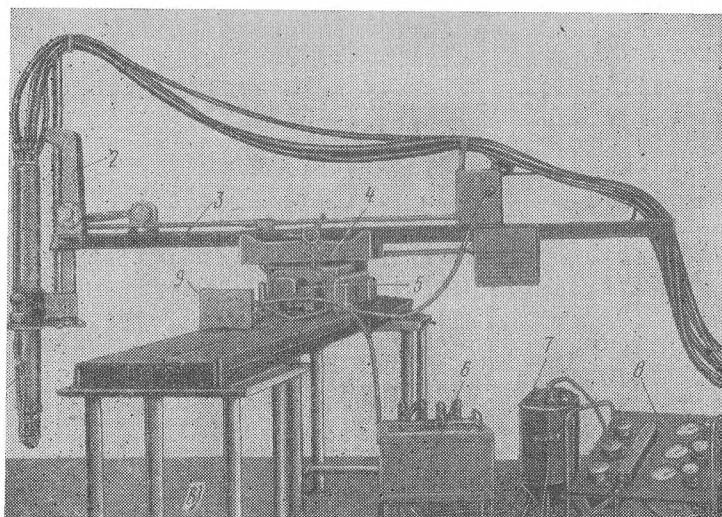
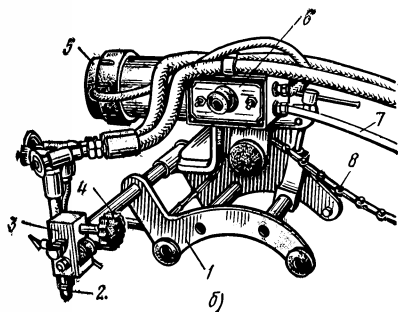
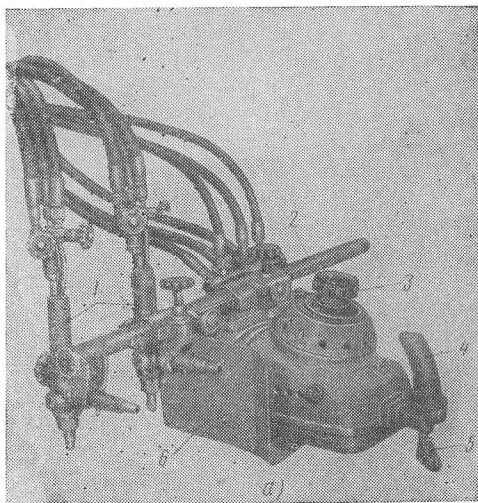


Рис. 100. Переносные машины (приборы) для кислородной резки:

а — машина «Радуга»: 1 — резак, 2 — штанга, 3 — маховичок реостата для изменения скорости резки, 4 — рукоятка ручного направления резки, 5 — опорный ролик, 6 — теплозащитный экран; *б* — машина «Спутник» для резки труб. 1 — тележка, 2 — резак, 3 — суппорт резака, 4 — маховичок, 5 — электродвигатель, 6 — панель управления, 7 — электропровод, 8 — цепь для крепления машины на трубе; *в* — установка ПМР-1000 для резки стали больших толщин: 1 — резка, 2 — суппорт, 3 — штанга, 4 — каретка поперечного хода, 5 — каретка продольного хода, 6 — блок электропитания, 7 — флюсопитатель, 8 — блок газопитания, 9 — пульт управления

ной палец с рифленным концом. При прохождении тока по обмотке катушки палец намагничивается и, притягиваясь к кромке стального шаблона 6, катится по ней, описывая контур шаблона.

Шаблоны крепятся к штангам 8, находящимся на хоботе 9 машины. В нижней части рамы 3 установлен резак 4, воспроизводящий на поверхности листа очертания шаблона 6. Струя кислорода вырезает эту фигуру из листа, уложенного горизонтально на столе перед машиной. Машина АСШ-2 может вырезать детали размером 750 — 1500 мм любой формы при толщине листа до 100 мм. Точность резки очень высокая и составляет $\pm 0,3$ мм от заданного размера.

С целью экономии времени и уменьшения отходов металла при вырезке мелких однотипных деталей применяют наборные комбинированные шаблоны (рис. 101, б), исключающие необходимость передвижения шаблона или листа при вырезке следующей детали; для этого достаточно передвинуть ведущий магнитный палец на соседний шаблон.

Аналогичная машина АСШ-66 оснащается тремя резаками и служит для одновременной точной вырезки трех одинаковых заготовок. Габариты обрабатываемой площади листа равны 450 × 1000 мм. Применяется система магнитного копирования.

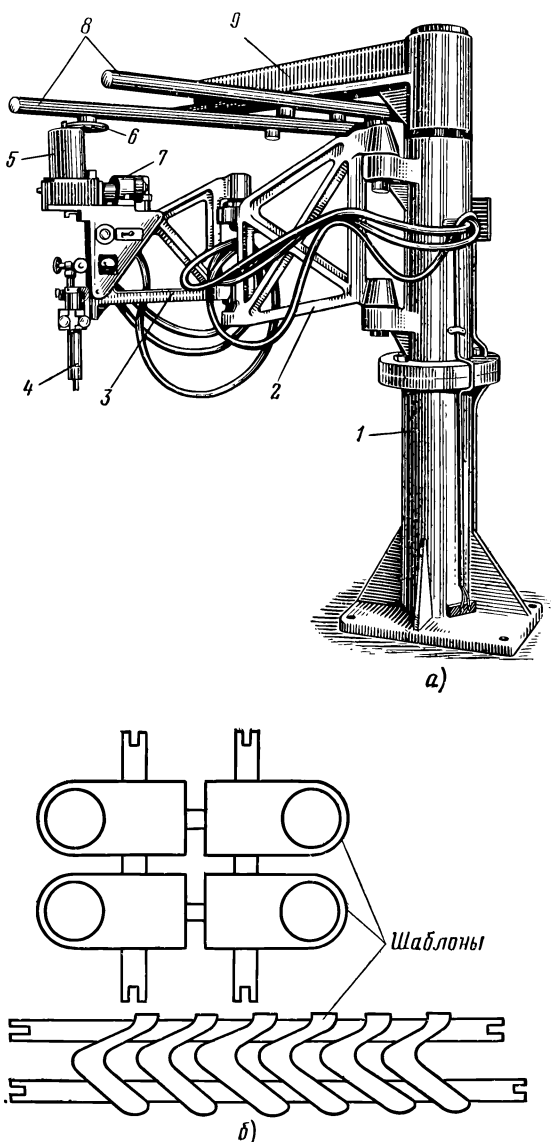


Рис. 101. Шарнирная машина АСШ-2 для точной кислородной резки:

а — общий вид, б — наборные комбинированные шаблоны

Машина СГУ-1-60 прямоугольно-координатного типа (рис. 102) предназначена для вырезки деталей из листовой стали толщиной от 5 до 300 мм. Управление машиной осуществляется с центрального пульта, смонтированного на конце поперечной направляющей или с дополнительных пультов, имеющих на суппортах. На машине можно выполнять следующие операции: вырезать фигурные детали одним или двумя резаками по стальному копиру с использованием

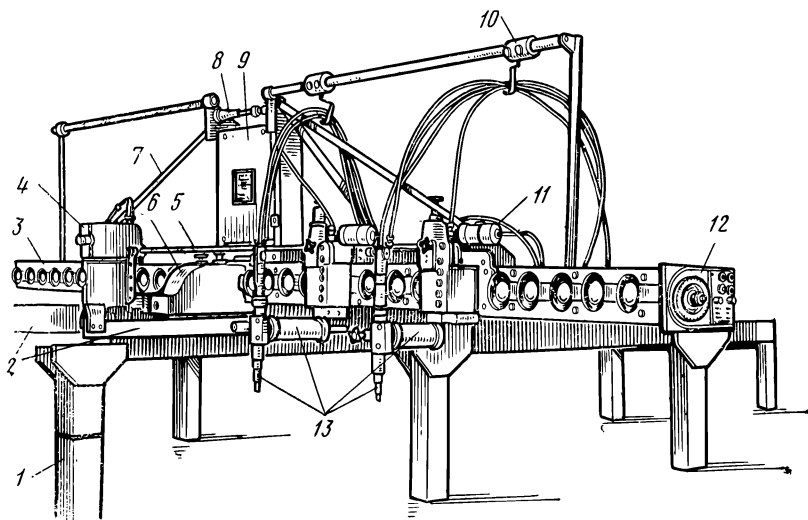


Рис. 102. Машина СГУ-1-60:

1 — опоры, 2 — рельсовые пути, 3 — направляющая поперечного хода, 4 — ведущий механизм с магнитной головкой, 5 — штанга, связывающая ведущий механизм с каретками суппортов, 6 — передняя каретка продольного хода, 7 — ферма, 8 — верхняя винтовая стяжка, 9 — релейный блок, 10 — каретка для поддержки шлангов и кабелей, 11 — Двигатель подъема резаков, 12 — пульт управления, 13 — суппорты с резаками

магнитной ведущей головки; производить прямолинейную обрезку листов с четырех сторон при одностороннем скосе кромок под углом 15—45° и толщине листа до 120 мм; выполнять прямолинейный раскрой листов одним—четырьмя резаками; производить фигурную вырезку деталей с ручным копированием по чертежу при помощи механической ведущей головки; вырезать окружности диаметром от 240 до 2000 мм при помощи механической головки и циркульного устройства.

Схема механизма машины, а также схемы механической и магнитной головок показаны на рис. 103. Машина типа СГУ может оснащаться головкой для фотокопирования и резаками для плазменно-дуговой резки.

Газорезательные машины с масштабным фотокопированием экономичнее и удобнее в эксплуатации, чем машины с магнитным копированием. ВНИИАвтогенмаш на базе машины СГУ создана новая машина СГФ-2 с масштабным фотокопировальным устройством и

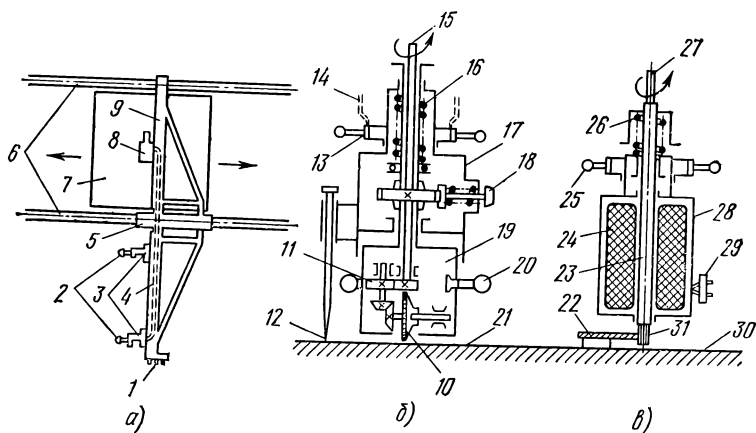


Рис. 103. Схемы механизма и ведущих устройств машины типа СГУ:

а — схема механизма, *б* — схема механической ведущей головки, *в* — схема магнитной копировальной головки; 1 — пульт управления, 2 — резак, 3 — суппорты, 4 — штанга, связывающая ведущий механизм с каретками суппортов, 5 — каретка продольного хода с направляющей поперечного хода, 6 — рельсовые пути, 7 — подвижной стол для шаблонов, 8 — ведущий механизм (головка), 9 — направляющая поперечного хода, 10 — ведущий ролик, 11 — зубчатая передача, 12 — указательная игла, 13 — устройство для крепления головки к каретке поперечного хода, 14 — каретка поперечного хода, 15 — хвостовик вала головки для присоединения к редуктору, 16 — пружина для опускания подвижной части головки с ведущим роликом, 17 — неповоротная часть корпуса головки, 18 — фиксатор угла поворота ролика, 19 — поворотная часть головки, 20 — маховичок для ручного поворота головки, 21 — стол для чертежа, 22 — стальной шаблон, 23 — стальной вал-сердечник, 24 — намагничивающая обмотка катушки, 25 — устройство для крепления головки к каретке поперечного хода, 26 — пружина подъема магнитного ролика, 27 — хвостовик вала для крепления к редуктору, 28 — корпус головки, 29 — подвод тока к обмотке, 30 — стол для шаблонов, 31 — копировальный магнитный ведущий палец

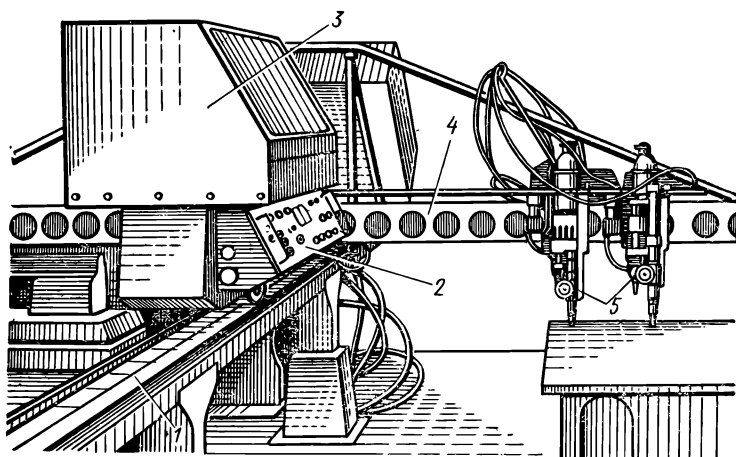


Рис. 104. Машина СГФ-2 с масштабным (1:10) фотокопировальным устройством:

1 — станина, 2 — пульт управления, 3 — масштабное фотокопировальное устройство, 4 — направляющие поперечного хода, 5 — резак

раздельными фрикционными приводами для продольного хода портала и поперечного перемещения суппортов с резаками (рис. 104). При оснащении машины СГУ такой фотокопировальной приставкой, вместо ведущей магнитной головки ставится второй суппорт с резаком, а вместо стола для укладки копиров — дополнительный раскройный стол. Благодаря этому на машине СГФ-2 обеспечивается возможность одновременно обрабатывать два листа. Для резаков применено дистанционное искровое зажигание. Машина СГФ-2 может обрабатывать листы длиной до 6000 мм и шириной: при одном листе — до 2000 мм, при двух — до 1650 мм; толщина листа от 5 до 120 мм. Число одновременно работающих резаков — 4 шт. Масштаб копирования 1 : 10. Скорость резки 100—1000 мм/мин, скорость маршевого перемещения каретки — 1500 мм/мин. Класс точности исполнения размеров — 2-й по ГОСТ 5614—67.

Одесским заводом «Автогенмаш» изготавливается раскройная порталная машина «Волга» конструкции ВНИИАвтогенмаш, предназначенная для одновременной обработки двух листов или предварительно сваренных широких полотнищ. Машина может работать одновременно 3—18 резаками.

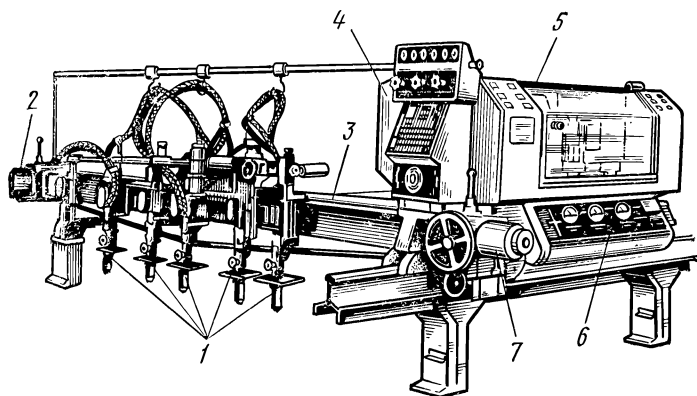


Рис. 105. Газорезательная машина «Одесса»:

1 — резаки, 2 — привод поперечного хода, 3 — направляющая поперечного хода, 4 — пульт управления, 5 — задающая часть машины с фотокопировальным устройством, 6 — пульт управления фотокопировального устройства, 7 — привод продольного хода

Газорезательная машина «Одесса» конструкции завода «Автогенмаш» имеет масштабно-дистанционное управление и снабжена магнитной головкой для копирования по стальному шаблону и фотокопировальной головкой для перемещения машины по копир-чертежу с помощью фотоэлектрического устройства (рис. 105). Копир-чертеж изготавливается в масштабе: 1 : 2; 1 : 5 или 1 : 10 в зависимости от габаритов детали и выполняется тушью на белой бумаге. Фотоэлектрическая копировальная головка перемещается над чертежом. Благодаря следящему устройству с фотоэлементом головка дви-

жется точно по линии чертежа, а резак повторяет контур чертежа, вырезая деталь заданной формы.

Машины с программным управлением. Полную автоматизацию процесса кислородной резки обеспечивают резательные машины с программным управлением. При использовании таких машин контур детали вычерчивают на листе бумаги в прямоугольных координатах. Затем составляют программную таблицу резки с указанием координат точек контура реза, скорости резки, длительности начального подогрева и пр. Составленную программу записывают импульсным кодом на ферромагнитную ленту.

Программное управление имеет разработанная Одесским заводом «Автогенмаш» стационарная машина «Дружба», состоящая из исполнительной газорезательной части, пульта управления, блока усилителей и энергоснабжения, блока технологических команд.

На машине «Дружба» можно вырезать детали любой формы из стальных листов до 2,5 м и толщиной от 3 до 100 мм.

Глава XIII

ТЕХНОЛОГИЯ КИСЛОРОДНОЙ РЕЗКИ

§ 1. СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА КИСЛОРОДНОЙ РЕЗКИ

Кислородная резка относится к группе процессов так называемой *термической резки металлов*, объединяемых общим названием «газовая резка металлов». В эту группу, кроме кислородной резки, входят: кислородно-флюсовая, кислородно-дуговая, воздушно-дуговая, плазменно-дуговая и плазменная резка металлов.

Процесс кислородной резки стали основан на свойстве железа интенсивно сгорать в струе технически чистого кислорода, будучи нагретым до температуры порядка 1300—1400° С, близкой к температуре плавления стали.

Металл при резке нагревают газокислородным пламенем. В качестве горючих применяются ацетилен, пропан-бутан, пиролизный, природный, коксовый и городской газы, пары керосина.

Первоначально нагрев производят на узком участке в начале линии разреза, а затем на нагретое место направляется струя режущего кислорода и резак начинают перемещать по намеченной линии резки. Металл сгорает по всей толщине листа, образуя в нем узкую щель (рез). Интенсивное окисление (горение) железа происходит только в слоях, пограничных с поверхностью режущей струи кислорода, который проникает (диффундирует) в металл на очень малую глубину.

Для сгорания 1 кг железа теоретически требуется от 0,29 до 0,38 м³ кислорода, в зависимости от того, какой окисел получается при горении FeO или Fe₃O₄. Практический расход кислорода может сильно отличаться от теоретического, так как в шлаках присутствуют оба окисла в различных соотношениях, часть металла удаляется из разреза в расплавленном состоянии, часть кислорода расходуется на выдувание жидкого металла и шлаков, а также теряется в окружающей среде. Фактический расход режущего кислорода составляет примерно 1,75 дм³ на 1 см³ железа.

Для резки применяют технический кислород чистотой 98,8—99,7%. С понижением чистоты кислорода на 1% его расход на 1 м длины резки возрастает на 25—35%, а время резки — на 10—15%. Это особенно заметно при резке стали больших толщин. Применять для резки кислород чистотой ниже 98% нецелесообразно, так как поверхность реза получается недостаточно чистой, с глубокими рисками и трудноотделяемым шлаком.

Существует также способ т. н. импульсной кислородной резки. Данный способ состоит в том, что после начального подогрева по

всей длине линии реза на нее пускается режущий кислород. Процесс резки протекает всего несколько десятков секунд. Так, например, труба диаметром 219 мм, толщиной стенки 15 мм прорезается за 77 сек. Для резки применяют секционированные резаки с внутрисопловым смешением газов (см. рис. 90, и).

§ 2. ОСНОВНЫЕ УСЛОВИЯ РЕЗКИ. ВЛИЯНИЕ СОСТАВА СТАЛИ НА РЕЗКУ

Основные условия резки. Для резки кислородом необходимы следующие условия:

температура горения металла в кислороде должна быть ниже температуры плавления, иначе металл будет плавиться и переходить в жидкое состояние до того, как начнется его горение в кислороде;

образующиеся окислы должны плавиться при температуре более низкой, чем температура горения металла, и не быть слишком вязкими; если металл не удовлетворяет этому требованию, то кислородная резка его без применения специальных флюсов невозможна, так как образующиеся окислы не смогут выдуться из места разреза;

количество тепла, выделяющееся при сгорании металла в кислороде, должно быть достаточно большим, чтобы обеспечить поддержание процесса резки. При резке стали около 70% тепла, используемого для подогревания, выделяется при сгорании металла в кислороде и только 30% подводится от подогревающего пламени;

теплопроводность металла не должна быть слишком высокой, иначе, вследствие теплоотвода, процесс резки может прерваться.

Влияние состава стали на резку. Перечисленным выше условиям наиболее полно отвечают чистое железо и стали с низким содержанием углерода. Чистое железо имеет температуру воспламенения в кислороде 1050° С, а температуру плавления 1528° С. При содержании в стали 0,7% углерода температура ее воспламенения в кислороде повышается до 1300° С, что равно температуре начала плавления стали этого состава. По данным А. Н. Шашкова избирательное окисление железа в кислороде при резке стали начинается при температуре около 1130° С, а при 1300° С и выше начинается интенсивное выгорание углерода.

На температуру загорания, кроме состава металла, оказывает влияние также состояние поверхности металла, величина его кусков, давление и скорость потока кислорода. Шероховатая поверхность облегчает загорание металла в кислороде. Порошок железа может воспламеняться в чистом кислороде при температуре 315° С, т. е. значительно более низкой, чем прокатанный металл. Металл на поверхности крупного куска стали загорается при температуре 1200—1300° С. При давлении 25 кгс/см² и скорости потока кислорода 180 мл/сек температура загорания углеродистой стали в кислороде снижается до 700—750° С.

Низко- и среднеуглеродистые, а также низколегированные стали при содержании углерода до 0,3% хорошо режутся кислородом.

Способность стали поддаваться резке приближенно можно оценить по химическому составу, пользуясь следующей формулой эквивалента углерода, учитывающей влияние углерода и легирующих элементов стали на резку:

$$C_e = C + 0,16 Mn + 0,3(Si + Mo) + 0,4Cr + 0,2V + 0,04(Ni + Cu),$$

где C_e — эквивалент углерода; символы элементов в формуле обозначают их содержание в стали в весовых процентах.

Пример. Сталь имеет состав: C — 0,2; Mn — 0,8; Si — 0,6. Тогда $C_e = 0,2 + 0,16 \cdot 0,8 + 0,3 \cdot 0,6 = 0,508$. Сталь относится к I группе (табл. 14).

Кислородная резка почти не влияет на свойства низкоуглеродистой стали вблизи места реза. Только при резке сталей с повышенным содержанием углерода кромки разреза в результате частичной закалки становятся более твердыми. Глубина зоны влияния при резке составляет:

Толщина стали, мм	5	25	100	250	800
Глубина зоны влияния, мм:					
для низкоуглеродистой стали (до 0,3% C)	0,1—0,3	0,5—0,7	1,5—2,0	1,5—3,0	4—5
для углеродистой стали (0,5—1% C)	0,3—0,5	0,8—1,5	2,5—3,5	3,5—5	6—8

Т а б л и ц а 14

Классификация сталей в зависимости от разрезаемости их кислородом

Группа	C_e	% C	Марка стали	Условия резки
I	До 0,6	До 0,3	10—25; МСт1 — МСт4; 15Г; 20Г; 10Г2; 15М; 15НМ	Режутся хорошо в любых условиях и не требуют термообработки
II	0,61—0,8	До 0,5	30—35; 30Г—40Г; 15Х; 20Х; 20ХФ и др.	Режутся удовлетворительно. Летом — резка без подогрева. Зимой и при резке больших сечений рекомендуется подогрев до 120°C
III	0,81—1,1	До 0,8	50—70; 50Г—70Г; 12М—35ХМ; 18ХГМ; 20ХГС и др.	Режутся ограниченно, склонны к закалке и трещинам при резке; резку ведут в горячем виде при температуре листа 200—300°C
IV	Более 1,1	Более 0,8	25ХГС—50ХГС; 33ХС—40ХС; 40ХГМ; 50ХГА и др.	Режутся плохо, склонны к трещинам, требуют предварительного подогрева до 300—450°C и замедленного остывания после резки

При резке высоколегированных хромистых, хромомарганцовистых и хромоникелевых сталей происходит выгорание из металла кромок хрома, кремния, марганца, и титана, а содержание никеля возрастает. В структуре такой стали между кристаллами около кромок появляются включения легкоплавких сульфидов и силицидов* железа, что способствует возникновению горячих трещин в момент остывания кромок. Возможна межкристаллитная коррозия после резки. Поэтому кромки этих сталей после резки кислородом в случае необходимости фрезеруются или строгаются.

Для некоторых марок высоколегированных сталей применяют термическую обработку для восстановления структуры кромок после резки кислородом.

§ 3. РЕЖИМЫ РЕЗКИ

Основные показатели режима резки — это давление режущего кислорода и скорость резки, которые определяются главным образом толщиной разрезаемой стали. Величина давления кислорода зависит от конструкции резака, применяемых мундштуков, величины сопротивлений в кислородподводящих коммуникациях и арматуре.

На скорость резки помимо толщины металла влияют также: метод резки (ручной или машинный); форма линии реза (прямолинейная или фасонная) и, наконец, вид резки, (разделочная, заготовительная с припуском на механическую обработку, заготовительная под сварку, чистовая).

Режимы ручной резки приводились в табл. 11. Скорость ручной резки можно также определять по формуле

$$v = \frac{40\,000}{50 + S} \text{ мм/мин},$$

где S — толщина разрезаемой стали, мм.

При малой скорости резки происходит оплавление кромок реза, при слишком большой — значительно отстает кислородная струя, в результате образуются непрорезанные до конца участки и нарушается непрерывность резки.

Режимы машинной чистовой резки деталей с прямолинейными кромками без последующей механической обработки под сварку приведены в табл. 15. Для фасонной резки скорость берется в пределах, указанных в таблице для резки двумя резаками. При заготовительной резке скорость принимается на 10—20% выше указанной в таблице.

* Сульфиды — соединения с серой, силициды — с кремнием.

Режимы машинной кислородной резки

Показатель	Толщина разрезаемого металла, мм									
	5	10	20	30	60	100	150	200		
Номер мундштука	1	1	2	3	4	4	5	6		
Давление кислорода, кгс/см ²	3,5	4,5	4,5	4,5	6,0	10,5	10,5	10,5		
Для работы одним резаком:										
скорость резки, мм/мин	590—640	480—520	390—420	350—380	300—330	240—260	210—230	200—210		
расход, дм ³ /м:										
кислорода	65	95	160	250	560	1180	2250	3920		
ацетилена	12	15	23	27	42	62	95	125		
Для работы двумя резаками:										
скорость резки, мм/мин	400—500	320—340	260—330	230—290	190—240	160—200	—	—		
расход, дм ³ /м:										
кислорода	—	215	255	565	1260	2700	—	—		
ацетилена	—	35	50	60	95	140	—	—		

Приведенные в табл. 15 данные относятся к кислороду чистотой 99,5%. При меньшей чистоте кислорода эти величины следует умножать на поправочные коэффициенты, равные:

Чистота кислорода, %	99,2	99,0	98,8	98,5
Коэффициенты:				
скорости	0,94	0,90	0,88	0,84
расхода кислорода	1,10	1,15	1,18	1,3
» ацетилена	1,05	1,12	1,15	1,2

При повышенном содержании в стали легирующих примесей, а также при увеличении скорости резки мощность пламени должна быть больше, чем для низколегированных сталей и небольшой скорости резки.

Слишком сильно увеличивать мощность подогревающего пламени не следует, так как это ведет к излишнему расходу горючего, кислорода и оплавлению верхних кромок реза.

Давление режущего кислорода имеет важное значение для резки. При недостаточном давлении струя кислорода не сможет выдувать шлаки из места реза и металл не будет прорезаться на всю толщину. При слишком большом давлении увеличивается расход кислорода и разрез получается менее чистым. Давление кислорода зависит от толщины разрезаемого металла и его подбирают по таблицам, приведенным в предыдущих параграфах.

На рис. 106 приведены графики изменения трудовых затрат, режущего кислорода, подогревающего кислорода и горючего газа в зависимости от толщины разрезаемой стали. Из них видно, что при увеличении толщины стали в наибольшей степени возрастают затраты на режущий кислород.

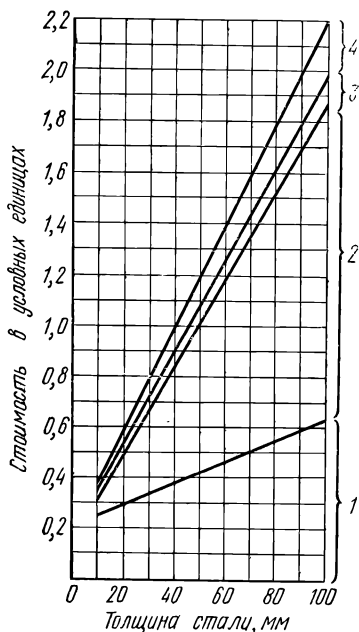


Рис. 106. Изменение стоимости трудовых затрат, режущего кислорода, подогревающего кислорода и горючего газа в зависимости от толщины разрезаемой стали: 1 — трудовые затраты, 2 — режущий кислород, 3 — подогревающий кислород, 4 — ацетилен

§ 4. ТЕХНИКА РУЧНОЙ РЕЗКИ

Разрезаемый лист укладывают на подкладки, выверяют по горизонтали и, если нужно, закрепляют. Затем лист по линии реза очищают от окалины, ржавчины, грязи, которые уменьшают точность и ухудшают качество реза. Лист размечают (рис. 107), нанося на нем

мелом или чертилками контуры вырезаемых деталей, причем так, чтобы металл использовался с наименьшим количеством отходов. Номера наружного и внутреннего мундштуков подбирают в зависимости от толщины металла, в соответствии с паспортом резака.

Резку обычно начинают с кромки листа. Если же нужно начать с середины листа (например, при вырезке фланцев), то сначала в листе прожигают кислородом отверстие, а затем вырезают нужную фигуру. Нагревают металл в месте, откуда ведут резку, а затем пускают режущую струю кислорода. Вслед за этим начинают перемещать резак по намеченной линии реза, прожигая металл на всю толщину. Если резку начинают с кромки, время начального подогрева (при работе на ацетилене) металла толщиной 5—200 мм составляет от 3 до 10 сек. При пробивке отверстия в листе струей кислорода это время увеличивается в 3—4 раза.

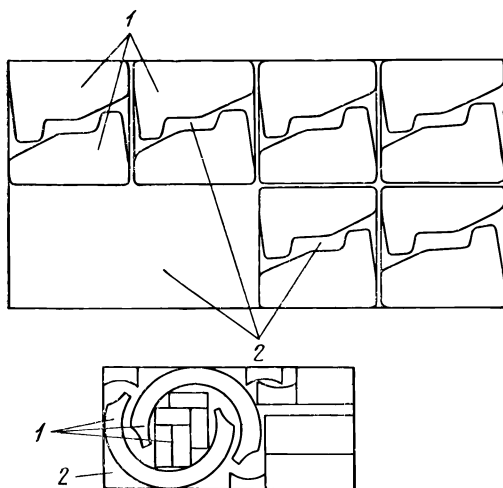


Рис. 107. Примеры экономной раскройки листа:
1 — вырезаемые детали, 2 — остатки металла

металла не будут успевать нагреваться и процесс разрезания может прекратиться. При слишком медленном перемещении резака кромки будут оплавляться и разрез получится неровным, с большим количеством шлака.

При ручной резке целесообразно пользоваться простейшими приспособлениями: опорной тележкой для резака, циркулем, направляющими линейками (рис. 108).

При массовой вырезке однотипных деталей из листов небольшой толщины можно применять пакетную резку, при которой несколько листов складывают вместе (рис. 108, з) и плотно сжимают струбцинами или скрепляют валиковыми швами, наложенными по торцам листов дуговой сваркой. Толщина отдельных листов в пакете не должна превышать 12 мм; лучшие результаты дает пакетная резка листов толщиной 1,5—2 мм. Пакет начинают резать с нижней кромки. Затем мундштук резака поднимают по торцу пакета, и когда он дойдет до верхней кромки, начинают вести по линии реза, следя за тем, чтобы прорезался весь пакет. При пакетной резке ширина реза и расход кислорода на одно изделие получаются больше, чем при резке каждого листа в отдельности. Резку пакета лучше выполнять резаками низкого давления. При резке кислородом низкого давле-

ния, порядка $1,5 \text{ кгс/см}^2$, толщина листов в пакете может быть до 20 мм, а общая толщина пакета — до 80—120 мм. При этом производительность труда при резке возрастет в 1,2—5 раз.

По окончании резки поверхность металла очищают стальной щеткой от окалины и остатков шлака. Наплывы, образующиеся на нижней кромке металла, срубают зубилом.

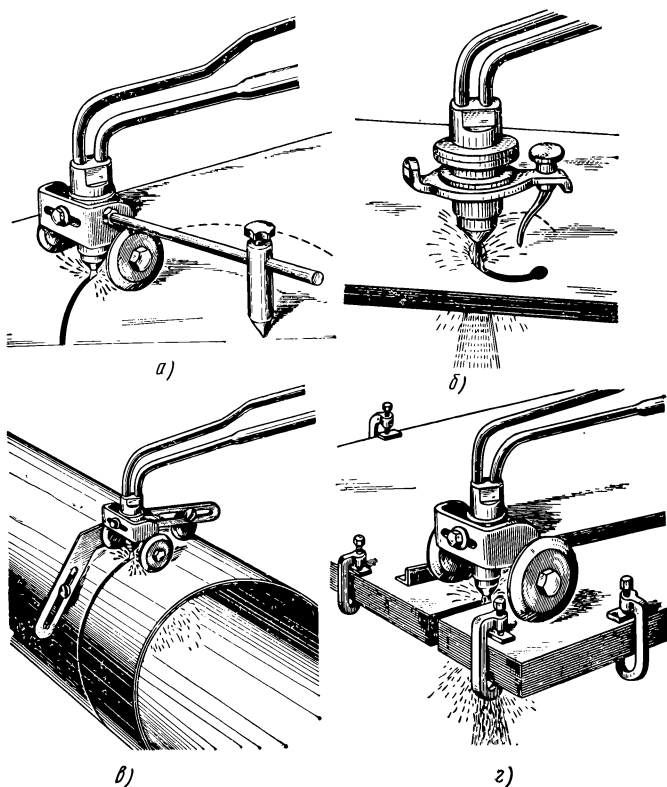


Рис. 108. Приспособления к резаку:

а — для вырезки фланцев, б — для вырезки отверстий, в — для резки труб, г — для пакетной резки

Резка стали большой толщины с применением кислорода низкого давления. Поверхность слитка предварительно очищают вдоль линии реза от песка, пригаров и окалины. Слиток укладывают на подкладки или края выкопанного под ним приямка так, чтобы высота свободного пространства под местом реза составляла 300—500 мм. Это обеспечивает свободное стекание шлака и не создает противодавления кислородной струе.

Состав подогревающего пламени существенно влияет на протекающие процессы. При резке стали больших толщин подогревающее пла-

мя следует регулировать с максимальным избытком горючего газа в смеси; это увеличивает длину факела и способствует прогреву металла на всю толщину слитка.

Для плавного (без рывков) перемещения резака при резке болванок с неровной опорной поверхностью целесообразно вдоль линии реза уложить две полосы толщиной 5—8 мм и по ним перемещать тележку резака.

Торец металла в плоскости реза нужно хорошо подогреть, особенно в нижней части для чего в начале резки выдвигают мундштук примерно на $\frac{1}{3}$ диаметра пламени вперед по отношению к верхней кромке реза. При пуске режущей струи кислорода мундштук несколько отклоняют в направлении резки, что способствует «врезанию» струи кислорода в металл и предупреждает образование «порога», ниже которого горение стали прекращается. Одновременно с пуском режущего кислорода начинают перемещать резак по линии реза. Вначале скорость перемещения резака должна составлять не более 50—70% скорости резки для металла данной толщины. Для пуска режущей струи кислорода вентиль открывают медленно. Положение мундштука в начале и в конце процесса резки стали большой толщины показано на рис. 109, а, б.

Концентрация кислорода (чистота) в режущей струе уменьшается по мере удаления ее от верхней кромки разрезаемого металла. Поэтому при резке больших толщин (свыше 300 мм) очень важно увеличить длину струи.

На рис. 109, в показаны формы щели реза в металле больших толщин при различных соотношениях расхода режущего кислорода и ацетилена. Наибольшая длина режущей способности струи получается при расходе кислорода 80 м³/ч и ацетилена 8 м³/ч. В нижней части режущая струя кислорода сильно расширяется, чистота кислорода понижается за счет разбавления его продуктами сгорания горючего газа, скорость струи резко падает и реакция сгорания железа прекращается. В этом месте щель реза расширяется, заканчиваясь внизу полостью грушевидной формы.

Для резки стали больших толщин рекомендуется применять такие горючие как пропан, водород и природный газ. Эти газы при сгорании образуют более длинный факел (чем ацетилен), сжимающий и защищающий струю режущего кислорода от разбавления инертными газами на большей длине, чем обеспечивается большая глубина резки.

Резка «кислородным копьём». Этот способ* применяют при резке скрапа большой толщины порядка 800—1200 мм (прибылей болванок, настелей сталеразливочных ковшей, «козлов» сталеплавильных печей, прожигании отверстий и пр.), а также при резке железобетонных плит и свай. Кислород подается через стальную трубку под давлением 5—15 кгс/см². Применяют газовые трубы диаметром от $\frac{1}{4}$ до 1" или цельнотянутые толстостенные наружным диаметром

* Резка кислородным копьём подробно исследована в сварочной лаборатории МВТУ им. Баумана.

20—35 мм. Трубка закрепляется в рукоятке с зажимным устройством и вентилем для кислорода. Для повышения теплового эффекта сгорания металла в месте реза и уменьшения выходного сечения трубки в нее закладывают стальную проволоку диаметром 5 мм. Конiec трубки подводится к месту начала реза, которое разогревают пламенем горелки или дугой. Когда разрезаемый металл в данной точке нагреется до температуры светло-красного каления, в трубку начинают подавать кислород, сначала под давлением 2—3 кгс/см²,

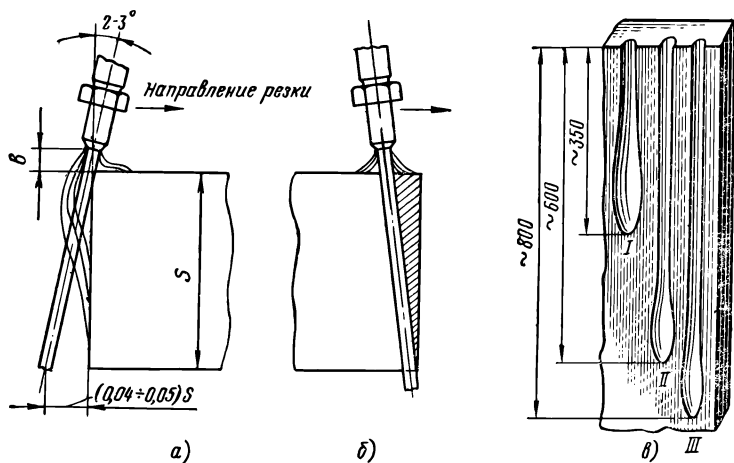


Рис. 109. Положение режущей струи кислорода при резке стали больших толщин:

a — начало реза, b — конец реза (S — толщина металла), c — форма щели реза при различных соотношениях расходов ацетилена и режущего кислорода по опытам И. Бошнякова (ГДР): I — при нулевом расходе ацетилена (пламя зажигалось только в начале реза), II — при расходе ацетилена 4 м³/ч, III — при расходе ацетилена 8 м³/ч (расход режущего кислорода во всех случаях 80 м³/ч)

постепенно увеличивая его давление. За счет выделяющегося тепла при сгорании конца трубки и проволоки происходит дальнейший подогрев металла до температуры его горения в кислороде. По мере сгорания металла и трубки последняя углубляется в толщу болванки, прорезая отверстие. Если при этом производить концом трубки возвратно-поступательные движения, слегка передвигая ее в сторону направления резки или по окружности, то можно разрезать металл на всю толщину или сделать в нем отверстие нужного диаметра. Положение болванки должно быть таким, чтобы шлак мог вытекать из разреза. Движения, производимые концом трубки, способствуют удалению шлаков из разреза. С помощью кислородного копья в железобетоне можно прожигать отверстия диаметром от 30 до 120 мм глубиной до 4 м. На удаление 1 дм³ бетона расходуется 3,5—5 кг стальных труб и 2—3 м³ кислорода. При резке порошково-кислородным копьем на 1 дм³ расход материалов составляет: труб-

ки диаметром $\frac{3}{8}$ дюйма — около 0,3 кг, порошка железного (флюса) — 1,3 кг, кислорода 2,2 м³ и воздуха 0,3 м³.

Для повышения термохимического эффекта резки кислородным копьем в стальную трубу вставляют проволоку из технического титана. Расплавленный титан и его окислы способны растворять любые огнеупоры. При этом способе резки скорость прожигания отверстий в три раза выше, чем при резке обычным кислородным копьем.

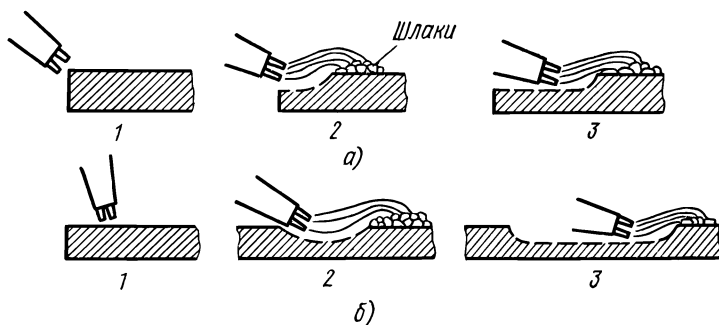


Рис. 110. Последовательность операций, изменение положения мундштука при поверхностной резке и параметры реза:

а — резка с кромки, *б* — резка с середины листа; 1 — подогрев, 2 — начало резки, 3 — вырезки канавки

Поверхностная резка. Производится струей режущего кислорода, наклоненной к поверхности металла под углом от 15 до 40°. Последовательность операций при поверхностной резке показана на рис. 110, *а, б*. Глубина канавки увеличивается при увеличении угла наклона мундштука, повышении давления кислорода и уменьшении скорости перемещения мундштука вдоль канавки. Ширина канавки определяется диаметром канала для режущей струи кислорода. При изменении чистоты кислорода на 1% скорость резки соответственно изменяется примерно на 15%. Скорость поверхностной резки лежит в пределах 1—6 м/мин. Одним резаком можно удалить в минуту до 5 кг металла. Глубокие канавки вырезают за два-три прохода. Режимы поверхностной резки следующие:

Номер мундштука	1	2	3
Давление кислорода, кгс/см ²	3—6	3—8	3,5—10
Скорость резки, м/мин	1,5—8	1,5—10	1,5—10
Расход кислорода, м ³ /ч	18—40	20—55	30—75
Расход горючего, м ³ /ч:			
ацетилен		0,9—1,0	
коковского газа		4—5	
Размеры канавки, мм:			
ширина	15—30	18—35	30—50
глубина	2—12	2—16	2—20

§ 5. МАШИННАЯ РЕЗКА

Для укладки листов при машинной резке применяют специальные столы, которые могут быть неподвижными или подвижными, перемещаемыми по рельсам. Рама стола сварена из швеллеров, на которые устанавливаются чугунные конические призмы, являющиеся опорами для разрезаемого листа. Выдуваемый при резке шлак падает в поддон-контейнер. При этом поток горючих газов на уровне разделяемого листа направлен в сторону от рабочего места, что улучшает условия труда резчика. Для очистки поддонов-контейнеров со стеллажа снимают краном решетки с лежащими на них призмами; затем вынимают контейнеры и шлак высыпает в сборники для отходов производства.

Если нужно вырезать детали с точными размерами, лист подвергают правке. Детали, вырезанные из непрямого листа, могут при последующей правке изменять свои размеры. Лист так же, как и плоскость копира, должен быть расположен строго горизонтально. Необходимо, чтобы расстояние между листом и поддоном (или полом) было не менее $0,5S + 100$ мм (где S — толщина листа), иначе вытекающая струя и шлаки, отражаясь от поверхности поддона, могут испортить поверхность реза.

Точность и качество реза. Точность реза характеризуется отклонениями линии реза от заданной, а также отклонением плоскости реза от заданного угла (по отношению к поверхности листа). Качество резки определяется чистотой (гладкостью) поверхности реза, степенью оплавления (закругления) верхней кромки реза, наличием и степенью сцепления шлака (грата) с нижней кромкой, равномерностью ширины реза по всей толщине металла и отсутствием на поверхности реза местных выплываний (выхватов).

Линия реза отклоняется от заданной в результате смещения оси резака или деформации листа. Наибольшие отклонения получаются при ручной резке.

Отклонение плоскости реза от заданной происходит при изменении угла наклона резака к поверхности листа, а также вследствие расширения режущей струи кислорода (рис. 111).

Гладкость поверхности реза определяется количеством и глубиной бороздок, оставляемых режущей струей кислорода. Эти бороздки обычно имеют криволинейное очертание, обусловленное некоторым отставанием от мундштука

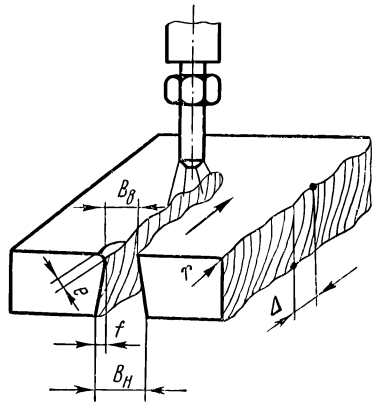


Рис. 111. Параметры реза:
 B_v — ширина реза сверху, B_n — ширина реза снизу, f — неперпендикулярность реза, e — глубина бороздок, Δ — отставание, r — радиус оплавления верхней кромки

режущей струи кислорода, которое неизбежно и вызвано запаздыванием окисления железа в нижних слоях металла. Меньшая скорость окисления нижележащих слоев вызвана: большей загрязненностью режущей струи кислорода в этих слоях вследствие повышения содержания в ней (по мере прохождения через толщу металла) инертных примесей — аргона, азота и продуктов сгорания; невозможностью непосредственного подогрева пламенем металла на нижней кромке; снижением скорости и расширением режущей струи кислорода. Величина отставания режущей струи кислорода возрастает с увеличением толщины металла и скорости резки или понижением чистоты применяемого кислорода.

Если отставание настолько велико, что приводит к несоответствию очертаний детали на верхней и нижней кромках реза, то его уменьшают, снижая скорость резки. Применение ступенчато-цилиндрических и расширяющихся сопел, обеспечивающих цилиндрическую форму струи на большей длине, а также резка кислородом низкого давления, когда не происходит сильного расширения струи, существенно уменьшают величину отставания. При прямолинейной резке с нормальной скоростью соплами ступенчато-цилиндрической формы отставание составляет:

Толщина стали, мм	5—25	25—50	50—100	100—200
Отставание, мм	1—5	5—8	8—12	12—15

Глубина бороздок зависит от давления кислорода, скорости перемещения резака и вида горючего. При использовании природного газа поверхность реза получается без оплавлений и более ровная, чем при резке ацетиленом.

Неровная поверхность реза может также получаться в результате колебания резака или неравномерной скорости его передвижения.

Оплавление верхних кромок зависит от мощности подогревающего пламени и скорости резки. Чем больше мощность пламени и ниже скорость резки, тем значительнее оплавление. Большое значение для получения чистой поверхности реза имеет концентрация (чистота) кислорода. Особенно гладкую поверхность реза можно получить, применяя кислород концентрации не ниже 99%.

Основными показателями качества поверхности реза являются профиль и чистота, зависящие от толщины разрезаемой стали и скорости резки. Профиль реза оценивается по степени его перпендикулярности к поверхности листа. Величина отставания и глубина бороздок зависят от перпендикулярности профиля и увеличиваются при отклонении его от вертикальной плоскости. Основным показателем чистоты поверхности реза служит глубина бороздок (шероховатость). Радиус скругления верхней кромки может считаться только вспомогательным признаком качества реза.

Исходя из указанных положений и на основе проведенных исследований ВНИИАвтогенмаш разработан ГОСТ 14792—69 «Кислородная и плазменно-дуговая резка. Точность деталей и заготовок и качество поверхности резки». Этим ГОСТом для качества поверхности реза предусматривается три класса:

1-й класс (высший) — достигаемый при наиболее благоприятных условиях резки;

2-й класс (повышенный) — соответствующий устойчивым производственным результатам на серийном оборудовании;

3-й класс (обычный) — отвечающий устойчивым производственным показателям, достигаемым на серийном оборудовании при наиболее экономичных режимах.

За основные показатели приняты: перпендикулярность (*мм*) и глубина бороздок (шероховатость) (*мк*). Эти показатели даны в табл. 16.

Таблица 16

Показатели качества реза

Толщина разрезаемой стали, мм	Показатели качеств					
	перпендикулярность, мм			глубина бороздок (шероховатость), мк		
	1-й класс	2-й класс	3-й класс	1-й класс	2-й класс	3-й класс
От 5 до 15	0,2	1,0	1,2	40	80	160
» 15 » 30	0,3	1,2	1,6	80	160	320
» 30 » 50	0,4	1,6	2,0	160	320	640

Приведенные показатели относятся к механизированной кислородной резке низкоуглеродистой стали без скоса кромок и концентрации кислорода 99,5—99,8%.

Опыт показывает, что в производственных условиях может быть достигнута шероховатость в 30—100 мк, что соответствует по ГОСТ 2789—58 классу чистоты поверхности обработки $\nabla 4$ — $\nabla 2$. На серийных машинах глубина бороздок обычно составляет 160—320 мк.

Для точности резки ГОСТ 14792—69 предусмотрены следующие предельные отклонения (*мм*) от номинальных размеров:

Класс точности	Размеры детали, мм			
	до 630	630—2000	2000—2500	2500—4000
1	$\pm 0,9$	$\pm 1,0$	$\pm 1,1$	$\pm 1,1$
2	$\pm 1,4$	$\pm 1,5$	$\pm 1,8$	$\pm 2,0$
3 { для кислородной	$\pm 2,0$	$\pm 2,3$	$\pm 2,5$	$\pm 2,5$
{ для плазменной	$\pm 3,5$	$\pm 4,0$	$\pm 4,5$	$\pm 4,5$

Высококачественная кислородная резка. Бороздки, остающиеся на поверхности реза, являются концентраторами напряжений и снижают усталостную прочность металла. Поэтому для ответственных сооружений, например мостов из стали 15ХСНД, применяют последующую зачистку кромок механической обработкой. Для получения высококачественной поверхности реза с чистотой не ниже 5-го класса по ГОСТ 2789—59 ВНИИАвтогенмаш разработал способ резки, условно названный «смыв-процесс». Для этого способа применяют трехструйный резак (рис. 112), в котором канал 4 слу-

жит для основной (режущей) струи кислорода, а каналы 3 — для двух вспомогательных (зачищающих) струй. Резак работает с использованием внутрисоплового смешения горючего газа и подогревающего кислорода. Режущий кислород по трубке 4 поступает в центральный канал мундштука. Подогревающий кислород и горю-

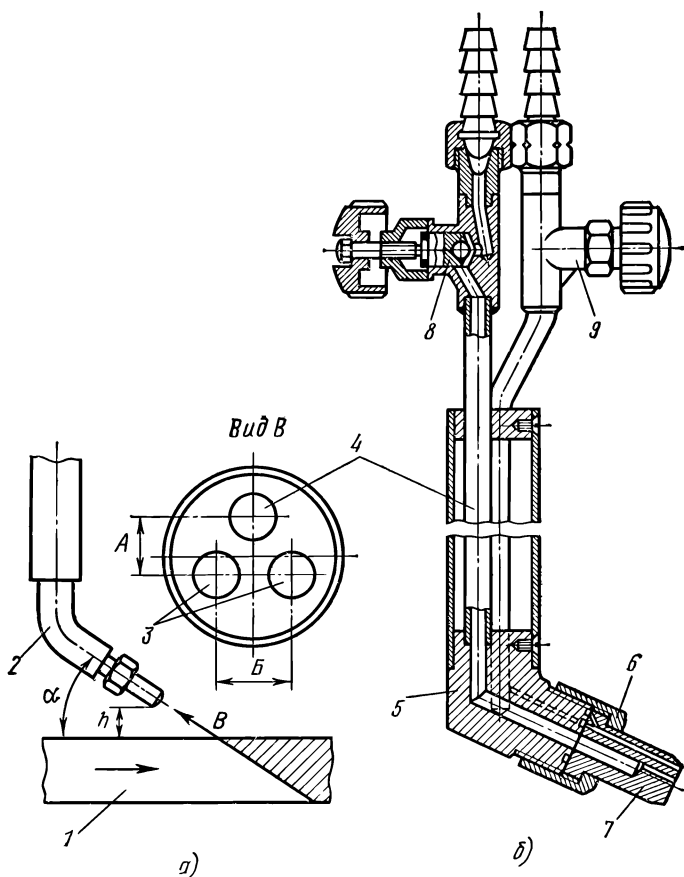


Рис. 112. Высококачественная кислородная резка («смыв-процесс»):

а — положение резака при резке, б — конструкция резака; 1 — разрезаемый металл, 2 — резак, 3 — каналы для зачищающих (смывающих) струй кислорода, 4 — канал для основной (режущей) струи кислорода, 5 — головка резака, 6 — накидная гайка, 7 — мундштук, 8 — вентиль кислорода, 9 — вентиль горючего газа

чий газ подводятся по отдельным трубкам в головку резака, проходят в ней по отдельным кольцевым каналам и затем поступают в соответствующие отверстия мундштука, расположенные под углом друг к другу и соединяющиеся в выходных каналах. Так как горючая смесь образуется только в выходных каналах мундштука, то

возможность обратных ударов пламени практически исключается. Оптимальные параметры установки резака следующие (рис. 112, а): $A=4,1$ мм, $B=4,3$ мм, угол $\alpha=25^\circ$, $h=4-5$ мм. При этих условиях шероховатость кромок не превышает 9 мкм, что соответствует 6 классу чистоты по ГОСТ 2789—59. Неперпендикулярность кромок не превышает 0,4—1,3 мм. Режим резки стали 15ХСНД методом «смыв-процесс» следующие:

Толщина листа, мм	14	20	32
Ширина реза, мм	9	10	10
Скорость резки, мм/мин	795	550	400
Давление режущего кислорода, кгс/см ²	9	11	11
Расход кислорода, м ³ /пог.м	0,45	0,55	0,87

Скорость резки при «смыв-процессе» в 1,5—2,8 раза выше, а расход кислорода на 1 пог. м реза в 1,8—2,9 раза больше, чем при обычной резке. В качестве горючего можно применять ацетилен и пропан-бутан.

Резка без грата.

Удаление грата*, приваривающегося к нижней кромке металла при резке стали малых и средних толщин с относительно высокими скоростями, является трудоемкой операцией, занимающей от 20 до 70 % времени резки. Для получения резки без грата при толщине низкоуглеродистой стали от 3 до 100 мм ВНИИАвтогенмаш рекомендует следующие мероприятия:

1. Создавать условия для возможно более полного окисления металла, для чего: применять кислород высокой чистоты; резать с минимальной для данной толщины скоростью и минимальной мощностью подогревающего пламени; увеличивать расход режущего кислорода.
2. Выбирать такое направление струи режущего кислорода, при котором шлаки не затекают назад, на кромки уже выполненного реза (рис. 113, а).

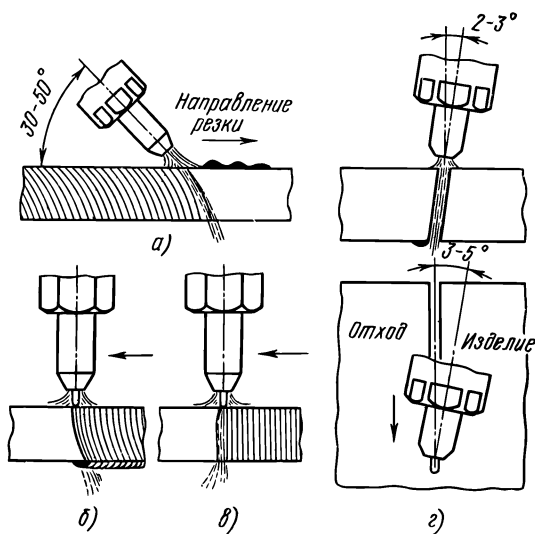


Рис. 113. Способы резки без грата:

а — с наклоном головки, б — затекание грата при большой скорости резки, в — резка с малой скоростью и нулевым отставанием, г — с наклоном головки в сторону изделия

* Грат состоит из расплавленного разрезаемого металла и его окислов.

При резке с малыми скоростями стали толщиной более 12 мм и минимальном отставании линий реза (рис. 113, в) шлаки удаляются из места разреза, а при повышенной скорости грат затекает на кромки (рис. 113, б).

3. Устанавливать резак под углом к изделию; при этом грат остается на кромках отхода (рис. 113, г). В этом случае скорость резки может быть повышена.

4. Повышение давления режущего кислорода, что улучшает выдувание шлаков из места разреза.

5. Применение заменителей ацетилена: пропан-бутана, водорода, керосина, природного газа и др.

6. Нанесение на нижнюю поверхность разрезаемого листа изолирующего слоя, препятствующего привариванию грата (обмазки из жидкого стекла слоем толщиной 1,5—1,7 мм).

Резка с «кислородной завесой». Применяется для повышения скорости резки. Производится специальными резаками, у которых между каналом для выхода режущей струи кислорода и каналом для выхода подогревающей смеси в мундштуке имеется дополнительный канал, из которого с небольшой скоростью вытекает кислород; эта дополнительная струя кислорода образует завесу, защищающую режущий кислород от загрязнения продуктами сгорания пламени и азотом воздуха. В результате этого высокая чистота режущего кислорода сохраняется на всей длине струи, что повышает интенсивность сгорания металла в месте реза. Данный способ позволяет увеличить скорость резки в пределах до 50%. При резке стали толщиной 100 мм расход защитного кислорода достигает 1000—2000 $\text{дм}^3/\text{ч}$, что несколько снижает экономичность этого способа.

Скоростная резка. По методу выполнения аналогична способу резки «смыв-процесс». Угол наклона режущих струй составляет 30—60° к поверхности разрезаемого металла. Вследствие увеличения этого угла шероховатость поверхности реза получается больше, чем при «смыв-процессе». По существу оба метода резки (смыв-процесс и скоростная) являются разновидностью одного и того же способа многоструйной кислородной резки, отличающиеся только режимами и условиями резки. При скоростной резке стали Ст3 режимы резки следующие:

Толщина стали, мм	5	10	20	30
Скорость резки, мм/мин:				
заготовительная	2000	1500	1000	750
чистовая односторонняя и двусторонняя	1500	1150	750	550

Разметка металла для резки. Разметка под резку является важной операцией и требует тщательной разработки всех операций резки, выполнения необходимых расчетов проектирования и изготовления шаблонов. Эти работы проводятся в технологических отделах заводов.

Разметку листов следует стремиться вести так, чтобы отходы металла при резке были наименьшими.

Деформация металла при резке. Вследствие неравномерного нагрева металла при резке происходят деформации, которые могут вызывать искажение формы детали и отклонение ее размеров от данных. На рис. 114, *а* показан пример деформации отрезанной части листа при вырезке заготовки (площадь вырезанной заготовки заштрихована). Для уменьшения отклонения лист вначале прорезают не по прямой, а по зигзагообразной линии (рис. 114, *б*). При вырезке детали в замкнутом контуре после прохождения резака ее закрепляют клиньями в точках 1, 2, 3 и 4 (рис. 114, *в*).

Под влиянием нагрева деталь или лист может деформироваться и смещаться на опорах, что также приводит к отклонению размеров вырезаемой детали от заданных. Для уменьшения деформаций необходимо:

- 1) жестко закреплять вырезаемые детали с помощью упоров, шпилек, струбцин, эксцентриковых или пневматических зажимов, клиньев и пр.;
- 2) оставлять перемычки (непрорезанные участки) между соседними частями листа, из которых вырезаются детали;
- 3) резать крупногабаритные детали одновременно несколькими машинами;
- 4) резать мелкие детали не из целого листа, а из предварительно нарезанных прямоугольных заготовок (карт);

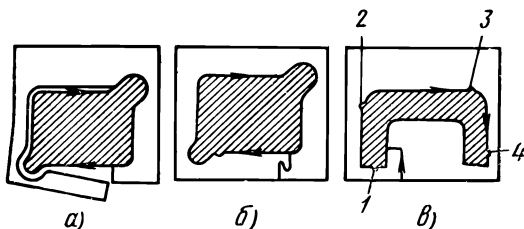


Рис. 114. Деформации и способы их уменьшения при вырезке деталей замкнутого контура: *а* — деформация отрезанной части листа, *б* — зигзагообразный разрез, *в* — закрепление клиньями в точках 1, 2, 3 и 4

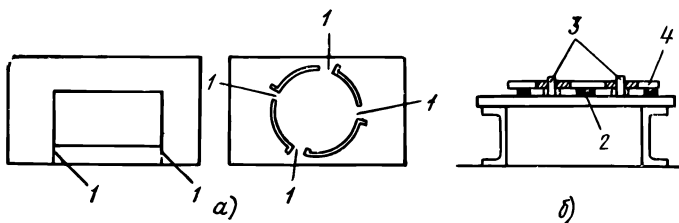


Рис. 115. Закрепление деталей при резке: *а* — оставление перемычек, *б* — применение штырей; 1 — перемычка, 2 — подкладки, 3 — штыри, 4 — разрезаемый лист

- 5) резать отдельные участки контура детали в такой последовательности, при которой деформации действовали бы в противоположных направлениях и по возможности взаимно уничтожались.

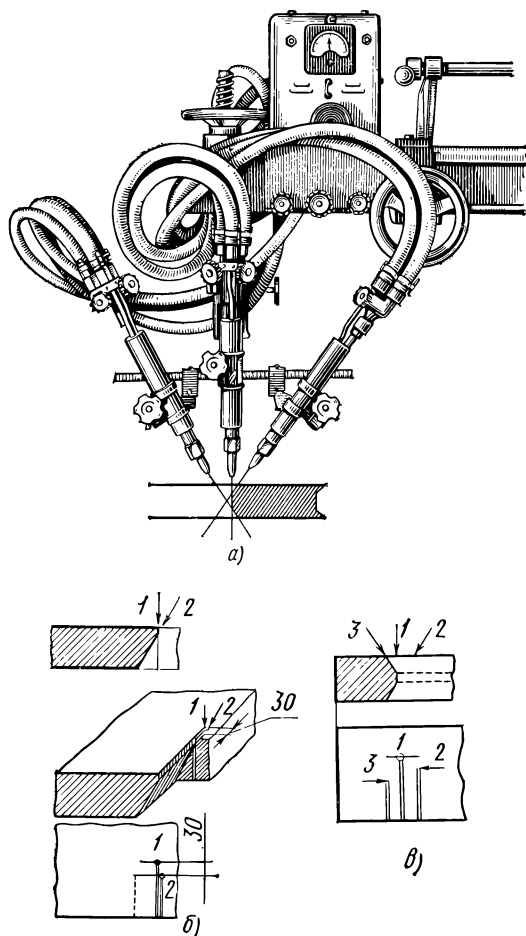


Рис. 116. Резка кромок несколькими резаками одновременно:

a — установка резаков для скоса кромок, *б* — резка двумя резаками (1 и 2), *в* — резка тремя резаками (1, 2 и 3)

На рис. 115 показано несколько примеров закрепления деталей при помощи перемычек и штырей с целью уменьшения деформации при резке. Эти перемычки по окончании резки перерезают.

При скосе кромок под сварку можно одновременно резать двумя (при V-образном) или тремя (при X-образном) резаками, как показано на рис. 116.

Глава XIV

КИСЛОРОДНО-ФЛЮСОВАЯ РЕЗКА

§ 1. СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА И АППАРАТУРА ДЛЯ КИСЛОРОДНО-ФЛЮСОВОЙ РЕЗКИ

При резке кислородом хромистых и хромоникелевых легированных сталей образуются тугоплавкие окислы хрома. Пленка этих окислов, покрывая частицы металла, препятствует его сгоранию в струе кислорода. Поэтому для резки таких сталей кислородом приходится применять особые приемы. Например, для повышения количества тепла, выделяемого в месте разреза, и разжижения образующихся окислов хрома в разрез вводят полоску из низкоуглеродистой стали. Можно укладывать такую полоску сверху разрезаемого металла по линии реза или наплавлять по этой линии дуговой сваркой валик из низкоуглеродистой проволоки. Пламя для подогрева при резке таких сталей должно иметь повышенную мощность. Однако все эти приемы при резке легированных сталей дают низкую производительность и плохое качество реза. В связи с этим для этих сталей был разработан и успешно применяется способ кислородно-флюсовой резки. Сущность этого способа состоит в том, что в разрез вместе с кислородом вдувается порошкообразный флюс, основой которого является железный порошок. В этом случае в месте разреза выделяется дополнительное тепло от сгорания железного порошка в кислороде, которое повышает температуру в месте реза. Вследствие этого образующиеся тугоплавкие окислы остаются в жидком состоянии и, будучи разбавлены продуктами сгорания железа, дают легко удаляющиеся жидкотекучие шлаки. Процесс резки протекает с нормальной скоростью, а поверхность реза получается чистой.

Кислородная резка чугуна без флюса также затруднена, потому что температура плавления чугуна ниже температуры горения железа в кислороде и чугун начинает раньше плавиться, чем гореть в кислороде. Содержащийся в чугуне кремний дает тугоплавкую пленку окиси, которая препятствует нормальному протеканию процесса резки. При сгорании углерода образуется газообразная окись углерода, которая загрязняет режущий кислород и препятствует сгоранию железа в месте реза. Поэтому для чугуна тоже применяют кислородно-флюсовую резку с использованием железного порошка, в который добавляют порошкообразный феррофосфор. Скорость резки чугуна в 2 раза ниже скорости резки нержавеющей стали.

Цветные металлы (медь, латунь, бронза) обладают высокой теплопроводностью и при их окислении кислородом выделяется количество тепла, недостаточное для дальнейшего развития процесса горения металла в месте реза. При кислородной резке этих

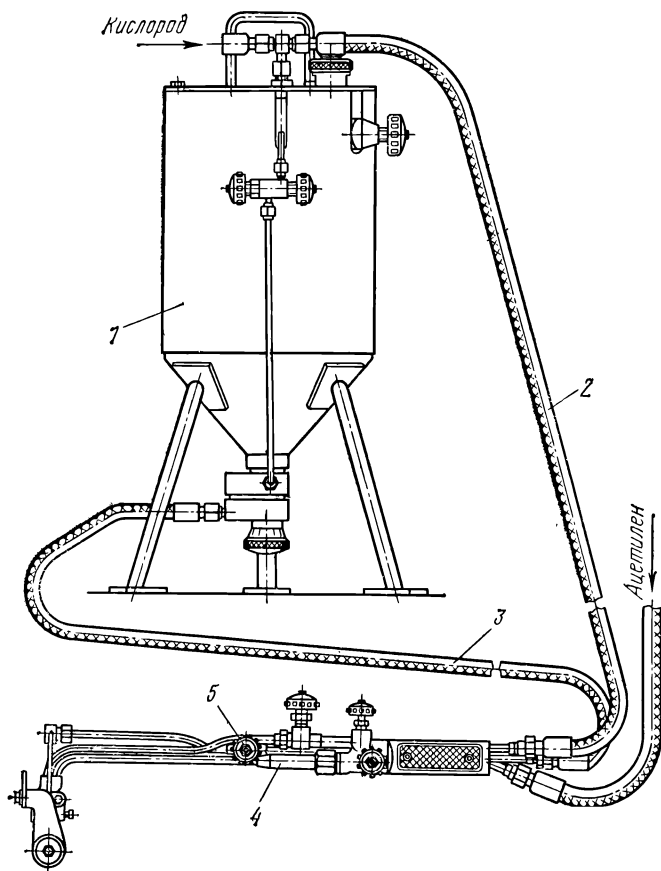


Рис. 117. Установка УРХС-5 для кислородно-флюсовой резки

металлов также образуются тугоплавкие окислы, препятствующие процессу резки. Поэтому кислородная резка чугуна, бронзы и латуни возможна только с применением флюсов. В качестве флюса также используется железный порошок, в который добавляется порошкообразный феррофосфор и алюминий, а иногда и кварцевый песок. Резку меди и бронзы ведут с предварительным подогревом до 200—400° С.

Для кислородно-флюсовой резки используются специальные установки, состоящие из флюсопитателя и резака с устройством для подвода флюса в зону резки.

Выпускаемая в настоящее время установка УРХС-5 показана на рис. 117 и имеет следующую характеристику:

Скорость резки, мм/мин:	
прямолинейной	230—760
фигурной	140—460
Давление кислорода, кгс/см ²	5—10
» ацетилена, мм вод. ст. не ниже	300
» флюсоносущего кислорода, кгс/см ²	0,35—0,45
Расход:	
кислорода, м ³ /ч	4—38
флюса, кг/ч	9—18
ацетилена, м ³ /ч	0,6—1,8
Емкость флюсопитателя, кг	20

В установке УРХС-5 флюс из флюсопитателя 1 подается в резак 4 струей кислорода по шлангу 3 диаметром 9 мм, а затем через флюсоподающие сопла головки засасывается режущей струей кислорода в полость реза. Подача флюса регулируется вентилем 5. Режущий и подогревательный кислород поступает в резак по шлангу 2.

Установка УРХС-5 может применяться при резке резаками, работающими на ацетилене и газах-заменителях, при ручной и машинной резке; в последнем случае флюсопитатель установки может подавать флюс одновременно на два резака. Для кислородно-флюсовой резки используют также машинные двух- и трехвентильные резаки, выпускаемые промышленностью. В этом случае они должны быть оборудованы дополнительной оснасткой для подачи флюса в зону резки. Конструкция флюсопитателя установки УРХС-5 позволяет регулировать подачу флюса без изменения положения флюсоподающего шланга, только вывертыванием или ввертыванием циклонной камеры.

Выпускается также установка УРХС-6 для ручной кислородно-флюсовой резки заготовок, а также прибылей отливок из высоколегированной хромистой и хромоникелевой стали толщиной от 200 до 500 мм. Установка УРХС-6 комплектуется резаком типа РАФ-2-65. Флюсопитатель ФП-2-65 этой установки вмещает 35 кг флюса. С УРХС-6 используется серийная установка УРР-700 для ручной кислородной резки стали большой толщины, снабженная дополнительной оснасткой, обеспечивающей подачу флюса. Кислород подается от рампы из 10 баллонов через рамповый редуктор, а ацетилен — от рампы из трех ацетиленовых баллонов и баллонный редуктор. Режимы резки на установке УРХС-6 следующие:

Толщина высоколегированной стали, мм	200	300	400	500
Скорость резки, мм/мин	100—70	80—60	75—55	65—35
Расход газов, м ³ /ч:				
кислорода	45—50	60—65	75—80	90—95
ацетилена	1,8—2,2	2,4—2,8	3,0—3,4	3,6—4,0
Расход флюса, кг/ч	12—18	16—24	22—33	28—42

§ 2. ТЕХНОЛОГИЯ РЕЗКИ

Техника кислородно-флюсовой резки в основном такая же, как и обычной резки кислородом низкоуглеродистой стали. Резку производят ручными или машинными резаками. Применяют как разделительную, так и поверхностную кислородно-флюсовую резку. В качестве горючего можно использовать заменители ацетилена — пропан-бутан, коксовый и природный газ.

Таблица 17

Состав и области применения флюсов

Группа флюсов	Состав флюса в весовых %							Область применения флюса
	железный порошок ПЖ2М-ПЖ6М (ГОСТ 9849-61)	кварцевый песок	алюминиевый порошок АПВ	алюминиево-магний порошок ПАМ-2 или ПАМ-3	силикокальций марки КаСи-1 или КаСи-2	ферросилиций Си-45	феррофосфор ФФ	
I	100 — 80—90 —	— 100 — —	— — 20—10 —	— — — 60—80	— — — —	— — — 40—20	— — — —	Разделительная резка высоколегированных, хромистых и хромоникелевых сталей и сплавов
II	65—75 65—75	— 20—25	— 10—5	— —	— —	— —	35—25 —	Разделительная резка чугуна
III	70—80 70—80 70—75	— 20—15 —	30—20 10—5 20—15	— — —	— — —	— — —	— — 15—10	Разделительная резка меди, латуни, бронзы
IV	100 —	— —	— —	— 25—30	— 75—70	— —	— —	Поверхностная резка высокохромистой и хромоникелевой сталей

В табл. 17 приведены составы и области применения флюсов при кислородно-флюсовой резке, используемых в СССР.

Применяют железный порошок только марки М (мелкий) с частицами размером 0,1—0,25 мм. Мелкий порошок способен самовоспламеняться в кислороде, поэтому для его инъекции лучше использовать азот или воздух. Металлургическая окалина служит заменителем железного порошка, кварцевый песок — заменителем феррофосфора. Остальные части флюса должны иметь зерна размером от 0,15 до 0,42 мм (сита от № 015 до № 042 по ГОСТ 3584—53 *).

Режимы кислородно-флюсовой резки нержавеющей стали приведены в табл. 18.

* Применение при кислородно-флюсовой резке только одного кварцевого песка, несмотря на его дешевизну, не допускается из-за вредности кварцевой пыли, выделяющейся в большом количестве при резке.

**Режимы разделительной резки высоколегированных хромистых
и хромоникелевых сталей на установках УРХС-5**

Толщина стали, мм	Скорость резки, мм/мин		Расход газа		Расход флюса, кг/м
	прямо- линейная	фигурная	кислорода, м³/м	ацетилен. л/м	
10	760	475	0,2—0,3	20—30	0,15—0,25
20	560	350	0,35—0,5	25—40	0,20—0,35
40	400	250	0,65—1,05	40—65	0,30—0,50
60	330	210	0,95—1,5	50—75	0,40—0,60
100	270	170	1,5—2,35	65—105	0,45—0,75

При кислородно-флюсовой резке мощность пламени должна быть в два раза больше, а режущее сопло — на один номер больше по сравнению с применяющимися при резке без флюса. Это обусловлено затратой дополнительного тепла на плавление флюса и добавочной энергии режущей струи на удаление большего количества шлаков из места разреза.

Флюсопитатель устанавливают на расстоянии не более 10 м от места резки. Шланги, по которым подается кислородно-флюсовая смесь, укладывают без резких перегибов во избежание забивания их флюсом. Перед засыпкой флюса в бункер проверяют, есть ли подсос в инжекторе флюсопитателя, а при необходимости регулируют подсос вентилем инжектора. После засыпки флюса в бункер продувают флюсонесущий шланг. Затем проверяют устойчивость пламени резака и равномерность подачи флюса в режущую струю.

Место начала реза предварительно нагревают до температуры белого каления, а затем открывают на пол-оборота вентиль режущего кислорода и одновременно включают подачу кислородно-флюсовой смеси. Когда расплавленный шлак дойдет до нижней кромки разрезаемого металла, начинают передвигать резак вдоль намеченной линии реза, одновременно полностью открывая вентиль подачи режущего кислорода. Резак должен перемещаться равномерно, без задержек на одном месте, со скоростью, соответствующей толщине разрезаемого металла. При коротких резах резак ведут от себя для того, чтобы лучше наблюдать за процессом стекания шлака. Нужно следить за равномерным и достаточным поступлением флюса в резак, увеличивая или уменьшая его количество с помощью вентиля флюсопитателя.

В случае спекания флюса в резаке или шланге быстро перекрывают подачу флюса, выключают резак, охлаждают его и прочищают каналы головки, инжектора и шлангов. При необходимости заменяют соответствующую часть резака или шланг новыми.

При прекращении работы сначала выключают подачу флюса, затем резак, закрыв предварительно ацетиленовый, а потом кисло-

родный вентиль и, наконец, закрывают вентиль режущего кислорода.

При резке чугуна и цветных металлов рабочее место резчика должно быть обеспечено усиленной вентиляцией для удаления выделяющихся вредных паров и газов.

При резке латуни выделяется много вредных паров окиси цинка, поэтому резку латуни нужно производить в респираторе (маске).

Глава XV

ДУГОВАЯ, КИСЛОРОДНО-ДУГОВАЯ И ГАЗО-ДУГОВЫЕ СПОСОБЫ РЕЗКИ. ПЛАЗМЕННАЯ СВАРКА И НАПЛАВКА

По виду тепла, используемого для нагревания и разделения металла (тепло электрической дуги, тепло реакции горения газа и их сочетание), все способы резки классифицируются на группы, перечисленные в табл. 19. Классификация способов резки разработана К. В. Васильевым (ВНИИАвтогенмаш).

Таблица 19

Классификация способов резки металла

Вид резки	Метод резки	Разновидность резки	Дополнительные характеристики
Кислородная	Беспламенно-кислородный	Автокислородная Горячей трубкой	
	Пламенно-кислородный	Пропано-кислородная Водородно-кислородная	
		Керосино-кислородная	
		Ацетилено-кислородная	
	Электро-кислородный	Контактно-кислородная Индукционно-кислородная	
	Кислородно-флюсовая	Металло-порошковая Кислородно-песочная	
Кислородно-дуговая	Последовательно-струйный	Неплавящимся стержнем Плавящимся стержнем Совмещенным соплом	Виды резки: поверхностная, разделительная, заготовительная, точная, поперечная и др.
	Центрально-струйный	Многоэлектродная Неплавящейся трубкой Плавящейся трубкой	

Вид резки	Метод резки	Разновидность резки	Дополнительные характеристики
Газо-дуговая	Совмещенно-струйный	Плазменно-кислородная, кислородная, плазменно-дуговая	Варианты резки ручная, механизированная, прямолинейная, контурная, автоматическая и пр.
	Плазменной струей (плазменный)	Водо-плазменная Аргоно-плазменная Азотно-плазменная	
	Проникающей дугой (плазменно-дуговой)	Аргоно-водородная Азотно-водородная Водородная	
	Скользщей дугой	Угльно-воздушная (воздушно-дуговая)	
Дуговая	Сквозным проплавлением	Флюсо-дуговая Опирающимся электродом	
	Последовательным проплавлением	Стальным электродом Угльным электродом	

Примечание. В скобках даны упрощенные названия.

Способы резки с использованием электрической дуги имеют ряд преимуществ перед газокислородной и кислородно-флюсовой резкой, что делает целесообразным их применение во многих случаях практики. Так, например, они позволяют резать металлы и сплавы, не разрезаемые кислородом; более безопасны; в ряде процессов дают более высокую производительность резки; допускают использование стандартного электросварочного оборудования, имеющегося в наличии. Из перечисленных в табл. 19 способов кроме кислородной резки в промышленности нашли применение следующие виды резки: дуговая металлическим электродом, дуговая угльным электродом, кислородно-дуговая, воздушно-дуговая, плазменно-дуговая и плазменная. Достаточно широко применяется также плазменная сварка и наплавка.

Способы резки, которые следует применять для различных металлов, указаны в табл. 20.

Таблица 20

Способы резки металлов

Металл	Способ резки				
	плазмен- но- дуговая	газо-кис- лородная	кислород- но- флюсо- вая	дуговая	воздуш- но- дуговая
Алюминий и его сплавы . . .	+	—	—	+	0
Медь и ее сплавы	+	—	0	+	0
Нержавеющая сталь	+	—	+	+	+
Низкоуглеродистая сталь . .	+	+	0	0	+
Чугун	+	—	+	+	+
Магний и его сплавы	+	—	—	—	—
Титан	+	+	0	0	0

Примечание. Условные обозначения: «+» — целесообразный способ резки; 0 — нецелесообразный способ резки; «—» — резка этим способом невозможна.

§ 1. ДУГОВАЯ РЕЗКА

Резка стальным электродом. Применяется при резке углеродистой стали, легированных нержавеющих и других сталей, чугуна и цветных металлов.

Для нержавеющей стали скорость резки составляет: при толщине 6 мм — 315 мм/мин, при 25 мм — 90 мм/мин.

Лучшее качество и более высокую производительность обеспечивает автоматическая дуговая резка проволокой Св-08 под флюсом АН-348А, применяемая для разделки листовой нержавеющей стали толщиной до 30 мм. При использовании проволоки диаметром 4 мм, напряжении дуги 42—44 в и токе 1200 а этим способом режут нержавеющую сталь толщиной 20 мм со скоростью 30 м/ч.

§ 2. КИСЛОРОДНО-ДУГОВАЯ РЕЗКА

Дуга возбуждается между электродом и разрезаемым металлом, нагревая небольшой участок поверхности до его плавления. Одновременно на нагретый участок подают из сопла струю режущегося кислорода. Для резки применяют специальные резакки, например, РГД-1-56 конструкции ВНИИАвтогенмаша, снабженные щитком для защиты резчика от лучей дуги и рычажным клапаном для пуска режущего кислорода. В головке резака имеется направляющая втулка, в которую резчик вставляет электрод при возбуждении дуги для расплавления металла по линии реза.

Схема ручной кислородно-дуговой резки показана на рис. 118.

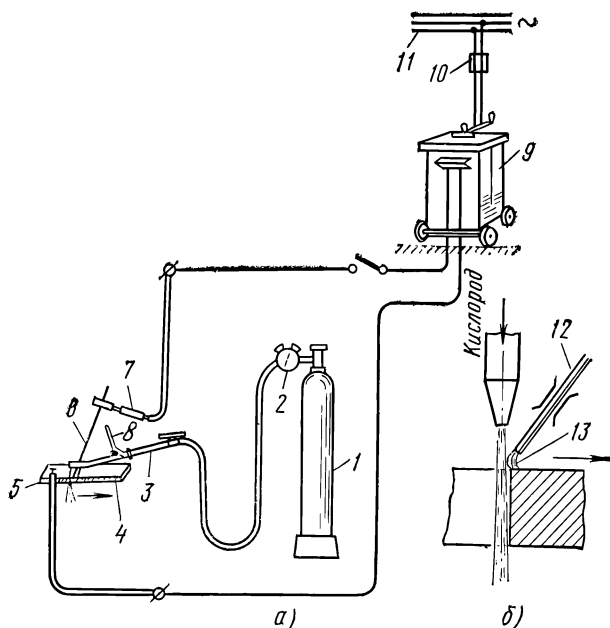


Рис. 118. Схема ручной кислородно-дуговой резки:
 а — схема установки, б — схема расположения электрода и режущего сопла; 1 — баллон с кислородом, 2 — редуктор, 3 — резак, 4 — разрезаемый металл, 5 — контакт, 6 — электрод, 7 — электрододержатель, 8 — щиток, 9 — сварочный трансформатор, 10 — сетевой рубильник, 11 — сеть, 12 — электрод, 13 — дуга

Режимы кислородно-дуговой резки низкоуглеродистой стали стальными электродами следующие:

Толщина стали, мм	10	20	30	40	50
Диаметр электрода, мм	4	4	5	5	5
Ток, а	160	180	220	240	260
Скорость резки, мм/мин	520	430	360	280	200
Расход кислорода, $\text{дм}^3/\text{пог.м}$	100	160	250	330	400

При механизированной кислородно-дуговой резке рациональнее применять угольные электроды, постоянный ток и резак соответствующей конструкции.

§ 3. ВОЗДУШНО-ДУГОВАЯ РЕЗКА

Воздушно-дуговая резка основана на расплавлении металла в месте реза теплом электрической дуги, горящей между угольным или графитизированным электродом и металлом, с непрерывным удалением жидкого металла струей сжатого воздуха. Этот способ применяют при разделительной и поверхностной резке.

Недостатком этого способа является науглероживание поверхностного слоя металла на кромках реза, высокий удельный расход электроэнергии, высокое напряжение холостого хода, создающее опасность при смене электрода, а также более высокая стоимость источников питания постоянного тока.

Резаки для воздушно-дуговой резки по ГОСТ 10796—64 должны отвечать следующей характеристике:

Ток, а	300	500	750	1000	1500
Максимальный вес выплавляемого металла, кг/ч	9,5	16,5	22,5	28,0	40,0
Максимальное давление воздуха, кгс/см ²	6	6	6	8	8
Вес резака, кг	0,6	1,0	—	—	—

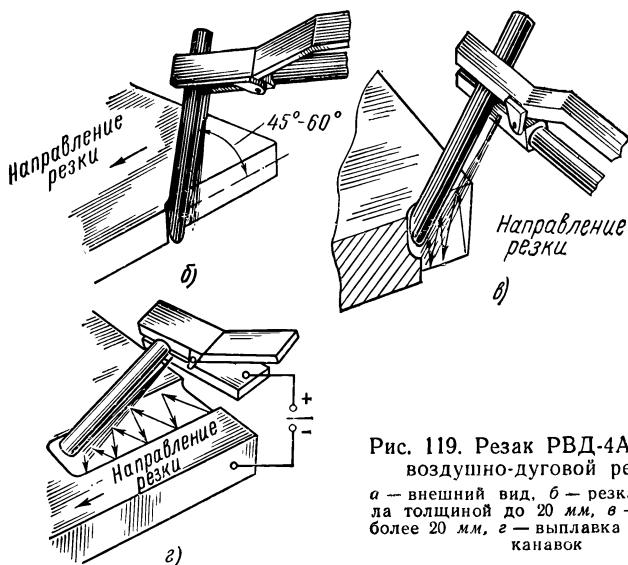
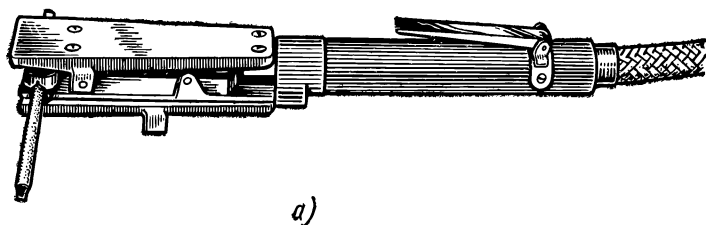


Рис. 119. Резак РВД-4А-66 для воздушно-дуговой резки:

а — внешний вид, б — резка металла толщиной до 20 мм, в — то же, более 20 мм, г — выплавка широких канавок

На рис. 119, а показан универсальный резак РВД-4А-66 для ручной поверхностной и разделительной резки низкоуглеродистой и нержавеющей стали толщиной до 20 мм конструкции ВНИИАвтогенмаша.

Резак имеет рукоятку с рычажным клапаном для подачи сжатого воздуха. Между губками зажимается угольный или графитизированный электрод. К контактно-сопловой части резака сделаны отверстия, через которые выходит сжатый воздух, подводимый в резак под давлением 5—6 кгс/см² по шлангу. Струи воздуха выдувают расплавленный металл из разреза.

Положение резака при разделительной или поверхностной резке показано на рис. 119, б, в и г. Расстояние от губок до нижнего конца (вылет) электрода не должно превышать 100 мм. По мере обгорания электрод выдвигают из губок вниз. Ширина канавки при резке превышает диаметр электрода на 1—3 мм. Поверхность металла в месте разреза получается ровной и гладкой.

Для механизированной и воздушно-дуговой поверхностной резки применяется полуавтомат ПВД-2-67 конструкции ВНИИАвтомаша.

Полуавтомат состоит из режущей головки, с помощью которой угольный (графитизированный) электрод подается вниз для возбуждения и поддержания горения дуги, а также создается струя воздуха для удаления расплавленного металла. Головка установлена на тележке,двигающейся по направляющему рельсу. Головка съемная и может устанавливаться на других транспортирующих устройствах, имеющих соответствующие пределы изменения скоростей. Для управления процессом резки полуавтомат оснащается переносным пультом управления и передвижным шкафом с пускорегулирующей и контрольно-измерительной аппаратурой.

Техническая характеристика полуавтомата ПВД-2-67 следующая:

Ток, а	до 600	Давление воздуха, кгс/см ²	4—6
Глубина канавки, мм	до 15	Расход воздуха, м ³ /ч	30
Скорость передвижения тележки, мм/мин	250—1200	Количество выплавляемого металла, кг/ч	20
Скорость подачи электрода, мм/мин	20—120	Вес головки, кг	3,5
Диаметр омедненного электрода, мм	6—16		

Род тока и полярность при воздушно-дуговой резке выбирают, руководствуясь данными, приведенными в табл. 21.

В качестве источников питания постоянным током рекомендуется использовать преобразователи и выпрямители повышенной мощности, допускающие применять ток до 400—500 а. При резке на переменном токе для повышения устойчивости горения дуги необходимо применять осциллятор. При отсутствии осциллятора приходится работать на повышенном напряжении холостого хода, пользуясь последовательным соединением трансформаторов. Можно также работать на повышенной токовой нагрузке, применяя параллельное соединение двух однотипных сварочных трансформаторов. Последний способ обеспечивает лучшее качество кромок реза.

В качестве электродов применяют угли, выпускаемые по ГОСТ

Род тока и полярность при воздушно-дуговой резке

Разрезаемый металл	Ток	Полярность	Примечание
Сталь углеродистая и легированная нержавеющая	Постоянный	Обратная	Допускается переменный, но при снижении производительности
Алюминий, латунь, бронза Чугун	Постоянный или переменный Переменный	Прямая —	— Допускается постоянный, прямой полярности, но при снижении производительности

10729—64, диаметром 6; 8; 10 и 12 мм. Снаружи углы покрыты слоем меди толщиной 0,18—0,25 мм. Длина стержней 300 мм.

Воздушно-дуговым способом разрезают углеродистые и легированные стали, чугуны, латуни и трудноокисляемые сплавы толщиной 5—25 мм; вырезают дефектные участки сварных швов, срезают заклепки, пробивают отверстия, отрезают прибыли стального литья, выплавляют литейные пороки и пр.

Диаметр электрода выбирают в зависимости от толщины разрезаемого металла, а именно:

Толщина металла, мм	5	10	12	25
Диаметр электрода, мм	6	8—10	10—12	12

Режимы разделительной резки следующие:

Диаметр электрода, мм	6	8	10	12
Ток, а:				
постоянный, обратной полярности	270—290	370—390	470—480	560—580
переменный	—	—	450—500	550—600

Для поверхностной резки применяют следующие режимы:

Диаметр электрода, мм	6	8	10
Ток, а	240—290	350—420	410—500
Глубина канавки, мм	8—14	12—16	9—8
Ширина канавки, мм	8—9	10—11	12—13
Скорость резки, мм/мин:			
малоуглеродистой стали	300—500	300—500	300—500
нержавеющей стали 1X18H9T	390—640	390—640	390—640

§ 4. ПЛАЗМЕННО-ДУГОВАЯ РЕЗКА (СЖАТОЙ ДУГОЙ)

Сущность процесса. Плазменно-дуговая резка основана на способности сжатой дуги глубоко проникать в металл, проплавляя его. Частицы расплавленного металла удаляются из разреза газовым потоком дуги. Интенсивность проплавления тем выше, чем больше мощность дуги. При перемещении мундштука происходит

сквозное проплавление металла в виде узкой щели. Электрод присоединяется к отрицательному, а разрезаемый металл — к положительному (прямая полярность) полюсам источника постоянного тока.

Положительными свойствами процесса плазменно-дуговой резки являются: высокая скорость резки тонкого металла (до 20 мм); возможность резки различных материалов на одном и том же оборудовании; отсутствие необходимости в использовании

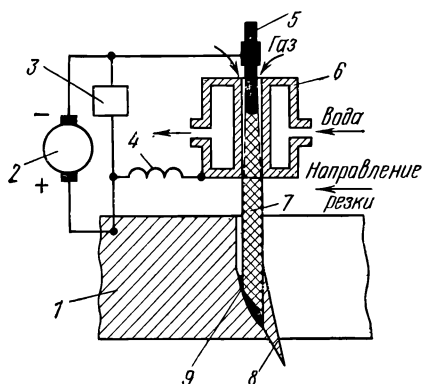


Рис. 120. Схема процесса плазменно-дуговой резки (сжатой дугой)

лей чугуна, магниевых и титановых сплавов.

Наиболее экономична резка алюминиевых и магниевых сплавов, меди и высоколегированных сталей, которые не режутся кислородом.

Схема процесса резки сжатой дугой приведена на рис. 120.

Электрическая дуга 7 постоянного тока образуется между неплавящимся вольфрамовым электродом 5 и разрезаемым металлом 1. Электрод расположен внутри медного охлаждаемого водой мундштука 6, в канал которого подается под давлением плазмообразующий газ; аргон, азот, водород или их смеси, воздух*. Струя газа сжимает слоб дуги, придавая ей вытянутую форму и обеспечивая устойчивость (стабилизирует дугу).

Для возбуждения дуги, горящей между электродом и металлом, используется вспомогательная (дежурная) дуга между электродом 5 и мундштуком 6. Ток, обеспечивающий горение вспомогательной дуги, от сварочного генератора 2 к мундштуку 6 подводится через добавочное сопротивление 4. Для облегчения зажигания дуги и повышения устойчивости ее горения используется осциллятор 3.

* Исследованиями ВНИИАвтогенмаша установлено, что применять гелий при резке в качестве плазмообразующего газа экономически невыгодно, так как его расход выше, чем аргона или азота, а для возбуждения дуги в среде гелия требуется более высокое напряжение.

Струя плазмы имеет высокую скорость истечения и оказывает механическое действие, удаляя из места реза расплавляемый ею металл. В металле 1 образуется полость реза, по стенке которого опускается активное пятно 9 дуги. При перемещении резака по направлению резки пятно 9 остается на лобовой стенке реза и вместе со столбом плазменной 7 и факелом 8 струи плазмы обеспечивает проплавление металла по всей толщине при одновременном удалении из полости реза расплавленного и испаренного металла.

Электроды изготовляют из лантанированного вольфрама ВЛ-15 (СТУ-45-ЦМ-1150—63), или с катодными вставками из циркония. Сопла изготовляют их хромоникелевой бронзы или меди. При обеспечении хорошей вытяжной вентиляции вместо лантанированного ВЛ-15 можно применять торированный (с добавкой элемента тория) вольфрам ВТ-15 по ТУ МРТП НИО-021-612. При обдувке дуги активными газами, без газовой защиты электрода, в качестве последнего используют графитовые стержни. При резке в аргоно-водородных смесях расход вольфрама примерно равен 0,01 г/мин, а при резке в смесях азота, содержащих 0,5% кислорода, — 0,05 г/мин.

Плазмообразующие газы. Применяют химически неактивные и активные к металлу плазмообразующие газы и смеси. К химически неактивным относятся: чистый аргон состава А по ГОСТ 10157—62; технический азот 1-го сорта по ГОСТ 9293—59; смеси аргона с водородом техническим 1-го сорта по ГОСТ 3022—70; аммиак. К химически активным — воздух и кислородно-азотные смеси; вода (в виде пара).

Резку алюминия и его сплавов толщиной до 20 мм производят в азоте; при толщине 20—100 мм применяют смесь из 65—68% азота и 32—35% водорода. При содержании водорода выше 38% поверхность реза ухудшается. Для ручной резки содержание водорода можно снижать до 20%, так как в этом случае легче поддерживать дугу при изменении расстояния между мунштуком и металлом. Алюминиевые сплавы толщиной 20—100 мм можно разрезать в аммиаке или только в азоте, но процесс в последнем случае необходимо вести при токе 700—1000 а. При резке алюминия и его сплавов толщиной от 4 до 80 мм для получения особо чистого реза используют смесь 30—35% водорода и 65—70% аргона. При резке металла толщиной 20—70 мм можно применять смесь из 40—45% аргона и 55—60% аммиака. В случае применения способа дополнительной стабилизации дуги вихревым потоком воздуха разрезать алюминий и его сплавы при токе 700 а можно на смеси 10% аргона и 90% водорода. При толщине металла от 5 до 50 мм применяют также один сжатый атмосферный воздух.

Резку нержавеющей сталей толщиной до 20 мм в тех случаях, когда кромки реза должны быть стойкими против межкристаллитной коррозии, можно производить на азоте, нержавеющей стали толщиной 20—50 мм следует резать смесью из 50% азота и 50% водорода. При скоростной безгратовой резке нержавеющей

щих сталей следует применять смесь из 75—80% кислорода и 20—25% азота. В этом случае азот протекает вдоль вольфрамового электрода и защищает его от окисления. При отсутствии указанных смесей резку нержавеющей сталей можно вести в аргоно-водородной смеси (16—17% водорода), аргоно-азотной смеси (50% азота); при дополнительной стабилизации дуги воздухом можно применять аргоно-водородную смесь с 10% аргона и азотно-воздушную смесь, содержащую 50% азота и 50% воздуха. При толщине нержавеющей стали от 5 до 45 мм применяют также один атмосферный воздух.

При резке низкоуглеродистых сталей толщиной до 40 мм целесообразно применять кислородно-азотную смесь с содержанием азота от 25—60%, который защищает вольфрамовый электрод от окисления. При необходимости можно резать сталь только в азоте. Для резки стали толщиной от 5 до 50 мм применяют также один атмосферный воздух.

Для резки меди и ее сплавов применяют азот, при дополнительной стабилизации дуги воздухом используют аргоно-водородную смесь, содержащую 10% аргона, используют также один атмосферный воздух.

Ниже указаны примерные значения максимальной толщины резки различных металлов в зависимости от напряжения дуги.

Рабочее напряжение, в	70—75	130—150	200—250
Максимальная толщина, мм:			
алюминия и его сплавов	25	100	300
сплавов железа, латуни, ...			
бронзы	20	75	200
меди	15	50	100

Величина тока определяется видом и толщиной разрезаемого металла и обычно лежит в пределах 200—800 а.

Устойчивый процесс плазменно-дуговой резки возможен при определенных соотношениях тока и диаметра сопла. Например, при длине сопла 2,5—4 мм принимается

Рабочий ток а, ...	350—400	400—500	700—1000
Диаметр сопла, мм	4,5	5	6—8

Плазменно-дуговой резкой можно резать пакеты листов. Например, пакет из 31 листа хромоникелевой стали толщиной по 0,85 мм режется дугой мощностью 17 кВт со скоростью 38 м/мин. Возможна резка пакетов из листов разных металлов. Для резки пакетов толщиной до 120 мм применяют мощность до 100 кВт.

Источники питания. Для питания дуги применяют или однопостовые сварочные преобразователи ПСО-500 на 500 а, включаемые последовательно 2—3 шт. на одну дугу, или сварочные выпрямители ВКС-500-1 по 500 а, также включаемые последовательно. Используются также специальные источники питания плазменной дуги ИПГ-500-1 на 600 а, выпрямители ВДГ-502 на 500 а и др. При последовательном соединении источников питания общее напряжение повышается пропорционально числу источников (напри-

мер, при 2 шт. по 90 в имеем $2 \cdot 90 = 180$ в), позволяет увеличивать толщину резки.

Скорость резки. Скорость ($м/ч$) плазменно-дуговой резки можно определить по формуле

$$W = \frac{M K N}{\delta (0,5 + 0,05\delta)},$$

где N — мощность дуги, $квт$;

K — коэффициент, учитывающий перегрев металла и энергопотери в дуге;

δ — толщина металла, $см$;

M — коэффициент, учитывающий вид металла: для алюминия и его сплавов $M=5,03$; сталей $M=0,95$; меди и латуни $M=2,49$.

По этой формуле получаются скорости, близкие к максимальным для прямолинейной машинной резки. Для фигурной чистовой резки скорости в 2—3 раза, а для ручной — в 1,5—2 раза ниже по сравнению с полученными расчетом. Значения коэффициента K приведены ниже.

Плазмообразующий газ

Металл	Азот	Азот+ водород	Азот+ кислород	Азот+ аргон	Аргон+ водород	Аргон+ водород и воздух
Алюминий и его сплавы	0,85	0,6	—	—	0,75	—
Медь	0,42	—	—	—	0,2	0,55
Латунь и бронза	0,56	—	—	—	—	—
Нержавеющая сталь . .	1,4	1,5	3,5	1,5	1,45	1,83
Низкоуглеродистая сталь	1,3	—	1,7	—	—	—

Скорость резки изменяют регулированием величины тока источника питания. Она быстро уменьшается с возрастанием толщины металла, что сопровождается одновременным увеличением ширины реза. При ручной резке равномерное ведение процесса возможно при скорости до 2 $м/мин$. При механизированной резке скорость может достигать 7—8 $м/мин$ (для алюминия) без нарушения устойчивости процесса.

Режимы резки. Режимы плазменно-дуговой резки рекомендуются подбирать опытным путем в соответствии с условиями производства и требованиями к производительности и качеству резки. Ниже для ориентировки приведены некоторые режимы резки.

Примерные режимы прямолинейной механизированной резки алюминия и нержавеющей стали даны в табл. 22. При фигурной или ручной резке скорость резки составляет 30—50% от указанных в таблице. Скорость ручной резки не должна превышать 90—120 $м/ч$.

При плазменно-дуговой механизированной резке нержавеющей и низкоуглеродистых сталей и стабилизации дуги сжатым атмосферным воздухом Институт электросварки им. Е. О. Патона рекомендует режимы, приведенные в табл. 23.

Режимы плазменно-дуговой резки

Металл	Толщина, мм	Ток, а	Напряжение, в	Газ	Расход газа, м³/ч	Скорость резки, м/ч	Диаметр сопла, мм
Алюминий и его сплавы	5	340—360	68—70	Азот	5,7	408—432	4,5
	10	340—360	68—70	Азот	4,8	264—282	4,5
	20	495—510	86—93	35% водорода и 65% азота	2,1—3,0	132—138	5
	40	470—480	93—110	То же	2,1—3,0	45—48,6	5
	60	850	112	37,5% водорода 62,5% азота	5,76	57	8
	100	850	140	То же	5,76	30	8
Нержавеющая сталь	5	320—330	73—75	Азот	2,16—2,28	126—132	3
	10	380	80	То же	3,0	138	4
	20	400	76	»	3,9	24,6	5
	40	420—425	83	»	3,0	15,6	5

Оборудование для плазменно - дуговой резки. Плазменно-дуговая резка производится вручную и с помощью газорезательных машин, обеспечивающих необходимую скорость перемещения плазменно - дугового резака: от 50 до 4000 мм/мин для легких и от 50 до 10 000 мм/мин для тяжелых машин.

ВНИИАвтогенмаш разработана универсальная аппаратура «Плазморез» для ручной плазменно-дуговой резки, состоящий из трех комплектов. Комплект КПД-1 с резаком РДП-1 рассчитан на ток 400 а и предназначен для резки алюминия толщиной до 80 мм, нержавеющей стали до 60 мм и меди до 40 мм с использованием аргона, азота и водорода; комплект КПД-2 с резаком РДП-2 на 300 а предназначен для резки алюминия до 50 мм, нержавеющей стали до 40 мм и меди до 25 мм с использованием тех же газов: он допускает работу на монтаже и открытом воздухе при любых температурах, так как резак имеет воздушное охлаждение. Комплект КПД-3 с резаком РДП-3 на 300 а предназначен для резки

алюминия до 30 мм, нержавеющей стали до 25 мм, меди до 15 мм и рассчитан на применение в качестве плазмобразующего газа воздуха давления 2,5—4 кгс/см². Источником питания для всех комплектов служат выпрямители ВДГ-501 (2 шт.), включенные последовательно, что обеспечивает напряжение холостого хода 180 в.

Таблица 23

Режимы плазменно-дуговой механизированной резки

Толщина металла, мм	Ток, а	Напряжение дуги, в	Скорость резки, мм/мин	
			стали 1Х18Н9Т	стали Ст3
5—10	100	160	1200—500	1000—400
10—20	200	160	1000—500	800—350
20—30	300	170	700—600	550—400
30—40	300	175	600—500	400—350
40—50	300	180	500—450	350—300
Расход воздуха 2—3 м ³ /ч				

Аппаратура для плазменно-дуговой резки подразделяется на четыре типоразмера, а именно:

Типоразмер	ПлД-Р1	ПлД-Р2	ПлД-М2	ПлД-М3
Номинальное напряжение, в . .	90	180	180	500
Максимальная мощность, квт .	40	80	Не регламентируется	
Способ перемещения	Ручной	Ручной	Механизированный	
Максимальная — скорость перемещения, м/мин	—	—	4	10
Максимальная толщина резки, мм	25	100	100	300

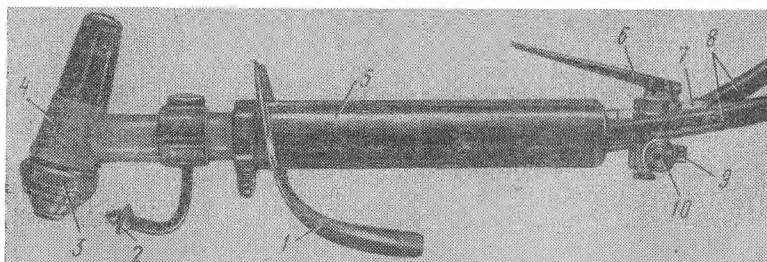


Рис. 121. Резак РДМ-2-66 для плазменно-дуговой резки:

1 — щиток, 2 — опорный ролик, 3 — мундштук, 4 — головка, 5 — рукоятка, 6 — рычажный клапан подачи водорода, 7 — штуцер подвода водорода, 8 — шланги подвода и отвода воды, 9 — штуцер подвода аргона, 10 — вентиль аргона (кабель подвода тока к головке резака расположен в водоотводящем шланге)

На рис. 121 показан резак РДМ-2-66 для ручной плазменно-дуговой резки, соответствующий типоразмеру ПлД-Р1. При оснащении коллектором и источником питания с напряжением холостого хода 180 в он может быть использован в качестве аппарата, соответствующего типоразмеру ПлД-Р2. Он пригоден для резки на смесях: аргон-водород, азот-водород, азот и др. Толщина резки: алюминия и его сплавов — до 25 мм; нержавеющей сталей — до 20 мм; меди и ее сплавов — до 30 мм. Максимальное напряжение холостого хода — 90—180 в, ток до 400 а.

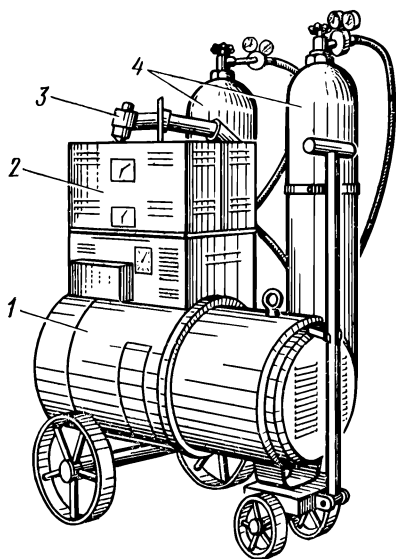


Рис. 122 Установка УРПД-67 для плазменно-дуговой резки:

1 — сварочный преобразователь ПСО-500, 2 — шкаф автоматики, 3 — плазменно-дуговой резак, 4 — баллоны с газами

К типоразмерам ПлД-Р2 и ПлД-М2 относится установка УРПД-62 завода «Автогенмаш» (Одесса), выпускаемая серийно и предназначенная для плазменно-дуговой резки цветных металлов, сплавов и нержавеющей сталей средней толщины в аргоно-водородной или азотно-водородной смеси. Общий вид установки показан на рис. 122; схема — на рис. 123. Техническая характеристика установки УРПД-67 следующая:

Максимальная толщина металла, разрезаемого вручную, мм:

алюминия — 60, нержавеющей стали — 50, сплавов меди — 35, меди — 25;

то же, при машинной резке:

алюминия — 80, нержавеющей стали — 60, меди — 30, сплавов меди — 40;

Допускаемый ток, а 450

Напряжение холостого хода, в 160—180

Максимальный расход, м³/ч:

аргона — 3, водорода — 1,5, азота — 5,5, кислорода — 6,5, воздуха — 5,5, охлаждающей воды (л/мин) — от 3 до 10

В качестве источника питания применяются два преобразователя ПСО-500, включенные последовательно. Шкаф управления размещен на преобразователе ПСО-500 и включает в себя пульт управления подачей газов, осциллятор, водораспределительный пульт, газовые клапаны, манометры, вентили, смесительный бачок для газов, клапан расхода воды, балластное сопротивление, водоохлаждаемые контакты и соединительные трубки, расходомеры. Балластное сопротивление 0,4—0,5 ом в цепи дежурной дуги обеспечивает разность потенциалов между электродом и разрезаемым металлом (переход дежурной дуги в рабочую). Смеситель газов

обеспечивает медленное насыщение водородом плазмообразующей смеси после возбуждения рабочей дуги. Замедление нарастания рабочего тока после возбуждения режущей дуги происходит за счет

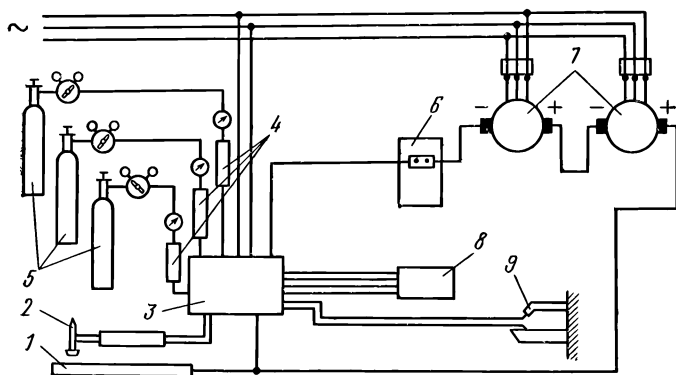


Рис. 123. Схема установки УРПД-67:

1 — металл, 2 — резак, 3 — шкаф автоматики, 4 — ротаметры, 5 — баллоны с газами, 6 — балластный реостат, 7 — источник питания током, 8 — осциллятор, 9 — подвод и слив охлаждающей воды

использования индуктивности обмоток возбуждения генератора при подаче на них заданного напряжения и исключает двойное дугообразование.

Резак для ручной резки снабжен тележкой. Головка резака (рис. 124) имеет наружный кожух 1, укрепляемый накидной гайкой 2 к корпусу, залитому эпоксидным компаундом (или стиракрилом).

Вольфрамовый электрод 4 зажат зажимом 3 в верхнем корпусе, в который по трубке 5 подводится плазмообразующий газ, а по двум другим трубкам — охлаждающая вода и ток. Плазменная струя вытекает через мундштук 6. Дежурная дуга горит между мундштуком 6 и электродом 4. Водяной клапан-расходомер (рис. 125) включает установку только при расходе 5 л/мин охлаждающей воды. При таком расходе воды толкатель 3 вытягивается из седла кольца 1 давлением воды на мембрану 2 и включает установку с помощью микровыключателя 4. Этот кла-

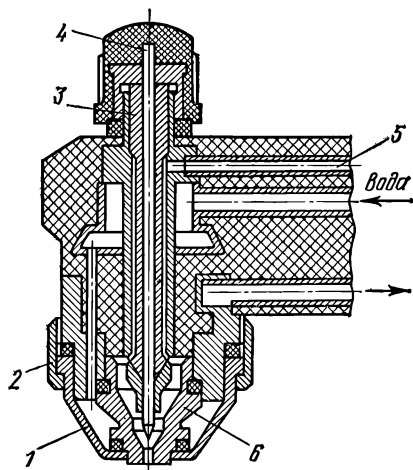


Рис. 124. Головка резака установки УРПД-67:

1 — кожух, 2 — гайка, 3 — цанговый зажим, 4 — электрод, 5 — трубка, 6 — мундштук

пан делает невозможным включение установки в работу без поступления в резак охлаждающей воды в нужном количестве.

Для механизированной полуавтоматической разделительной плазменно-дуговой резки ВНИИАвтогенмашем разработан полуавтомат ППД-1-65 (рис. 126), соответствующий типоразмеру ПЛД-М2. Прямолинейная резка производится по направляющему

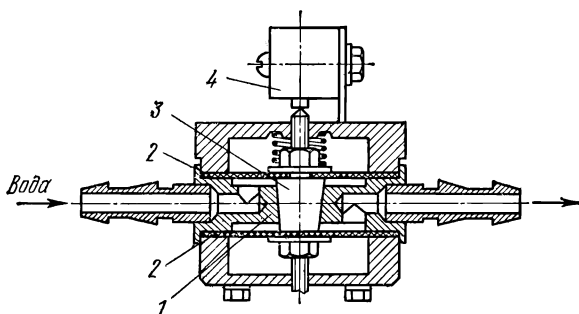


Рис. 125. Водяной клапан-расходомер установки УРПД-67:

1 — кольцо, 2 — мембрана, 3 — клапан, 4 — микровыключатель

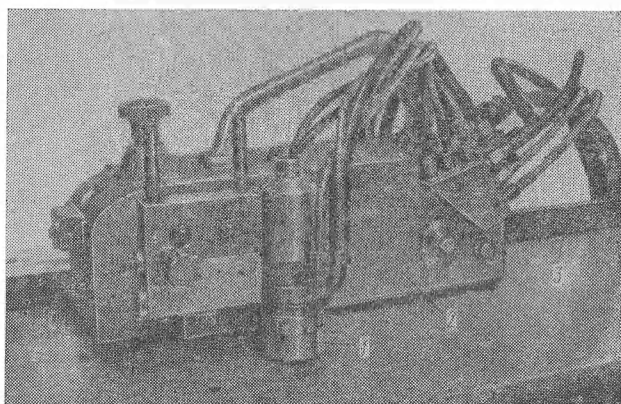


Рис. 126. Полуавтомат ППД-1-65 для плазменно-дуговой резки:

1 — резак, 2 — ходовая тележка, 3 — направляющий рельс

уголку или гибкому рельсу, резка по окружности — с помощью циркульного устройства, направление резки по кривым осуществляется рукой. В комплект полуавтомата входят: ходовая тележка с резак и переносным пультом управления, а также шкаф управления и контроля. Для резки применяют источник тока с крутопадающей характеристикой. Технические данные ППД-1-65 следующие:

Толщина разрезаемого металла, мм	5—100
Ток, а	300—500
Напряжение, в:	
холостого хода	180
рабочее	75—120
Диаметр вольфрамового электрода, мм	5
Расход охлаждающей воды, л/мин	6—8
Скорость перемещения тележки, мм/мин	40—400

Применяются также установки УПР-502 для плазменно-дуговой резки цветных металлов и высоколегированных сталей толщиной до 150 мм. Эта установка состоит из источника питания ИПГ-500-1, прямоугольно-координатной машины СГУ-1-60, плазменной режущей головки Т-12-1 и шкафа управления. Рабочее напряжение до 200 в номинальный рабочий ток 500 а, пределы регулирования рабочего тока 200—600 а, скорость резки 3—90 м/ч.

Направление резака по контуру вырезаемой детали производится магнитной головкой, палец которой катится по железному копиру.

Институтом электросварки им. Е. О. Патона разработан аппарат АВПР-1 для воздушно-плазменной резки металлов. В нем использован водоохлаждаемый неплавящийся электрод с циркониевой вставкой, на которой располагается катодное пятно сжатой темги. Термостойкость циркония, имеющего сравнительно низкую температуру плавления (1800°С), очевидно обусловлена образованием на катоде тугоплавкой пленки из окислов и нитридов циркония, которая защищает металл электрода от испарения. При температурах катода, близких к температуре плавления этой пленки (2800°С), она становится электропроводной. Циркониевая вставка катода запрессована в медную обойму и обеспечивает работу резака (плазмотрона) в течение нескольких десятков часов без замены электрода.

Сжатие дуги осуществляется вихреобразной струей сжатого воздуха. Напряжение эффективно сжатой воздушной режущей дуги составляет 150—170 в. Поскольку предельное напряжение холостого хода для ручной плазменной резки ограничивается величиной в 180 в — аппарат АВПР-1 предназначен только для использования при машинной плазменно-дуговой резке следующих металлов: стали Х18Н9Т до 45 мм, алюминиевого сплава АМц до 50 мм, меди М1 до 25 мм, стали Ст3 до 50 мм. Ток дуги при резке стали Х18Н9Т и сплава АМц равен 300 а, при резке меди — 280 а и при резке стали Ст3 — 320 а. Скорость резки указанных металлов равна 21 м/ч.

На основе работ ИЭС им. Е. О. Патона Одесским заводом «Автогенмаш» разработана установка «Киев» для воздушно-плазменной резки. Сжатие дуги осуществляется вихреобразной струей воздуха давлением 3—4 кгс/см². Установка комплектуется резаком ВПР-7 и тремя трансформаторами СТШ-500, включаемыми последовательно. Технические данные установки следующие:

Рабочий ток (три ступени), <i>a</i>	100, 200, 300
Режим работы ПВ, %	100
Напряжение холостого хода, <i>в</i>	320
Потребляемая мощность, <i>квa</i>	90
Мощность резака, <i>квт</i>	50
Расход, <i>м³/ч</i> :	
воздуха	2—3
воды	1

Установку «Киев» рекомендуется применять для резки крупногабаритных деталей, так как при резке мелких изделий стойкость катода, определяемая числом включений, снижается.

Для машинной плазменно-дуговой резки ВНИИАвтогенмаш разработана шарнирная машина АСШ-4 типа МПЛ-1 с магнитным копирующим пальцем. Машина снабжена пантографическим устройством, что позволяет получать заготовки в точном соответствии с шаблоном в том случае, когда ось резака не совпадает с осью магнитного пальца. Размеры обрабатываемых листов 1000×1000 или 750×1000 мм; толщина разрезаемого алюминия до 80 мм, скорость резки 100—4000 мм/мин, ток 450 а. В качестве источника питания используется установка УРПД-67 для плазменно-дуговой резки.

Кроме описанных установок в промышленности применяются и другие, разработанные различными предприятиями и организациями для соответствующих производств. К таковым, например, относятся достаточно широко используемые установки для плазменно-дуговой резки типа ОПР-6 с источником питания ИПГ-500 и другие.

Тбилиским филиалом ВНИИЭСО разработана установка УПР-401 для водозлектрической резки металла. В этой установке в качестве плазмообразующей среды применяется вода, подаваемая в резак под давлением 3—3,5 кгс/см², в количестве 8—9 л/мин. Установка рассчитана на работу током от 200 до 500 а при напряжении холостого хода 300 в. Установка УПР-401 может резать алюминиевые сплавы и нержавеющую сталь толщиной 20—70 мм. Электродом в данном случае является графитизированный стержень.

Микроплазменная резка. Производится плазменной дугой прямого действия малой мощностью (ток менее 100 а, напряжение до 220 в). Такая дуга имеет форму острой иглы, направленной острием на разрезаемый металл. Особенно эффективна при фигурном раскрое тонкого листового металла, заменяя трудоемкую малопродуктивную механическую резку ножницами и фрезами. Она заменяет также кислородную резку тонкого металла в случаях, когда нельзя получить нужную точность и качество реза вследствие короблений листа, шлаковых включений на кромках и прочих причин. Микроплазменная резка используется также для вырезки миниатюрных элементов из фольги, сеток, для раскроя неметаллических материалов — тканей, бумаги, пластика, картона и пр.

Институт электросварки им. Е. О. Патона разработал аппарат АВПР-3 для микроплазменной резки с вихревой стабилизацией дуги сжатым воздухом. Аппарат предназначен для резки алюминия и сталей толщиной 1—10 мм, при токе 20—100 а, напряжении 210—220 в. Электрод снабжен циркониевой вставкой, стойкой в среде воздуха. Диаметры сопла 0,8—1,4 мм. Аппарат создан на базе серийно выпускаемого сварочного выпрямителя ВСС-300-3 или ВД-301. Режимы микроплазменной резки даны в табл. 24.

Таблица 24

Режимы микроплазменной резки

Металл	Толщина, мм	Ток, а	Напряжение, в	Скорость резки, мм/мин	Расход воздуха, л/мин	Диаметр сопла, мм	Ширина реза, мм	
							сверху	снизу
Алюминиевый сплав Д16	1	20	130	4000	6,7	0,8	1,2	1
	1,5	25	125	3000	7,5	0,8	1,3	1,1
	3	50	100	2600	8,3	1,0	1,8	1,4
	5	70	100	3000	10,9	1,4	2	1,5
Алюминий	5	70	100	2700	13,3	1,4	2	1,5
	10	100	105	1600	13,3	1,4	2,5	1,6
Титан	5	100	95	2600	13,3	1,4	1,9	1,3
Медь	2	50	120	1000	8,3	1,0	2	1,3
Сталь нержавеющая X18H10T	1,2	65	105	2500	10,0	1,0	1,4	1
	4,5	70	110	1900	10,0	1,4	1,8	1,2
Сталь 3	1,2	50	100	2900	10,0	1,0	1,4	1,1
	1,5	50	100	2500	5,0	1,0	1,2	1

Дефекты плазменно-дуговой резки. При неправильном режиме резки, применении несоответствующего плазмообразующего газа и других причин возникают дефекты, выражающиеся в скруглении верхних кромок, зашлаковании кромок, подрезах, шероховатости и пр. В табл. 25 приведены наиболее типичные дефекты резки и их причины.

Зона термического влияния. В результате теплового воздействия дуги при плазменно-дуговой резке на кромках разрезаемого металла образуется зона термического влияния. Эта зона состоит из двух участков: внешнего, из литого металла, и внутреннего, с измененной структурой основного металла. Глубина зоны влияния зависит от состава и толщины разрезаемого металла, мощности режущей дуги, скорости резки, состава и расхода плазмообразующего газа. Величина зоны влияния может изменяться по толщине реза. При резке нержавеющей стали X18H9T толщиной до 50 мм глубина зоны влияния не превышает 1,5—2 мм, при резке низкоуглеродистой и низколегированной стали той же тол-

Дефекты плазменно-дуговой резки

Вид дефекта	Нержавеющая сталь	Низкоуглеродистая сталь	Алюминий и его сплавы
	Причины дефектов		
Скругление верхних кромок	Слишком велики скорость резки и расстояние между соплом и металлом		Наблюдается редко
Зашлакование верхних кромок	Велико расстояние между соплом и металлом; неоптимальное содержание водорода в смеси	Велико расстояние между соплом и металлом	
Верхняя часть кромок шероховатая	Неоптимальное содержание водорода в смеси, большое расстояние сопла от металла, высокая скорость резки	Встречается редко	Недостаток водорода в смеси
Скошена кромка вверх	Высокая скорость резки и большое расстояние между соплом и металлом		Высокая скорость резки и недостаток водорода в смеси
Скошена кромка вниз	Встречается редко		Избыток водорода в смеси
Верхняя кромка подрезана	Избыток водорода в смеси		Низкая скорость резки и недостаток водорода в смеси
Нижняя кромка подрезана	Имеет место при режимах, близких к нормальным	Случается редко, при малом расстоянии от сопла до металла	Случается редко
Вогнутая поверхность реза	Низкая скорость резки, избыток водорода в смеси	Случается редко	
Выпуклая поверхность реза	Высокая скорость резки, недостаток водорода в смеси	Высокая скорость резки	Случается редко
Закруглены нижние кромки	Случается редко	Высокая скорость резки	Случается редко

Вид дефекта	Нержавеющая сталь	Низкоуглеродистая сталь	Алюминий и его сплавы
	Причины дефектов		
Низ зашлакован	Слишком высокая скорость резки, избыток водорода в смеси		Высокая скорость резки
Нижняя часть реза шероховатая	Случается редко	Мало расстояние от сопла до металла	Недостаток водорода в смеси

щины — глубина зоны влияния составляет до 6—7 мм, для алюминиевых сплавов — до 3 мм. С уменьшением толщины резки глубина зоны влияния понижается, и, например, для стали X18H9T толщиной 20 мм не превышает 0,05—0,2 мм.

§ 5. ПЛАЗМЕННАЯ РЕЗКА

Данный способ отличается от плазменно-дуговой резки тем, что разрезаемый металл не включен в цепь дуги и резка материала производится косвенной дугой, имеющей кинжалообразную форму (рис. 127, а).

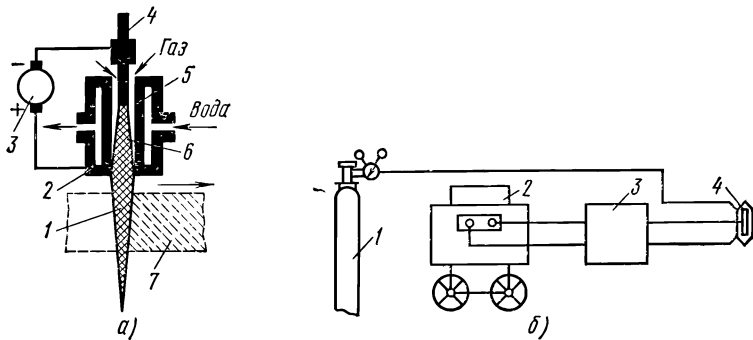


Рис. 127. Плазменная резка:
а — схема процесса, б — схема установки

Постоянный ток от источника 3 подводится: минус — к вольфрамовому электроду 4, конец которого заточен на конус, плюс — к формирующему дугу 6 медному соплу 2. Под действием потока газа (аргона, азота, водорода или их смесей), продуваемого через мундштук 5, образуется кинжалообразный язык плазмы 1, используемой для проплавления разрезаемого материала 7. Мундштук 5 и совмещенное с ним сопло 2 охлаждаются водой. Установка для

резки (рис. 127, б) состоит из баллона 1 с рабочим газом, источника постоянного тока 2, распределительного устройства 3 с аппаратурой управления процессом и резака 4.

При резке нержавеющей стали толщиной 5 мм, током 300 а, с использованием смеси из 80% аргона и 20% азота скорость резки достигает 65 м/ч. Резку ведут при минимальном зазоре между соплом и металлом, в некоторых случаях даже касаясь торцом сопла поверхности металла. Рез получается очень узкий, равныйверху диаметру канала сопла. В нижней части ширина реза меньше, чем в верхней. Дугу возбуждают кратковременным касанием концом электрода кромок сопла, для чего в головке имеется устройство для осевого перемещения электрода вниз. Сначала в мундштук пускают газ, затем опусканием электрода возбуждают дугу. В первоначальное положение электрод возвращается под действием пружины. Резка выполняется ручным способом или на резательных машинах, применяемых для плазменной резки.

Плазменная резка преимущественно используется для резки металлов сравнительно небольшой толщины (3—5 мм) и неэлектропроводных материалов. При плазменной резке нержавеющей стали толщиной 0,5—3 мм для получения узкого чистого реза необходима плазменная струя с высокой концентрацией энергии в сопле. Поэтому используют сопла с узким каналом, диаметром 1 мм и длиной 5 мм. В качестве плазмообразующего газа служат аргоно-азотные смеси. Скорость резки должна быть максимальной, при которой обеспечивается прорезаемость и отсутствуют шлаки с обратной стороны реза. Режимы резки следующие:

Толщина металла, мм	0,5	1,5	2	3
Ток, а	75	100	110	125
Напряжение дуги, в	22	25	27	29
Скорость резки, м/мин	1,5	1,2	1	1
Расход газов, л/мин:				
аргона	9	8	7	6
азота	2	3	4,5	5
Ширина реза, мм	0,7	1	1,15	1,2
Длина дуги, мм	2,5	1,8	1,2	1

§ 6. ПЛАЗМЕННАЯ СВАРКА И НАПЛАВКА

Плазменная сварка. Плазменная дуга используется также при сварке и наплавке. Основными преимуществами плазменной дуги являются: устойчивость дугового разряда, высокая концентрация тепловой энергии, возможность широкого регулирования технологических свойств дуги путем изменения параметров ее горения (напряжения, тока, рода газа, скорости истечения и др.). Вследствие этого плазменной дугой можно сваривать самые различные металлы и сплавы как очень тонкие, так и большой толщины. Так, например, плазменной дугой сваривают листы толщиной от 0,08 до 1 мм из углеродистой и легированных сталей, титана и никеля, токсм от 0,1 до 10 а. Тонкие детали из вольфрама и титана сваривают, например, при производстве электронных приборов.

Наряду с этим, применяя плазменные горелки, рассчитанные на соответствующую мощность, плазменной дугой можно сваривать также и толстый металл, например сталь толщиной до 50 мм. Благодаря высокой тепловой мощности дуги и ее большой проникающей способности, листы стали толщиной до 10 мм удается сваривать без предварительной разделки кромок. При этом получается узкий шов и резко ограниченная зона термического влияния основного металла, что положительно сказывается на качестве сварного соединения.

В настоящее время плазменной дугой постоянного тока прямой полярности сваривают почти все металлы, кроме алюминия и его сплавов. Для качественного соединения алюминия необходима очистка свариваемых поверхностей за счет катодного распыления основного металла (см. гл. XXIII), что можно получить только при сварке на обратной полярности. Однако при этом происходит быстрое сгорание вольфрамового электрода, сильно снижается допустимый ток и загрязняется шов. Поэтому сварку алюминия и его сплавов плазменной дугой производят на переменном токе. В этом случае очистка от окиси алюминия происходит при катодном распылении свариваемого металла в полупериод, соответствующий обратной полярности тока. Технология сварки алюминиево-магниевых сплавов плазменной дугой прямого действия на переменном токе разработана в Институте сварки им. Е. О. Патона. Для сварки на переменном токе применяется горелка А-998, рассчитанная на ток до 500 а или горелка А-1212, рассчитанная на ток до 350 а.

Используют электроды из вольфрама с торием (ВТ), вольфрама с иридием (ВИ) или вольфрама с лантаном (ВЛ) диаметром от 4 до 10 мм в зависимости от величины тока. Плазменные горелки устанавливают на аппараты для аргоно-дуговой сварки неплавящимся электродом. В качестве плазмообразующего газа используют аргон. Горелки снабжаются водяным охлаждением. Источником питания переменным током служит сварочный трансформатор СТШ-500, вторичные обмотки которого соединены последовательно и дают напряжение холостого хода 120 в.

В сварочную цепь включается батарея конденсаторов или балластный реостат с целью ограничить величину постоянной составляющей переменного тока. Основной плазменный разряд возбуждается или с помощью осциллятора или с помощью вспомогательной малоамперной дуги, которые во время сварки затем выключаются. Дуга переменного тока, сжатая струей аргона, горит стабильно. Благодаря ограниченной зоне нагрева деформации и напряжения при сварке будут невелики. Короткое время пребывания ванны в расплавленном состоянии уменьшает образование пор; время пребывания околошовной зоны при высокой температуре (свыше 400°C) также сокращается, поэтому прочность металла шва уменьшается незначительно. Временное сопротивление металла шва составляет 90—95% от такового для основного металла.

При плазменной сварке кольцевых швов труб и обечаек дугой прямого и косвенного действия получается хороший провар и фор-

мирование обратной стороны шва, что объясняется сосредоточенным нагревом кромок острием плазменной струи и узкой зоной термического воздействия на металл. Дугой косвенного действия сваривают бортовые соединения по кромкам, выполняют однопроходную сварку металла толщиной 2—2,5 мм, а также наложение последующих швов при многопроходной сварке. Дугой прямого действия сваривают нержавеющие стали и другие металлы толщиной свыше 3 мм. При толщине 3—10 мм сварку ведут встык без разделки кромок. В качестве защитных газов применяют: при сварке алюминия и его сплавов — смесь аргона и гелия, меди — азот, нержавеющей стали — аргон, гелий и аргоно-водородную смесь. При сварке швов с отбортовкой защитный газ подают также к боковым частям соединения по трубкам, располагаемым вдоль шва. При сварке дугой прямого действия защитный газ подводят также и к обратной стороне шва через канавку, сделанную в подкладке, на которой производится сварка.

Механизированная плазменная сварка стыковых соединений алюминиевых сплавов толщиной до 8 мм производится без дополнительной защиты сварочной ванны газом. Торец сопла при этом должен находиться на расстоянии 2—3 мм от поверхности изделия. При стыковой сварке сплава АМг-6 толщиной 4—6 мм расход аргона составляет 2—4 $\text{дм}^3/\text{мин}$, скорость сварки 70—50 м/ч , ток 210—320 а , напряжение дуги 24—28 в . Присадочная проволока подается спереди, навстречу движению горелки. При ручной плазменной сварке стыковых и угловых соединений горелка снабжается наружным керамическим соплом, через которое подается защитный газ (аргон) в количестве от 5 до 10 $\text{дм}^2/\text{мин}$. В качестве присадочной применяют проволоку из сплава того же состава, что и свариваемый металл, диаметром 1,6—2 мм. Ввиду больших скоростей процесса сварки плазменной дугой требуется высокая точность соблюдения установленного зазора (0—1,5 мм) и сборки изделия под сварку.

При толщине металла свыше 10 мм сварку ведут с разделкой кромок и применением присадочной проволоки. Для лучшего формирования шва проволоку предпочтительнее подавать в передний конец сварочной ванны. При сварке кольцевых швов труб и обечай с толщиной стенки более 4 мм следует обеспечивать плавное нарастание величины сварочного тока и расхода плазмообразующего газа до номинального, во избежание выброса части расплавленного металла из сварочной ванны и образования двойной дуги. В конце сварки, для хорошей заварки кратера, также плавно снижают ток и расход газа. Для этого в сварочной установке предусматриваются соответствующие устройства.

Для сварки плазменной дугой стыковых, нахлесточных и отбортовочных соединений нержавеющей и малоуглеродистых сталей толщиной 1—5 мм заводом «Электрик» разработана установка УПСР-300-2, Источником питания для нее служит выпрямитель типа ВД-303. Установка имеет следующую техническую характеристику: напряжение питающей сети 380 в , номинальный сварочный

ток 300 а, пределы регулирования тока 30—300 а, диаметр вольфрамового электрода 2—3 мм, вес горелки 0,4 кг, вес пульта управления 18 кг.

Микроплазменная сварка. Производится маломощной плазменной дугой прямого действия, горящей в импульсном режиме. Ток подается кратковременными импульсами от специального источника питания (см. гл. XXI). Частота импульсов 50 и 100 гц.

Плотность тока на острие иглообразной плазменной дуги около $5 \cdot 10^3$ а/см². В промышленности больше освоена и шире применяется микроплазменная сварка на постоянном токе. В качестве плазмообразующего газа служит аргон. Микроплазменную сварку ведут в среде защитного газа, которым служит гелий чистый или с примесью 7% водорода (при сварке титановых сплавов) и аргон с 10% водорода (при сварке нержавеющей и низкоуглеродистых сталей).

Институтом электросварки им. Е. О. Патона разработана установка МПУ-М для микро-

плазменной сварки, с напряжением холостого хода 75 в, катодом из лантанированного вольфрама ВЛ-10 диаметром 0,8—1 мм; диаметр канала сопла 0,75—1,5 мм, длина канала 2 мм, высота столба плазмы 1—1,5 мм. Зазор между вольфрамовым электродом и началом канала равен 0,3—0,5 мм. Сварка ведется на медной подкладке со стальными прижимами. Схема сварки показана на рис. 128, а, конструкция сварных соединений — на рис. 128, б.

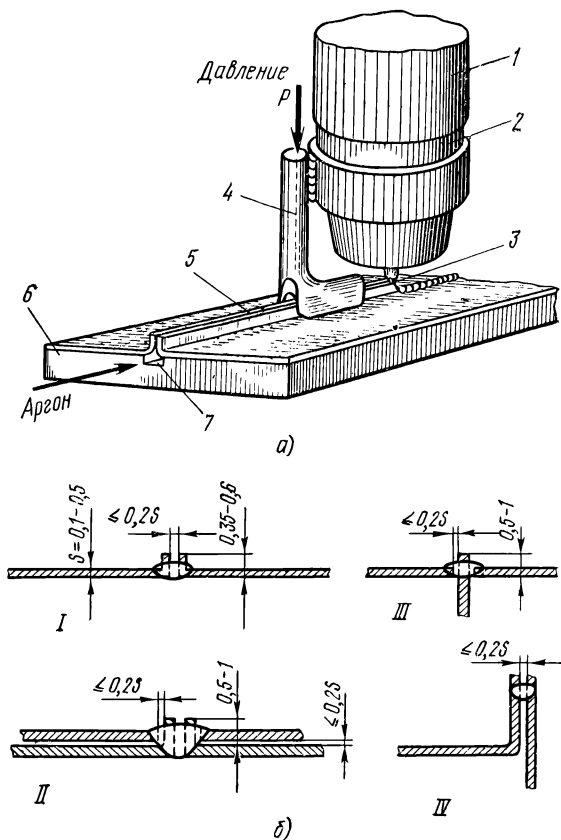


Рис. 128. Микроплазменная сварка:

а — схема сварки, б — конструкция соединений: 1 — корпус плазменной головки, 2 — сопло, 3 — плазменная дуга, 4 — прижим и направляющий башмак, 5 — кромки свариваемых листов, 6 — медная подкладка, 7 — канавка для подвода аргона, защищающего обратную сторону шва от окисления; I — II — стыковые, III — тавровые, IV — торцовые

Импульсная микроплазменная сварка позволяет получать узкие швы с равномерным формированием, минимальными деформациями и высоким качеством. Она применяется для сварки тонких (от десятка микрон до 1,5 мм) листов и легких сплавов, титана, нержавеющей и низкоуглеродистых сталей.

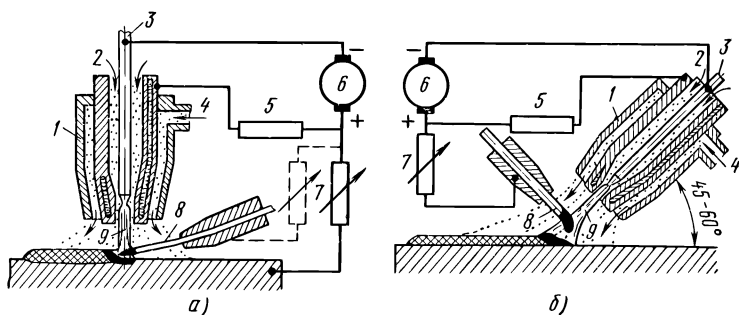


Рис. 129. Схема наплавки с присадочной проволокой:

а — дугой прямого действия и включением изделия в сварочную цепь, *б* — то же, при обесточенном изделии; 1 — головка горелки, 2 — ввод плазмообразующего газа, 3 — вольфрамовый электрод, 4 — ввод защитного газа, 5 — ограничительное сопротивление, 6 — источник питания током, 7 — балластный реостат, 8 — присадочная проволока, 9 — сжатая дуга прямого действия

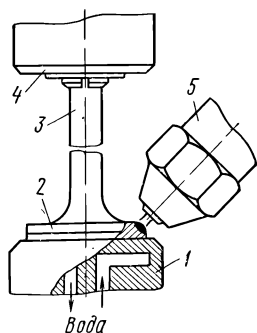


Рис. 130. Наплавка клапана:

1 — медная подкладка, 2 — присадочное кольцо, 3 — клапан, 4 — патрон станка, 5 — плазменная горелка

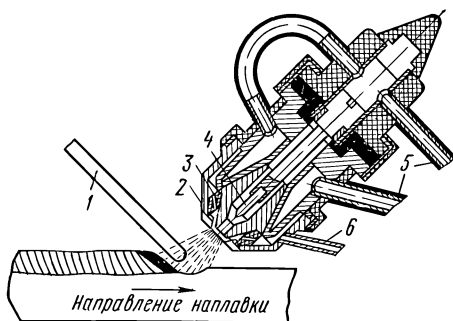


Рис. 131. Схема наплавки прутками из литых износостойких сплавов и проволоки:

1 — пруток, 2 — защитное сопло головки, 3 — рабочее сопло, 4 — вольфрамовый электрод, 5 — трубки для подвода охлаждающей воды и тока, 6 — подача аргона

Плазменная наплавка. Отмеченные выше преимущества плазменной дуги имеют большое значение также и при наплавочных работах. Плазменная дуга повышает производительность и качество наплавки, позволяет выполнять наплавку тугоплавкими износостойкими сплавами деталей, работающих в условиях действия высоких температур, усиленного износа и агрессивных сред.

Применяются различные способы наплавки сжатой дугой: с присадочной проволокой при включении изделия в цепь или без

включения, дугой прямого или косвенного действия; по слою крупки; способом подачи тугоплавкого присадочного порошка в ванну; способом вдвигания порошка в дугу; с применением наплавочных колец. Плазменная наплавка позволяет получать очень тонкий наплавленный слой (до 1 мм) и незначительную глубину проплавления основного металла (0,3 мм).

На рис. 129 даны схемы плазменно-дуговой наплавки с использованием присадочной проволоки. На рис. 129, а изображен способ наплавки, при котором дуга образуется между вольфрамовым электродом и изделием, расплавляя проволоку и основной металл. Присадочная проволока может не проводить ток, или включаться в цепь через балластное сопротивление (показано на рисунке пунктиром). Когда нужно получить неглубокое проплавление основного металла, то наплавку ведут по схеме рис. 129, б с применением токоведущей присадочной проволоки. При этом изделие не включено в цепь сварочного тока, а основной металл нагревается дугой косвенного действия, горящей между электродом и присадочной проволокой. Наплавка ведется «углом назад», в случае необходимости горелке сообщаются поперечные колебательные движения. Эта схема используется, например, при наплавке меди и нержавеющей сталей X19H10T и X19H9 на углеродистую сталь. Производительность наплавки составляет около 7 кг/ч наплавленного металла.

Институтом электросварки им. Е. О. Патона разработана и внедрена на автомобильных заводах автоматическая плазменная наплавка клапанов автодвигателей, в качестве присадочного материала применяются специальные металлокерамические кольца (рис. 130). Производительность наплавки 100—120 клапанов в час. Данная технология может применяться при наплавке уплотнительных поверхностей арматуры.

Украинским заочным политехническим институтом (УЗПИ) разработан способ и аппаратура для ручной наплавки сжатой дугой стеллитов и релитов (см. гл. XIX, § 1). Установка состоит из головки, аппаратного ящика, сварочного генератора ПС-500, балластного реостата РБ-300, баллона с аргоном, водогазокоммуникаций и водяного насоса для охлаждения головки. Схема наплавки показана на рис. 131. Установка отличается несложной электрической схемой и простотой конструкции головки.

Дуга с плазмообразующим и защитным потоком аргона направляется непосредственно на ванну расплавленного металла и формирующий валик, чем обеспечивается защита металла от окружающего воздуха и медленное охлаждение слоя наплавки. Установка может также применяться для наплавки проволокой различного состава (из быстрорежущей стали, хромоникелевой и хромистой стали, нихрома, бронзы и др.). Режим наплавки подбирается опытным путем. Например, для стеллитов используется режим: ток дежурной дуги 15—20 а; ток основной дуги 120—130 а; напряжение дуги 40—45 в; диаметр вольфрамового электрода 3 мм; диаметр сопла 8 мм; расход аргона 8—10 дм³/мин.

Достаточно простым является способ наплавки по слою зернистого порошка (крупки), схема которого показана на рис. 132, а. Размер зерен порошка 0,5—2,5 мм. Горелка совершает поперечные колебания, ширина наплавки 50—60 мм,

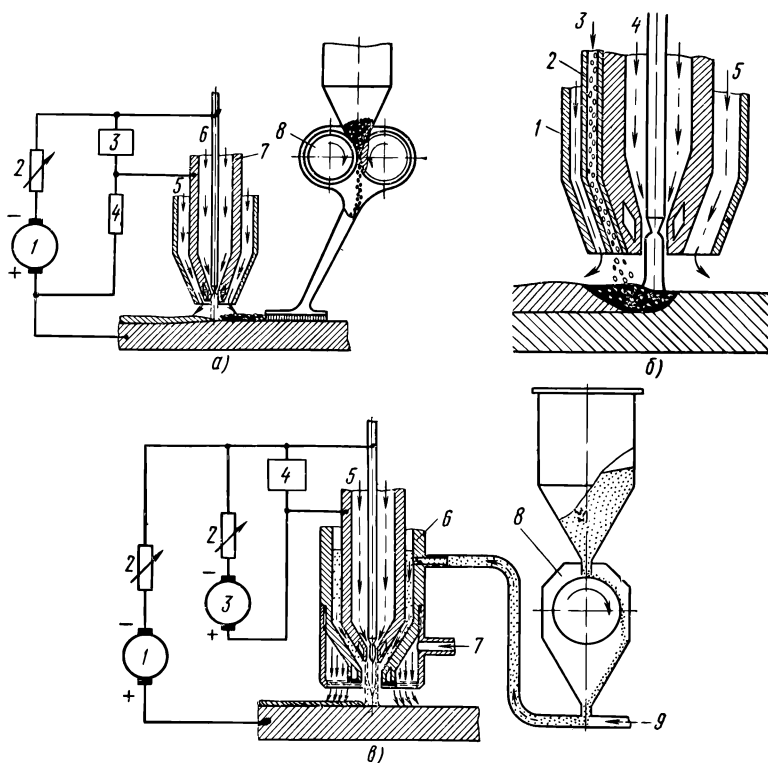


Рис. 132. Способы наплавки порошками износостойких сплавов:

а — наплавка по слою крупки: 1 — источник тока, 2 — балластный реостат, 3 — осциллятор, 4 — ограничительное сопротивление, 5 — ввод защитного газа, 6 — ввод плазмообразующего газа, 7 — мундштук, 8 — питатель для подачи крупки; б — наплавка с подачей порошка в сварочную ванну: 1 — горелка, 2 — трубка для подачи тугоплавкого порошка, 3 — ввод порошка и транспортирующего газа, 4 — ввод плазмообразующего газа, 5 — ввод защитного газа; в — наплавка с вдуванием порошка в дугу: 1 — источник питания дуги прямого действия, 2 — балластный реостат, 3 — источник питания дуги косвенного действия, 4 — осциллятор, 5 — ввод плазмообразующего газа, 6 — плазменная горелка, 7 — ввод защитного газа, 8 — питатель для подачи порошка, 9 — ввод транспортирующего газа

высота слоя 5—6 мм, производительность 6—8 кг/ч, качество наплавки высокое. Глубина проплавления основного металла регулируется изменением режима наплавки, подбираемого опытным путем.

На рис. 132, б показан способ наплавки с подачей тугоплавкого порошка в сварочную ванну. Он применяется для наплавки деталей, испытывающих абразивный износ. В вязкую основу слоя при этом вкрапливаются зерна износостойкого

карбида вольфрама, подаваемые в хвостовую часть ванны, минуя дугу. Содержание карбида вольфрама в наплавке можно довести до 60—75%. Расход порошка карбида вольфрама составляет 3,5—5 кг/ч, зерна размером 0,1—1 мм. В качестве основы (матрицы) служит слой наплавки из сталей 45; 3Х2В8; Х20Н10Г6 и сплава ХН80СР2, который оказался наиболее пригодным.

Наиболее универсальным является способ наплавки с вдуванием порошка в дугу (рис. 132, в), осуществляемый специальной горелкой комбинированного типа. Регулируя величину тока обеих дуг (прямого и косвенного действия), изменяют количество тепла, расходуемого на плавление порошка и на нагрев и плавление поверхности основного металла. Минимальная толщина слоя наплавки 0,25 мм, производительность от 0,5 до 6 кг/ч. Долю основного металла в наплавленном слое можно изменять по желанию, в пределах от 5 до 40%. При наплавке валиков средней и большой толщины (свыше 2 мм) обеспечивается хорошая производительность при малом проплавлении (доля основного металла в наплавке не более 5%). При нанесении тонких слоев с малым проплавлением основного металла производительность невысока (до 0,5 кг/ч).

При наплавке наиболее широко применяют порошки из сплавов на основе никеля или кобальта*. Хромоникелевые сплавы с бором и кремнием жаростойки до 950°С, сохраняют высокую твердость при нагреве до 750°С и обладают хорошей устойчивостью против коррозии в растворах кислот и щелочей. Присадка бора и кремния снижает температуру плавления хромоникелевого сплава и придает ему способность самофлюсоваться. Такими сплавами наплавляют измерительный инструмент, клапаны двигателей внутреннего сгорания, уплотнительные поверхности арматуры, поршни кислотных насосов пресс-формы для горячего прессования и другие изделия.

Для наплавки по слою крупки и с подачей тугоплавкого порошка в сварочную ванну применяют горелки, рассчитанные на ток до 400 а, при наплавке с вдуванием порошка в дугу — горелки для максимального тока дуги косвенного действия — 120 а и дуги прямого действия — 200 а. Частота поперечных колебаний горелки устанавливается от 8 до 27 в минуту при амплитуде 2,5—25 мм. Скорость наплавки определяют подбором режима в пределах от 5 до 50 м/ч. Расстояние плазменной горелки до изделия 8—15 мм. Расход плазмообразующего газа (аргона) 1—2,5 л/мин. Расход подающего порошок газа 5—10 л/мин. Расход защитного газа (аргона, азота, смеси аргона с водородом и др.) 10—15 л/мин. В случае необходимости для предотвращения появления трещин применяют предварительный и сопутствующий подогрев изделия до 400—450°С.

* Например, кобальтовый сплав ЛП-8 имеет состав (%): С — 1,15; Si — 0,72; Mn — 0,86; Cr — 31,4; W — 4,3; Co — основа; никелевый сплав ПГ-ХН80СР3 имеет состав (%): С — 0,3—0,6; Si — 1,5—3; Cr — 12—15; Fe ≤ 5; В — 1,5—2,5; Ni — основа.

Глава XVI

СВАРКА УГЛЕРОДИСТЫХ И ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

§ 1. СВАРИВАЕМОСТЬ СТАЛЕЙ

Под свариваемостью понимается способность стали данного химического состава давать при сварке тем или иным способом высококачественное сварное соединение без трещин, пор и прочих дефектов. От химического состава стали зависит ее структура и физические свойства, которые могут изменяться под влиянием нагрева и охлаждения металла при сварке. На свариваемость стали влияет содержание в ней углерода и легирующих элементов. Для предварительного суждения о свариваемости стали известного химического состава можно подсчитывать эквивалентное содержание углерода, пользуясь формулой

$$C_{\text{экв}} = C + \frac{Mn}{20} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cr + Mo + V}{10}.$$

По признаку свариваемости все стали можно условно разделить на четыре группы:

1. Хорошо сваривающиеся, у которых $C_{\text{экв}}$ не более 0,25. Эти стали не дают трещин при сварке обычным способом, т. е. без предварительного и сопутствующего подогрева и последующей термообработки.

2. Удовлетворительно сваривающиеся, у которых $C_{\text{экв}}$ в пределах 0,25—0,35; они допускают сварку без появления трещин, только в нормальных производственных условиях, т. е. при окружающей температуре выше 0° С, отсутствии ветра и пр.

К этой же группе относят стали, нуждающиеся в предварительном подогреве или предварительной и последующей термообработке для предупреждения образования трещин при сварке в условиях, отличающихся от нормальных (при температуре ниже 0° С, ветре и др.).

3. Ограниченно сваривающиеся, у которых $C_{\text{экв}}$ в пределах 0,35—0,45; они склонны к образованию трещин при сварке в обычных условиях. При сварке таких сталей необходима предварительная термообработка и подогрев. Большинство сталей этой группы подвергают термообработке и после сварки.

4. Плохо сваривающиеся, у которых $C_{\text{экв}}$ выше 0,45; такие стали склонны к образованию трещин при сварке. Их можно соединять только с предварительной термообработкой, подогревом в процессе сварки и последующей термообработкой. Для металла неболь-

шой толщины предельное значение $C_{\text{ЭКВ}}$ можно повысить до 0,55. Температура предварительного подогрева для низколегированных сталей в зависимости от величины $C_{\text{ЭКВ}}$ принимается следующей:

Эквивалент углерода $C_{\text{ЭКВ}}$, % .	0,58	0,60	0,62	0,74	0,85
Температура подогрева, °C . .	100	125	150	175	200

Предварительный подогрев замедляет охлаждение и предохраняет от появления холодных трещин при сварке.

Свариваемость стали определяют также различными пробами. С помощью проб устанавливают, не появляется ли при сварке данной стали хрупких структур в металле шва и околошовной зоне, способствующих образованию трещин.

Существует много способов определения свариваемости стали, разработанных советскими и зарубежными учеными.

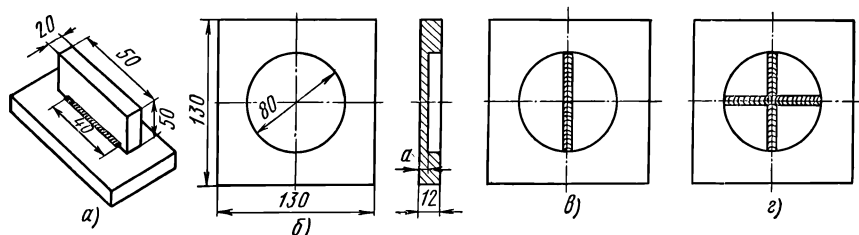


Рис. 133. Образцы для испытания стали на свариваемость:
а — технологическая проба, б, в, г — проба по способу Кировского завода

Наиболее простой является технологическая проба, при которой к листу из испытуемой стали приваривают втавр односторонним угловым швом прямоугольную пластину (рис. 133, а). После остывания на спокойном воздухе пластину сбивают молотком, разрушая шов со стороны его вершины. Если будут обнаружены следы ранее образовавшихся трещин или разрушений в виде вырывов основного металла вблизи шва, то сталь является ограниченно свариваемой и требует предварительного подогрева и последующей термообработки.

Склонность к образованию холодных трещин более толстой стали можно проверять пробой по способу Кировского завода (рис. 133, б, в и г). В середине квадратного (130×130 мм) образца делается выточка диаметром 80 мм. Толщина a оставшейся части образца равняется 2, 4, 6 мм. В выточку наплавляют один или два валика (рис. 133, в и г), охлаждая доньшко снаружи воздухом или водой. Если при наплавке валика и охлаждении водой образец не дает трещин, сталь считается хорошо свариваемой. Если трещины появляются при охлаждении водой, но не возникают при охлаждении на воздухе, то сталь считается удовлетворительно свариваемой. Сталь считается ограниченно свариваемой, если образец дает трещины и при охлаждении на воздухе. Такую сталь нужно сваривать с предварительным подогревом до 100—150° С.

Плохо сваривающейся считается сталь, образец которой дает трещины даже при предварительном подогреве до 100—150°С. Такая сталь требует при сварке предварительного подогрева до 300°С и выше.

§ 2. СВАРКА УГЛЕРОДИСТЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

Различают низкоуглеродистые стали, содержащие до 0,25% углерода, среднеуглеродистые, содержащие от 0,25 до 0,6% углерода, высокоуглеродистые, содержащие от 0,6 до 2,0% углерода.

К низкоуглеродистым относятся стали, не содержащие легирующих компонентов (кроме углерода). В низкоуглеродистых сталях присутствуют марганец и кремний, однако они не считаются легирующими компонентами, если содержание марганца не превышает 1% и кремния — 0,8%.

Большинство сварных конструкций изготавливается из низкоуглеродистых сталей, выпускаемых в виде листов и фасонного проката, — уголка, швеллеров, двутавровых балок и пр.

Для сварки низкоуглеродистых сталей применяют электроды типов Э42, Э42А, Э46 по ГОСТ 9467—60 с рутиловыми, фтористо-кальциевыми, рудно-кислыми и органическими покрытиями. Род тока, полярность и величину тока выбирают в соответствии с характером покрытия, толщины металла, типа шва и диаметром электрода (см. гл. V и VIII).

Низкоуглеродистые стали хорошо свариваются дуговой сваркой и другими способами. Применяются электроды различных марок с покрытиями типов АНО, УОНИ, ОЗС, ЦМ, МР, УП, К и др. Выбор электрода должен обеспечивать равнопрочность сварного соединения с основным металлом, бездефектные швы, заданный состав металла шва. В отдельных случаях требуется получить стойкость сварных конструкций при ударных и вибрационных нагрузках, а также прочность в условиях пониженных или повышенных температур в пределах, предусмотренных для низкоуглеродистой стали данной марки.

Для изделия из низкоуглеродистой стали, но испытывающих знакопеременную нагрузку, при которой может наступать усталость металла, применяют низкоуглеродистую сталь 18Б с ниобием. Эта сталь содержит 0,14—0,22% углерода и 0,02—0,04% ниобия. Добавка ниобия повышает на 25% предел текучести стали 18Б по сравнению с таковым для стали ВСт3 без ниобия. Сварка стали 18Б производится электродами УОНИ-13/55 или электродами с рутиловым покрытием марки АНО-4.

При сварке угловых швов толстого металла и первого слоя многослойного шва, когда скорость охлаждения достаточно велика, иногда используют предварительный подогрев основного металла до 120—150°С для предупреждения появления закалочных структур и кристаллизационных трещин. Для исправления дефектных участков шва следует применять подварочные швы нормального (полного) сечения, длиной не менее 100 мм, так как при вы-

соких скоростях охлаждения пластичность металла шва подварки малого сечения понижается, что приведет к образованию трещин. Полезно перед наложением подварочного шва подогреть данный участок основного шва до 150°С. Наличие неполностью проваренных прихваток и заварка дефектов поверхностными («беглыми») швами сильно снижает пластичность металла шва в данном месте и уменьшает надежность сварной конструкции. Последующий местный отпуск или нормализация заваренного участка в данном случае менее эффективны, чем предварительный подогрев.

Среднеуглеродистые стали (С от 0,26 до 0,45%) сваривают проволокой с пониженным содержанием углерода (С от 0,08 до 0,1%), применяя швы с разделкой кромок, небольшой ток; при этом стремятся получить неглубокий провар с целью уменьшения доли основного металла в металле шва. Эти мероприятия снижают содержание углерода в металле шва и предупреждают появление кристаллизационных трещин. Применяется также предварительный и сопутствующий подогрев при сварке до температуры 250—300°С. Высокотемпературный подогрев вреден, так как вызывает появление трещин вследствие увеличения глубины провара основного металла и вызываемого этим повышения содержания углерода в металле шва. Лучшие результаты дает сварка постоянным током прямой полярности. Высокую стойкость металла шва против кристаллизационных трещин и необходимую прочность сварного соединения обеспечивает применение электродов УОНИ-13/55 и УОНИ-13/45. Во избежание образования хрупких и малопластичных закалочных структур в околосшовной зоне полезно замедленное остывание изделия после сварки. В ряде случаев приходится прибегать к последующей термической обработке (закалке с отпуском).

Из высокоуглеродистых сталей ($C > 0,46\%$), как правило, не изготавливают сварные конструкции. Необходимость их сварки может возникнуть при ремонтных работах, наплавке. В этом случае применяют те же приемы сварки и наплавки, что и для других плохо сваривающихся сталей (предварительная и последующая термообработка, предварительный и сопутствующий подогрев, соответствующие марки электродов и режимы сварки).

§ 3. СВАРКА НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

Низколегированные стали. К низколегированным относятся стали, в которых содержание легирующих компонентов в сумме составляет менее 2,5% (кроме углерода). При содержании легирующих элементов в сумме от 2,5 до 10% сталь называется среднелегированной, при содержании свыше 10% легирующих элементов высоколегированной. В наименовании стали легирующие компоненты указываются в порядке убывания их содержания (например, хромомолибденовая, хромокремнемарганцовая, хромоникелевая и т. п.).

Влияние легирующих элементов на свойства стали и условные обозначения их по ГОСТ 4543—61* приведены в табл. 26. Влияние того или иного элемента на свойства стали зависит от содержания в ней как данного, так и других элементов и особенно углерода.

Приведем составы некоторых низколегированных сталей, применяемых в сварных конструкциях.

Низколегированная хромокремненикелем единая сталь 15ХСНД по ГОСТ 5058—65* (прежние марки НЛ2 или СХЛ2) содержит 0,12—0,18% углерода; 0,4—0,7% марганца; 0,4—0,7% кремния; 0,2—0,4% меди; 0,6—0,9% хрома; 0,3—0,6% никеля; до 0,04% фосфора и не более 0,04% серы. Временное сопротивление этой стали 50 кгс/см², относительное удлинение 21%, ударная вязкость 6 кгс·м/см². Сталь 10ХСНД (НЛ1 или СХЛ3) отличается от стали 15ХСНД содержанием углерода, которого в ней до 0,12%. У этой стали временное сопротивление 54 кгс/мм², относительное удлинение 19% и ударная вязкость 8 кг·м/см². Стали 10ХСНД и 15ХСНД хорошо свариваются и в незначительной степени подвержены коррозии; их используют для сварных строительных конструкций высокой надежности (например, мостов), а также в судостроении.

Применяется также низколегированная конструкционная кремнемарганцевая сталь 10Г2С1 (МК) по ГОСТ 5058—65*. Эта сталь содержит до 0,12% углерода; 1,3—1,65% марганца; 0,9—1,2% кремния; не более 0,035% фосфора и 0,04 серы; по 0,30% хрома и никеля; 0,30% меди. Сталь 10Г2С1 имеет временное сопротивление 46—52 кгс/мм², относительное удлинение — 21%, повышенную коррозионную стойкость и удовлетворительно сваривается. Повышенное содержание кремния в этой стали (более 0,9%) снижает ее ударную вязкость, особенно при пониженных температурах. Поэтому данную сталь не следует применять для ответственных сварных конструкций, работающих при очень низких окружающих температурах.

Молибденовые, хромомолибденовые и хромомолибденованадиевые низколегированные теплоустойчивые стали (ГОСТ 4543—61)* применяют для изготовления паровых котлов, турбин и трубопроводов, подверженных в процессе работы действию высоких температур и давлений. Для температур 450—500°С предназначаются молибденовые стали 15М и 25М-Л, содержащие 0,4—0,6% молибдена; для 540°С — хромомолибденовые 15ХМ, 20ХМ-Л, содержащие 0,4—0,6% молибдена и 0,8—1,1% хрома; для 585°С — хромомолибденованадиевые 12Х1МФ и 15Х1М1Ф. Для труб, предназначенных для поверхностного нагрева котлов, применяют хромомолибденованадиевую сталь 12Х2МФСР, дополнительно легированную кремнием и бором, а для крупных отливок паровых труб — сталь 15Х2М2ФС-Л, легированную кремнием и ниобием. Для более высоких температур используются трубы из высоколегированных хромистых и хромоникелевых сталей.

Влияние легирующих элементов на свойства стали

Название элемента	Химическое обозначение	Условное буквенное обозначение при маркировке стали	Влияние на свойства стали
Марганец	Mn	Г	Повышает прочность и твердость. При содержании Mn выше 1% сталь склонна к закалке и сварка ее затрудняется. Для улучшения свариваемости стали при повышенном содержании марганца содержание углерода в ней должно быть возможно ниже
Кремний	Si	С	Увеличивает прочность и упругость. При содержании Si более 1,2% свариваемость стали ухудшается
Хром	Cr	Х	Повышает устойчивость против коррозии и длительного воздействия высоких температур. Высокой жаропрочностью обладают стали с 11—12% хрома и выше. Увеличивает закаливаемость и ухудшает свариваемость стали
Никель	Ni	Н	Повышает прочность и пластичность. При содержании свыше 1,59% снижает хладноломкость. Повышает коррозионную стойкость; при содержании никеля 8—10% и более, хрома 17—19% и более сталь становится высокоустойчивой против коррозии в агрессивных средах, жаростойкой, окалиностойкой и хладостойкой. Улучшает свариваемость, но при сварке требуется защита от воздействия кислорода воздуха во избежание выгорания никеля
Медь	Cu	Д	В количестве до 0,5% входит в состав ряда низколегированных сталей и повышает их стойкость против коррозии, не ухудшая свариваемость
Молибден	Mo	М	Увеличивает прочность и ударную вязкость. Входит в состав теплоустойчивых сталей большинства марок. Улучшает обрабатываемость стали и устраняет хрупкость при отпуске. В некоторых сталях затрудняет сварку вследствие образования трещин в зоне термического влияния
Ванадий	V	Ф	Повышает жаропрочность и ударную вязкость. Сварка ванадиевых сталей затруднена возможностью образования трещин и требует применения специальных электродов и технологии

Название элемента	Химическое обозначение	Условное буквенное обозначение при маркировке стали	Влияние на свойства стали
Титан	Ti	T	Повышает жаропрочность, ударную вязкость и улучшает свариваемость. Является энергичным раскислителем. Связывает азот и нитриды титана, не растворимые в стали. Способствует измельчению зерен при кристаллизации металла. Связывает углерод, препятствуя образованию карбидов хрома по границам зерен и возникновению межкристаллитной коррозии металла сварного соединения хромосодержащих сталей
Ниобий	Nb	Б	Связывает углерод, препятствуя (как и титан) образованию карбидов хрома и межкристаллитной коррозии металла сварного соединения хромосодержащих сталей
Алюминий	Al	Ю	Является сильным раскислителем, но может одновременно вызвать окисление углерода, что приводит к пористости сварного шва
Бор	B	P	Повышает жаростойкость и прокаливаемость теплоустойчивых сталей
Кобальт	Co	K	Повышает теплоустойчивость сталей
Вольфрам	W	B	Повышает твердость

Хромкремнемарганцевые стали (хромансиль) по ГОСТ 4543—61* обладают большой прочностью, упругостью и хорошо сопротивляются ударным нагрузкам. Содержат углерода (%); сталь 20ХГСА—0,15—0,25; сталь 25ХГСА—0,22—0,30 и сталь 30ХГСА—0,25—0,35. Стали этих марок, кроме углерода, содержат также (%): марганца 0,8—1,1; кремния 0,9—1,2 и хрома 0,8—1,1. Содержание серы и фосфора не должно превышать 0,03% для каждого из этих элементов. В термически обработанном состоянии имеют временное сопротивление 80 кгс/см², относительное удлинение 10%, ударную вязкость 6 кгс·м/см².

Сварка низколегированных сталей. При дуговой сварке низколегированных сталей применяют следующие режимы:

Толщина металла, мм	1—2	2—5	5—10	Свыше 10
Диаметр стержня электрода, мм	1,6 2,0 2,5	2,5 3,0 4,0	4,0 5,0 6,0	5,0 6,0
Ток, а	35—45 45—65 65—85	65—85 80—100	130—150 170—200 210—240	170—200 210—240

Указанные значения тока соответствуют сварке в нижнем положении. При выполнении вертикальных и потолочных швов ток уменьшают на 10—20% и применяют электроды диаметром не более 4 мм.

Для уменьшения скорости охлаждения металла шва следует применять стыковые и бортовые соединения, так как при тавровых и нахлесточных соединениях скорость охлаждения выше. Рекомендуются избегать соединений, имеющих швы замкнутого контура, если же необходимы такие соединения, то их сваривают короткими участками, обеспечивая подогрев и замедленное охлаждение.

Сварку стыковых соединений металла толщиной до 6 мм и валиковых швов с катетом до 7 мм выполняют в один слой (однопроходную), что уменьшает скорость охлаждения. Более толстый металл сваривают в несколько слоев длинными участками. Каждый слой должен иметь толщину 0,8—1,2 диаметра электрода. Сверху шва накладывают отжигающий валик, края которого должны располагаться на расстоянии 2—3 мм от границы проплавления основного металла. Отжигающий валик накладывают при температуре предыдущего слоя около 200°С. Для металла толщиной до 40—45 мм применяют многослойную сварку способом «горки» или «каскада». Длину участков (300—350 мм) выбирают с таким расчетом, чтобы предыдущий слой не успевал охладиться ниже 200°С при наложении следующего слоя.

Если сталь склонна к закалке или при сварке на морозе, перед выполнением первого шва применяют местный подогрев горелкой или индуктором до 200—250°С. Предварительный подогрев и последующий отпуск необходимы, если твердость в зоне влияния после варки составляет 250 единиц по Бринеллю и выше.

При выполнении подварочных швов и заварке прихваток необходимо выполнять условия, указанные выше в § 2, для сварки низкоуглеродистых сталей.

Сварку конструкционных низкоуглеродистых сталей производят электродами с фтористокальциевыми покрытиями марок УОНИ-13/45; УОНИ-13/55; УОНИ-13/65; УОНИ-13/85; ОЗС-2; ЦУ-1; ДСК-50; УП-1/55; УП-2/55; К-5А; ЦЛ-18; НИАТ-5 и другими, дающими более плотный и вязкий наплавленный металл, менее склонный к старению. Электроды с руднокислыми покрытиями (ОММ-5, ЦМ-7 и др.) применять при сварке ответственных конструкций из низколегированных сталей не рекомендуется.

Низколегированные конструкционные стали лучше сваривать электродами типа Э42А, так как металл шва получает дополнительное легирование за счет элементов расплавленного основного металла и временное сопротивление его повышается до 50 кгс/мм²; при этом металл шва сохраняет высокую пластичность. Сварка электродами типа Э60А дает более прочный, но менее пластичный металл шва вследствие более высокого содержания в нем углерода.

Газовая сварка низколегированных сталей производится нормальным пламенем мощностью 75—100 дж/ч при левой и 100

130 $\text{дм}^3/\text{ч}$ ацетилена при правой сварке на 1 мм толщины металла. В качестве присадки используют проволоку Св-08, Св-08А или Св-10Г2 по ГОСТ 2246—70. Целесообразно проковывать шов при светло-красном калении (800—850°С) с последующей нормализацией нагревом горелкой.

Молибденовые и хромомолибденовые низколегированные теплоустойчивые стали. Эти стали удовлетворительно свариваются, но склонны к образованию мелких трещин около шва в переходной зоне при нарушении технологического режима сварки. Кроме того, они требуют точной сборки кромок под сварку. Зазор по всей длине шва должен быть одинаков и составлять при толщине металла до 5 мм — 0,5 мм; при толщине 5—15 мм; — 1,5 мм; при толщине более 15 мм — 4—6 мм. Необходимо полностью и тщательно проваривать корень шва, для чего первый слой сваривается электродом диаметром 3 мм. Применяется электродная проволока той же марки, что и свариваемая сталь. Используют электроды с фтористокальциевым покрытием. Ниже приводится перечень типов электродов и марок покрытий, применяемых при сварке низколегированных теплоустойчивых сталей. Электрод подбирается таким образом, чтобы состав получаемого металла шва приближался к составу свариваемой стали.

Тип электрода по ГОСТ 9467—60	Э-М-Ф	Э-МХ-Ф	Э-ХМ-Ф	Э-ХМФ-Ф	Э-ХМФБ-Ф	Э-Х2МФБ-Ф	Э-Х5МФ-Ф
Марка покрытия	ЦУ-2М	ПЛ-14	ПЛ-30-63	ЦЛ-20-63	ПЛ-27	ЦЛ-26М-63	ПЛ-17-63
или ЦЛ-20М							
Химический состав металла (%):							
углерод	0,12	0,09	0,10	0,10	0,08—0,13	0,10	0,10
кремний	0,15—0,35	0,20	0,05	0,25	0,15—0,35	0,25	0,30
марганец	0,60—0,80	0,75	1,25	0,75	0,60—0,90	0,75	0,70
хром	—	0,40	1,10	1,0	1,00—1,40	2,70	4,80
молибден	0,45—0,65	0,50	0,50	0,55	0,75—1,00	0,80	0,55
ванадий	—	—	—	0,20	0,15—0,30	0,35	0,20
ниобий	—	—	—	—	0,10—0,20	0,50	—
сера, фосфор (не более, каж- дого)	0,05	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04

Все электроды требуют сварки на постоянном токе обратной полярности. Покрытие ЦЛ-14 допускает также сварку на переменном токе. Коэффициенты наплавки электродов указанных типов лежат в пределах 9—10,5 $\text{г}/\text{а} \cdot \text{ч}$.

В качестве примера приведем состав покрытия ЦЛ-14: 25% ферромарганца углеродистого; 3,5% ферротитана; 3% феррохрома; 30% плавикового шпата; 29% мрамора или гранита; 5% крахмала; 18—20% жидкого стекла (к весу сухой части покрытия).

Режимы сварки низколегированных теплоустойчивых сталей некоторыми из указанных выше марок электродов даны в табл. 27.

Для сварки труб и других конструкций из теплоустойчивой стали 12 МХ и арматуры из литой стали 20МХЛ применяют также электроды УОНИ-13/45МХ, имеющие стержень из низкоуглеродистой стали, и покрытие УОНИ-13/45, в которое для обеспечения необходимого состава металла шва и придания достаточной устой-

Режимы сварки низколегированных теплоустойчивых сталей

Марка электрода	Режим сварки				Марка стали	Температура, °С		
	Диаметр электрода, мм	Ток, а				рабочая	предварительного и сопутствующего подогрева	
		положение шва						
		нижнее	вертикальное	потолочное				
ЦЛ-14*	4	160—180	120—160	120—160	12МХ и 20МХЛ	До 550	12МХ—200 20МХЛ—250—300	710
	5	200—240	—	—				
ЦЛ-30-63	4	140—160	120—140	—	34ХМ и 20ХЗМВФ	До 470	34ХМ—350 20ХЗМВФ—400—450	600 680
	5	180—210	—	—				
ЦЛ-20-63 или ЦЛ-20М	4	140—160	110—130	—	20ХМФ, 20ХМФЛ и 12Х1М1Ф	До 570	300—350	700—740 (в течение 3 ч)
	5	180—210	—	—				
ЦЛ-26М-63*	3	110—130	100—120	100—120	15ХМФКР и 12Х2МФБ	До 600	350—400	740—760
	4	160—180	140—160	140—160				
ЦЛ-17-63	3	80—120	70—90	70—100	Х5М и 15Х5МФА	До 450, агрессивная среда	300—450	760 (в течение 3 ч)
	4	130—160	130—150	130—150				
	6	220—240	—	—				

* Высокая устойчивость дуги, у остальных—удовлетворительная,

чивости против ползучести, сфероидизации и графитизации при повышенных температурах вводится 3% феррохрома и 3% ферромolibдена. Электроды УОНИ-13/45МХ дают наплавленный металл, соответствующий требованиям, предъявляемым к электродам Э-42А. Для сварки стали 15М, менее стойкой в отношении графитизации, чем сталь марки 12МХ, рекомендуются электроды УОНИ-13М также со стержнем из низкоуглеродистой проволоки и с покрытием УОНИ-13/45, в которое добавлено 3,5% ферромolibдена.

Стали толщиной до 6 мм сваривают однослойными швами, большей толщины — многослойными. В процессе сварки температура металла не должна быть ниже 200—250°С. Если сварку приходится прервать, то необходимо обеспечить медленное остывание шва. При возобновлении сварки шов следует подогревать до 200—250°С. Нельзя прекращать сварку после наложения первого слоя шва, так как быстрое остывание его может вызвать появление трещин.

Многослойную сварку выполняют каскадным способом. Сварка стали толщиной более 20 мм, а также сварка при температуре ниже —10°С осуществляется с предварительным подогревом стыка до 200—250°С для молибденовых и 250—300°С для хромомolibденовых сталей.

Сварные соединения элементов толщиной более 10 мм, а также стыки труб (независимо от толщины стенки) подвергают после сварки отпуску при температуре 680—700°С с выдержкой при этой температуре 4—5 мин/мм толщины стенки и последующему медленному охлаждению до 300°. Стыки труб из молибденовой стали, сваренные дуговой сваркой, можно не подвергать термообработке, если результаты механических и металлографических испытаний образцов, вырезанных из контрольных стыков, не проходивших термообработку, будут удовлетворительными.

Для сварки теплоустойчивых сталей, работающих при температурах 450—550°С, производимой в монтажных условиях при невозможности применения подогрева и последующей термообработки, ИЭС им. Е. О. Патона разработаны электроды АНЖР-2, дающие в металле шва содержание никеля не менее 31%. Они обеспечивают стабильность дуги, малое разбрызгивание, равномерное покрытие ванны шлаком, пригодны для сварки во всех положениях. Металл шва имеет аустенитную структуру, устойчив против горячих трещин и охрупчивания. При 550°С временное сопротивление наплавленного металла равно 42 кгс/мм², относительное удлинение 40%, ударная вязкость более 15 кгс·м/см². В качестве стержня используется специальная электродная проволока ЭП 673 по ТУС-2-74 — 67 и применяется безокислительное покрытие на основе плавикового шпата. Электроды АНЖР-2 изготавливаются по ТУ ИЭС-26Э — 69.

Хромомolibденованадиевые стали толщиной более 15 мм сваривают с предварительным и сопутствующим подогревом до 300—350°С. Сварные соединения с толщиной стенки более 10 мм после

сварки подвергаются отпуску при 720—760°С с выдержкой 4—5 мин/мм толщины.

При газовой сварке теплоустойчивых сталей мощность пламени должна составлять 100 дм³/ч ацетилена на 1 мм толщины металла. Применяют только нормальное пламя. Присадкой служат проволоки марок Св-08ХНМ, Св-10НМ, Св-18ХМА, Св-10ХМ, Св-10МХ по ГОСТ 2246—70. Кромки зачищают до металлического блеска. Вначале их «пролуживают», для чего расплавляют металл по поверхности кромок и в корне шва, затем сваривают без добавления присадочного металла, чтобы обеспечить полный провар корня шва. Длина пролуженного участка не должна превышать 15—25 мм, так как при большей длине в этом месте возможно появление малозаметной трещины. Для уменьшения выгорания хрома и молибдена жидкий металл сварочной ванны поддерживают в достаточно густом состоянии, не перегревая его. Сварку ведут с наименьшим числом перерывов. При возобновлении сварки, чтобы предупредить образование трещин, необходимо равномерно подогреть шов в данном месте до 250—400°С (при сварке труб подогревают весь стык). Усиление должно располагаться симметрично относительно оси шва и иметь плавный переход к основному металлу. При сварке шов в случае необходимости подвергают термобработке по режиму, приведенному выше.

Хромокремнеарганцевые стали (хромансиль) склонны к закалке и трещинообразованию при сварке.

Стали хромансиль, содержащие до 0,2% углерода, хорошо свариваются дуговым способом. Стали 30ХГС и 35ХГС свариваются хуже. При сварке применяют соединение встык, внахлестку, втавр и угловые. Соотношение толщин свариваемого металла не должно превышать: при стыковых соединениях 1:2, при соединениях внахлестку и втавр 1:6.

Для сварки ответственных конструкций из сталей 30ХГСА и 30ХГСНА применяются электроды Э95—Э125 по ГОСТ 9466—60 и ГОСТ 9467—60 с фтористокальциевым покрытием марок ЦЛ-18-63 или НИАТ-3М. Стержень электрода из стали Св-08А. Сварка производится в нижнем и вертикальном положении короткой дугой (опиранием) по зачищенной поверхности, на постоянном токе обратной полярности, на постоянном токе обратной полярности.

Могут использоваться электроды с покрытием НИАТ-5 со стержнем из стали марки Св-10Х16Н25М6. Металл шва будет иметь аустенитную структуру. Режимы сварки следующие:

Диаметр электрода, мм Ток, а, при использовании покрытий:	2	2,5	3	4	5
НИАТ-3М	—	60—100	100—120	150—180	200—250
НИАТ-5	30—50	40—70	50—80	100—140	130—170

Если свариваются детали различной толщины, то диаметр электрода и ток выбирают по более толстому элементу, но прини-

мается меньшее значение тока из указанных; дуга направляется на более толстый элемент.

Сварку нужно вести по возможности непрерывно. Дугу можно обрывать только после заполнения кратера металлом. В случае непроизвольного обрыва дугу следует зажигать на наплавленном металле рядом с кратером. Не рекомендуется допускать обрыв дуги в местах поворота швов. Очень важно, чтобы длина дуги поддерживалась наименьшей. Электрод должен быть наклонен в плоскости шва под углом $70-80^\circ$. Швы рекомендуется сваривать в лодочку.

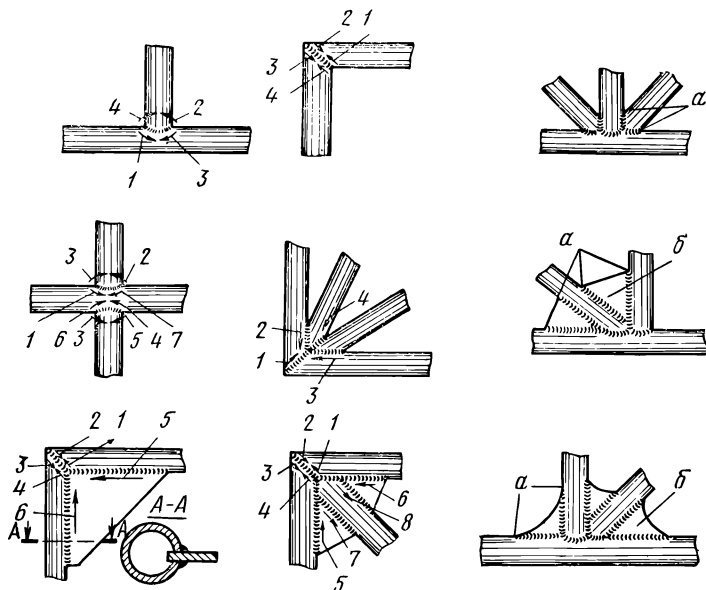


Рис. 134. Примеры узлов трубчатых конструкций из стали хромансиль (цифры показывают порядок, стрелки — направление сварки)

На рис. 134 показаны соединения, применяемые при сварке трубчатых конструкций из хромокремнемарганцевых сталей.

Места, отмеченные буквой *a*, при окончательной заделке шва опиляют во избежание концентрации в них напряжений. Для увеличения длины шва и жесткости сварного узла применяют косынки *б* из листовой стали. Для снятия напряжений по концам косынок проваривают усы.

При дуговой сварке хромокремнемарганцевой стали, особенно небольшой толщины, происходит частичная закалка металла в околошовной зоне. Для устранения заковки деталь нагревают до $650-680^\circ\text{C}$ и охлаждают в горячей воде или на воздухе. Оконча-

тельная термическая обработка, если она требуется по техническим условиям, состоит из закалки и последующего отпуска. При закалке деталь вначале нагревают до 500—650°С и выдерживают при этой температуре из расчета 1,5 мин на 1 мм толщины (но не менее 5 мин), а затем снова нагревают до 880°С с той же выдержкой. После этого деталь охлаждают в масле температурой 20—50°С, или сначала в горячем масле (190°С), а потом в масле, имеющем температуру 20°С. Отпуск состоит в нагреве до 400—600°С с последующим охлаждением в горячей воде при 60°С. Чем ниже температура отпуска, тем выше прочность, но меньше пластичность металла шва. Стали 30ХГС и 35ХГС сваривают с предварительным нагревом до 150—350°С и, как правило, после сварки подвергают термической обработке.

При газовой сварке сталей хромансиль хром и кремний частично выгорают, что вызывает появление в сварочной ванне включений окислов, шлаков и непровара. Для предупреждения этого сварку ведут наконечником с мощностью 75—100 дм³/ч ацетилена на 1 мм толщины металла, нормальным пламенем. В качестве присадки используют малоуглеродистую проволоку Св-08 и Св-08А или проволоку Св-18ХГСА и Св-18ХМА.

Сварку ведут в один слой. Перед сваркой листы прихватывают через 20—30 мм при толщине листов от 0,5—1,5 мм через 40—60 мм при толщине 2 мм и более. Прихватки располагают на расстоянии 10—15 мм от края листа или угла сварного соединения. Большое значение для качества шва имеют тщательная очистка и подгонка кромок, а также точное соблюдение зазора между ними, который должен быть одинаковым по всей длине шва. Поскольку стали хромансиль при резком охлаждении склонны к образованию трещин в шве и около него, то по окончании сварки горелку нужно отводить медленно, подогревая факелом пламени металл конечного участка на площади радиусом 20—40 мм. Сварку нужно производить возможно быстрее, без перерывов, не задерживая пламя горелки на одном месте. Для уменьшения коробления прихватку и сварку ведут от середины шва к его концам.

§ 4. СВАРКА ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Разработано большое количество марок электродов, позволяющих успешно выполнять сварку почти всех высоколегированных сталей, применяемых в промышленности.

ГОСТ 10052—62 * «Электроды металлические для дуговой сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами» предусматривает выпуск 27 типов электродов, предназначенных для сварки сталей аустенитного, аустенитоферритного, ферритного, мартенситоферритного, мартенситного классов и специальных конструкционных сталей. В обозначении этих электродов вводятся буквы: А — аустенитные, Ф — ферритные и АФ — аустенитоферритные. Например, ЭА-1Б обозначает электрод аустенитный с ниобием;

ЭАФ-1МФ — электрод аустенитоферритный с молибденом и ванадием; **ЭФ-Х13** — электрод ферритный, содержащий в среднем 13% хрома.

Для электродов каждого типа по ГОСТ 10052—62* устанавливаются: химический состав наплавленного металла, механические свойства его, содержание ферритной фазы и стойкость против межкристаллитной коррозии.

Условное обозначение электрода, вносимое в его паспорт, включает: марку покрытия, тип электрода, диаметр сварочной проволоки и номера ГОСТа. Например, электроды с покрытием ЦЛ-11 типа ЭА-1Б, диаметром 4 мм имеют следующее обозначение: ЦЛ-11-ЭА-1Б-4,0, ГОСТ 10052—62* и ГОСТ 9466—60.

Обычно электроды данного назначения имеют фтористокальциевое покрытие и применяются при сварке постоянным током обратной полярности во всех пространственных положениях. Например, электроды УОНИ-13/нж предназначены для сварки кислотостойких, жаропрочных и маломангнитных сталей 2Х13, 1Х18Н9Т, ЭИ-269, а также наплавки их на конструкционные стали. Электроды ЭА-400/10У применяются при сварке нержавеющей сталей 1Х18Н9Т, 1Х18Н12Т, Х18Н12М2Т, Х18Н12М3Т, работающих под воздействием агрессивных сред при температуре до 350°С и не подвергающихся термообработке после сварки. Электроды ЭА-395/9 применяют для сварки стали 1Х18Н9Т с углеродистой сталью. Электроды УОНИ-13/нж2 используют при сварке двухслойных сталей с защитным слоем из стали 1Х18Н9Т. Электроды ЭА-606/11 применяют при сварке сталей марок 45Г17ЮЗ и 40Г17ХН2.

Хромоникелевые аустенитные нержавеющие стали.

Широко распространены хромоникелевые аустенитные стали 0Х18Н10, Х18Н9, 2Х18Н9 (ЭЯ2), выпускаемые по ГОСТ 5632—61*.

В состав нержавеющей хромоникелевых сталей вводят до 0,8% титана или до 1,5% ниобия для улучшения их свариваемости и придания металлу сварного шва устойчивости против коррозии.

Хромоникелевые стали, не содержащие титана или ниобия, при нагревании до 400—800°С теряют свои антикоррозионные свойства и становятся хрупкими вследствие выделения карбидов хрома по границам зерен. По этой причине при сварке в них могут возникать горячие трещины. Свойства стали можно снова восстановить нагреванием до температуры 850°С (при которой карбиды хрома вновь расплавляются в сплаве) и последующим быстрым охлаждением в воде, а для малых толщин — на воздухе. Такой вид термообработки называется *стабилизацией*.

При стабилизации несколько снижается пластичность и ударная вязкость стали.

Нагревание аустенитной стали до 1000—1150°С и быстрое охлаждение в воде называется аустенизацией. Такая термообработка повышает пластичность и ударную вязкость стали, а также восстанавливает ее антикоррозионные свойства.

Для сварки хромоникелевых нержавеющей сталей применяют электроды с фтористокальциевыми покрытиями, например, УОНИ-13/нж, ЦЛ-2М, ЦЛ-2АЛ, ЦЛ-3М, ЦЛ-11, ОЗЛ-7, ОЗЛ-8 и др.*.

Покровтия ЦЛ-2М и ЦЛ-2АЛ содержат 44% мрамора, 43% плавикового шпата, 5% ферросилиция 45%-ного, 5% слюдяной муки; кроме того, в покрытие ЦЛ-2М введено 3% молибдена, а в ЦЛ-2АЛ — 3% алюминия. Электроды ЦЛ-2М, ЦЛ-2АЛ, ЦЛ-3М, ОЗЛ-8, УОНИ-13/нж применяют для сварки конструкций, работающих в слабоагрессивных средах при нормальных температурах, когда не предъявляется требования устойчивости против межкристаллитной коррозии.

Электроды ЦЛ-11, ОЗЛ-7 предназначены для сварки конструкций, работающих в агрессивных средах при нормальных температурах и дают металл шва, устойчивый против межкристаллитной коррозии. Электроды ЦЛ-11 имеют переменный состав покрытия, в котором содержание хрома зависит от его соотношения с никелем в стержне электрода и подбирается таким, чтобы в наплавленном металле было 2—7% феррита. В электродах ЦЛ-11 применяется проволока Св-0,4-08Х19Н9Б с ниобием, который придает металлу шва устойчивость против межкристаллитной коррозии. Чтобы металл шва был устойчив против межкристаллитной коррозии, содержание в нем ниобия должно не менее чем в 9 раз превышать содержание углерода.

В электродах ОЗЛ-7 стержень изготовлен из проволоки Св-02Х19Н9, в ОЗЛ-8 — из Св-08Х19Н9Т.

Для сварки корня швов соединений из стали Х18Н12Т, работающих при 600—650°С и высоком давлении, применяют электроды ЦТ-15-1, дающие содержание ферритной фазы в металле шва от 5,5 до 9%.

Стали Х18Н10Т и Х18Н9Т, если они будут работать при температуре до 560°С, должны быть стойкими против межкристаллитной коррозии; их сваривают электродами ЗИО-3, дающие содержание ферритной фазы от 2,5 до 5%.

Хромоникелевые стали обладают высоким удельным электрическим сопротивлением (в 5 раз большим такового для низкоуглеродистых сталей), низкой теплопроводностью, они чувствительны к перегреву, поэтому для их сварки применяют пониженные режимы, а именно:

Диаметр электрода, мм	2	2,5	3	4	5
Ток, а	30—40	40—60	60—90	90—140	140—180

По той же причине длина электрода берется меньшей, чем при сварке малоуглеродистой стали.

При сварке стали 1Х18Н9Т может происходить науглероживание металла шва, вызывающее снижение его стойкости против

* Марки электродов с обозначением ОЗЛ разработаны Московским опытно-сварочным заводом.

межкристаллитной коррозии. Как показали исследования, основным источником науглероживания является мрамор, входящий в состав покрытия и содержащий до 12% углерода, а при автоматической сварке — флюс. Поэтому лучшие результаты дает сварка нержавеющей сталей в среде защитных газов — аргона, гелия — или плазменная.

Для улучшения условий сварки хромоникелевых сталей типа 18—9 и уменьшения науглероживания металла шва Московским опытно-сварочным заводом разработаны электроды ОЗЛ-14 с проволокой Св-02Х19Н9 и рутиловым покрытием, содержащим только 10% мрамора (вместо 35—45% в электродах с фтористокальциевым покрытием). Данные электроды не вызывают дополнительно науглероживания металла шва и тем повышают его коррозионную стойкость.

Электроды ОЗЛ-14 дают в наплавленном металле 6—10% ферритной фазы, обеспечивая временное сопротивление не ниже 55 кгс/мм^2 , относительное удлинение не ниже 30%, ударную вязкость выше $12 \text{ кгс}\cdot\text{м/см}^2$. Электроды ОЗЛ-14 можно применять для сварки аппаратуры, подверженной непродолжительному нагреву в пределах 450—650°С; они не дают горячих трещин при сварке. Наплавленный этими электродами металл имеет следующий состав: 0,05% углерода, 1,83% марганца, 0,99% кремния, 19,84% хрома, 9,01% никеля. Сварку ведут наиболее короткой дугой на постоянном токе обратной полярности*. Электроду придают только поступательное движение, без поперечных колебаний. Для отвода тепла от места сварки используют медные прокладки. Кромки металла перед сваркой должны быть тщательно зачищены.

Хромоникелевые стали с повышенным содержанием углерода свариваются с предварительным подогревом до 300—500°С. После сварки изделие подвергают термообработке — нагреву до 850°С с последующим охлаждением в воде. Сталь толщиной 1—2 мм можно охлаждать на воздухе. Хромоникелевые стали, содержащие титан или ниобий, термообработке после сварки не подвергают.

Жаропрочные аустенитные стали. Для сварки жаропрочных аустенитных сталей (например, марок 1Х18Н9Т, 1Х18Н12Т, Х16Н13Б, Х18Н11Б, Х16Н13М2Б и др.) применяют электроды, обеспечивающие в структуре наплавленного металла от 2 до 7% ферритной фазы, что предупреждает образование трещин (охрупчивание) при работе сварного изделия под действием высоких температур. В частности, применяются электроды ЦТ-1, ЦТ-5, ЦТ-7, ЦТ-15, ЦТ-16, ЦТ-25, ЦТ-26 и др. Электроды ЦТ-7 легируют металл шва молибденом и ванадием, электроды ЦТ-15 — ниобием. Кроме того, различные марки этих электродов отличаются содержанием углерода, марганца и никеля. Изменением содержания хрома регулируется количество ферритной фазы, получаемой в наплавленном металле.

* Для сварки на переменном токе изделий из стали 18—9, работающих в окислительных средах, разработаны электроды ОЗЛ-13 (проволока 02Х19Н9).

Жаростойкие (окалиностойкие) стали. Окалиностойкие стали Х25Н13, Х25Н20 и другие содержат больше хрома (от 22 до 25%) и никеля (от 12 до 20%). Они склонны давать при температуре 850—950°С горячие трещины. Их сваривают электродами, содержащими в проволоке титан, ниобий, молибден, способствующие образованию мелкозернистой структуры металла шва. При сварке этих сталей рекомендуется производить послойную проковку швов. После сварки изделие подвергается термообработке со скоростью нагрева 100—130 град/ч до 950—1000°С и последующим быстрым охлаждением. Сварку ведут на постоянном токе обратной полярности 35—40 а на 1 мм диаметра электрода. Используют покрытия ЦЛ-8, ЦЛ-9, ОЗЛ-4, ОЗЛ-6, ОЗЛ-9 и др.

Аустенитные стали марки 0Х23Н28МЗДЗТ (ЭИ943э), работающие в сильно агрессивных средах горячих фосфорных и серных кислот различной концентрации при температуре до 80°С, сваривают постоянным током обратной полярности электродами ОЗЛ-17У со стержнем из стали ЭП516 (000Х23Н28МЗДЗТ) диаметром 3 и 4 мм. Металл шва имеет низкое содержание углерода и содержит титан, поэтому не склонен к межкристаллитной коррозии при кратковременных нагревах в интервале опасных температур, что позволяет применять многослойную сварку и производить сварку перекрещивающимися швами.

Для сварки низкоуглеродистых однофазных аустенитных хромоникельмолибденовых сталей ЭП551 (000Х17Н14М2), ЭИ844 (000Х16Н15М3) и им подобных, а также стали ЭИ580 (0Х17Н16М3Т), работающих в высокоагрессивных кислотных средах, вызывающих местную коррозию, применяют электроды ОЗЛ-20. Они дают металл шва с высокой коррозионной стойкостью за счет низкого содержания углерода и малого объема ферритной фазы ($\leq 3\%$), устойчивый против образования горячих трещин. В данных электродах используется стержень из проволоки стали ЭП551 диаметром 3 и 5 мм. Сварку ведут постоянным током обратной полярности.

Для сварки таких же сталей ИЭС им. Е. О. Патона разработаны электроды марки АНВ-17 с рутило-флюорито-кальцевым покрытием, содержащим окись хрома. Окись хрома разлагается при температуре 2390°, при которой углерод имеет наибольшее сродство к кислороду. Благодаря этому углерод выгорает из металла электродных капель.

Изделия из низкоуглеродистых хромоникелевых сталей ЭП550 (000Х18Н10), 000Х18Н11 и им подобных, работающие в сильно окислительных средах (азотная кислота концентрации до 95,5% при 50°С и концентрации до 70% при температуре кипения), сваривают электродами ОЗЛ-22 постоянным током обратной полярности. Металл шва имеет низкое содержание углерода (менее 0,03%) и высокую коррозионную стойкость, в том числе и межкристаллитную после кратковременных выдержек в зоне опасных температур. Стержень электродов ОЗЛ-22 сделан из проволоки стали ЭП550, диаметром 3 и 4 мм.

Указанные выше электроды марок ОЗЛ-17У, ОЗЛ-20, ОЗЛ-22 и АНВ-17 дают наплавленный металл с содержанием углерода 0,03—0,04% с временным сопротивлением более 55 кгс/мм², пределом текучести более 35 кгс/мм², относительным удлинением свыше 30% и ударной вязкостью 12 кгс·м/см².

При сварке высоколегированных аустенитных жаропрочных и жаростойких сталей используют особые технологические приемы. Так, например, сварку таких сталей стоит вести возможно короткой дугой, что уменьшает окисление хрома и обогащение азотом металла шва, тем самым повышая устойчивость шва против трещин. Первый (корневой) слой в многослойных швах рекомендует- ся выполнять электродами, дающими повышенное количество фер- ритной фазы в структуре металла шва, если свариваемая сталь до- пускает применение таких электродов. Покрытие электродов не должно быть влажным, так как влага повышает содержание водо- рода в металле шва и тем способствует образованию горячих тре- щин. Шов следует заполнять валиками небольшого сечения, что особенно важно при сварке сильно аустенитных сталей и при свар- ке электродами, не обеспечивающими ферритную фазу в металле шва. Кратеры, образующиеся при обрыве дуги, необходимо тща- тельно заваривать, а иногда даже удалять вырубкой или шлифов- кой камнем. При сварке жестких узлов выполняется разделка кро- мок (например, U-образная с прокладкой или предварительным полным проваром корня шва аргоно-дуговой сваркой). При нало- жении последующих слоев шва нужно обеспечивать полное охлаж- дение предыдущего слоя, тщательно зачищать от шлака каждый слой.

Газовая сварка хромоникелевых нержавеющей- их сталей производится нормальным пламенем мощностью 70—75 дм³/ч ацетилена на 1 мм толщины металла. Окислительное пламя не допускается, так как оно вызывает выгорание хрома. Применяется присадочная проволока с минимальным содержанием углерода, с ниобием или титаном, марок Св-02Х19Н9, Св-06Х19Н9Т или Св-08Х19Н10Б. Сварку ведут быстро. Конец проволоки дол- жен находиться все время в ванне. Для лучшего отвода тепла сварку можно вести на медной подкладке. Применяют как левую, так и правую сварку. Мундштук держат под углом 45° к поверхно- сти металла. Длинные швы сваривают обратноступенчатым спосо- бом. Термообработка производится так же, как и в случае дуговой сварки.

Для улучшения внешнего вида шва, уменьшения выгорания хрома и удаления его окислов при газовой сварке применяют флюс состава: 80% плавикового шпата и 20% ферротитана. Пригоден также флюс состава: 50% буры, 50% борной кислоты или 80% бу- ры и 20% двуокиси кремния. Флюс наносят на кромки за 15— 20 мин до сварки; после сварки остатки флюса удаляют промыв- кой детали в горячей воде.

Лучшие результаты дает флюс НЖ-8, не содержащий соедине- ний бора и фтора, способных вызывать последующую коррозию

металла шва. В состав флюса НЖ-8 входят мрамор, фарфор, ферромарганец, ферросилиций, ферротитан и двуокись титана. Флюс разводится на жидком стекле (650 г на 1 кг сухой смеси) и наносится на кромки в виде пасты. Сварку начинают после полного высыхания флюса.

Хромоникелевые сплавы целесообразнее сваривать дуговой, в защитных газах или контактной (точечной, шовной) сваркой; эти способы дают меньшую зону нагрева и поэтому вызывают меньшее коробление изделия, а также более высокое качество сварного соединения, чем газовая сварка.

Хромистые нержавеющие, кислотостойкие и окалиностойкие стали. Эти стали дешевле и менее дефицитны, чем хромоникелевые, а потому широко применяются для изготовления химической и нефтеперерабатывающей аппаратуры. Если хрома содержится от 4 до 14%, то сталь относится к среднелегированным, при содержании хрома более 14% — к высоколегированным. Среднелегированные хромистые стали содержат до 0,15% углерода и применяются в конструкциях, где не требуется высокая прочность, но необходима устойчивость против коррозии. Хромистые стали находят достаточно широкое применение в химическом машиностроении, для чего используются стали марок 0X13, 1X13, 1X17T, X17, 1X17H2, X25T и X28AH.

Для сварки хромистых сталей могут применяться те же электроды и режимы, что и для сварки аустенитных хромоникелевых сталей. Разработаны также специальные марки электродов для сварки ферритных высокохромистых нержавеющих, окалиностойких и жаропрочных сталей. К ним относятся: электроды УОНИ-13/X13 и НЗЛ/X13 с проволокой Св-10X19 — для сварки нержавеющих хромистых сталей, содержащих 13% хрома. Рекомендуется предварительный и сопутствующий подогрев до 350—450°С. После сварки необходима термообработка — высокий отпуск при 700—730°С.

Электроды ЦЛ-10 с проволокой 0,8% С и 16—18% Сг, электроды НЗЛ/X17 с проволокой Св-10X17T, а также электроды X17/ВИ-12-6; АН-В-9; АНВ-10; ЦП-11 и другие предназначаются для сварки сталей с 17% хрома. Применяется предварительный и сопутствующий подогрев и последующая термообработка по вышеуказанным режимам. Электродами ЦЛ-10 выполняют плакирующий (защитный) слой из стали 08X12 при сварке двухслойной стали — МСт3 и 18X12, если возможна термообработка изделия после сварки.

Электроды ЦЛ-32 предназначаются для сталей типа 1X11В2МФ, работающих при температурах до 610°С. Рекомендуется предварительный и сопутствующий подогрев до 300—400°С с последующим высоким отпуском при 730°С.

Электроды КТИ-9 используют для сварки стали 15X11МФ, работающей при температурах до 560°С. Рекомендуется предварительный и сопутствующий подогрев при температуре не ниже 300°С и последующий отпуск при 680°С.

Электроды КТИ-11 применяют для сварки стали 15Х12ВМФ, работающей при температуре 580°С. Необходим предварительный и сопутствующий подогрев при температуре не ниже 300°С и последующий отпуск при 700—710°С с выдержкой 5 ч.

Стали 1Х17Н2 сваривают электродами АНВ-2, АНВ-1, а при требовании по коррозионной стойкости после отпуска при 700°С — электродами АНВ-2, ЦЛ-11, ЭНТУ-3Б. Для сталей Х25Т с требованиями по жаростойкости используют электроды ЦЛ-8, ОЗЛ-6, НИИ-48, а при требовании по сопротивляемости межкристаллитной коррозии — электроды СЛ-25, АНВ-11, ПЛ-9, КБ-3М, ЭЗБ-Св-07Х25Н13, Э40/Х25Н5Б. Если изделие из стали Х25Т работает при температурах 950—1100°С, применяют электроды ЭНТУ-3/Х27Н4N или Ф-1/Х27Н4N. Для сталей Х28Н используются электроды ЭНТУ-3/Х27Н4N, ЭЗБ/Св-07Х25Н13, СЛ-25, АНВ-9, ЦЛ-9, ЭА-48М/22, НИИ-48.

Электроды имеют фтористокальциевое покрытие и требуют применения для сварки постоянного тока обратной полярности. Режимы сварки такие же, как и при сварке хромоникелевых сталей. Сварка ведется наиболее короткой дугой. Металл толщиной свыше 8—10 мм следует сваривать, если возможно, с предварительной подваркой корня V-образного шва с обратной стороны.

Сварка *высокопрочной стали* Х16Н6 производится электродами ХВ-1 со стержнем из проволоки Х16Н6 и покрытием следующего состава (%): доломит 32,5; плавиковый шпат 10; двуокись титана 24; фтористый барий 20; ферросилиций 45%-ный 8; молибденовый порошок 5,5; жидкое стекло 30 (к весу сухой части покрытия). Режимы сварки следующие: ток постоянный обратной полярности; при толщине металла 6 мм — диаметр электрода 3 мм, величина тока 90—100 а; при толщине 12—13 мм — диаметр электрода 4 мм, ток 120 а. После сварки сварные соединения для предотвращения межкристаллитной коррозии и повышения механических свойств подвергают закалке в воде с температурой 1000°С, обработке холодом при минус 70°С в течение 2 ч и старению при 400°С в течение 1 ч.

При газовой сварке хромистых сталей применяют нормальное пламя мощностью 70 дм³/ч ацетилена на 1 мм толщины металла. В качестве присадки используют проволоку Св-02Х19Н9 или проволоку Св-06Х19Н9Т с титаном. Перед сваркой кромки зачищают до металлического блеска. Сварку ведут с максимальной скоростью, без перерывов и повторных нагревов. Во избежание образования трещин применяют одностороннюю однослойную сварку. Для уменьшения выгорания хрома и удаления его окислов применяют флюсы тех же составов, что и при сварке хромоникелевых сталей.

При длительном нагреве высокохромистые стали склонны к росту зерна, что снижает их прочность. Поэтому газовой сваркой эти стали сваривать не рекомендуется.

Высокомарганцовистая сталь марки Г-13. Эта сталь содержит 1—1,5% углерода и от 11 до 14% марганца, обладает высокой

твердостью и стойкостью против истирания, используется для изготовления стрелок и крестовин железнодорожных путей, зубьев ковшей экскаваторов и др.

При нагреве свыше 1200°C и медленном охлаждении механические свойства марганцовистой стали резко ухудшаются вследствие выделения в ней карбидов марганца, делающих сталь хрупкой и склонной к образованию трещин. Поэтому высокомарганцовистые стали лучше сваривать дуговой сваркой, дающей меньшую зону нагрева и более быстрое охлаждение шва, чем газовая сварка.

Высокомарганцовистые стали Г-13 сваривают электродами ОЗЛ-4 со стержнем из проволоки Св-10Х20Н15 или электродами ЦЛ-2М и ЦЛ-2АЛ со стержнем из проволоки Св-04Х19Н9. Для наплавки и заварки дефектов литья в один-два слоя применяют электроды ОМГ со стержнем из проволоки Св08 или Св-08А, а для многослойной износостойкой наплавки и заварки (например, железнодорожных крестовин) — электроды ОМГ-Н со стержнем из проволоки 08Н3. Разработаны также новые электроды ОЗЛ-19 для сварки стали Г-13 со сталями типа 35; 30ХГСА, отличающиеся низкой склонностью к образованию трещин в металле шва и околошовной зоне. Это достигается за счет малого проплавления основного металла и наличия ферритной фазы в наплавленном металле. Стержи электродов ОЗЛ-19 имеют диаметр 3—4 мм и изготовлены из стали 07Х25Н13. Они пригодны для сварки во всех пространственных положениях. Все эти электроды имеют покрытие фтористокальциевого типа и требуют применения постоянного тока обратной полярности. Сварку и наплавку ведут в нижнем и наклонном положениях наиболее короткой дугой, обеспечивая наименьший разогрев детали. При этом марганец и углерод выгорают в меньшей степени. Электроды ОЗЛ-4, ЦЛ-3М, ЦЛ-2АЛ, ОМГ и ОМГ-Н дают наплавленный металл аустенитной структуры с включением карбидов марганца. Покрытия ОМГ и ОМГ-Н содержат 50—60% феррохрома, 2% серебристого графита, 22—28% мрамора, 16—20% плавикового шпата и 0,5—1% кальцинированной соды. Режимы сварки следующие:

Диаметр электрода, мм	2	2,5	3	4	5
Ток, а	30—50	40—80	50—100	110—140	150—180

При сварке марганцовистых сталей образуется довольно большое количество газов. Чтобы облегчить выход газов из расплавленного металла, наплавку следует выполнять уширенными валиками, короткими участками, иначе шов получится пористым. Для повышения твердости наплавки и придания ей большей прочности, вязкости и износоустойчивости нужно после наложения каждого валика, пока он еще нагрет до красного каления, производить закалку с помощью холодной воды. Уплотнять шов можно легкой проковкой в горячем состоянии непосредственно после наплавки.

Сварка двухслойных сталей. Двухслойные стали находят широкое применение в химическом машиностроении. Они состоят из

низкоуглеродистой или низколегированной стали (основной слой), покрытой более тонким слоем из высоколегированной стали (защитный слой), предохраняющий металл основного слоя от корродирующего действия агрессивной среды, находящейся в аппарате или емкости. Наиболее часто применяют двухслойные стали толщиной 8—40 мм с основным слоем из стали марок: сталь 10, ВСтЗсп, 15К, 20К, 16ГС (ЗН), 0972С (М), 12МХ, 12ХМ и защитным (плакирующим) слоем из коррозионно-стойких сталей марок 0Х13 (ЭИ496), 0Х18Н10Т, Х17Н13М2Т, 0Х17Н16М3Т. Применяются также двухслойные стали толщиной 10—12 мм с коррозионно-стойким слоем из стали 0Х23Н28М2ДЗТ. Двухслойные стали получают путем совместной горячей прокатки двух листов из стали основного плакирующего слоя, которые при этом прочно свариваются между собой.

Сварка двухслойных сталей производится одним из следующих способов: автоматической сваркой под флюсом основного и плакирующего слоя; ручной сваркой основного и плакирующего слоя; автоматической сваркой под флюсом основного слоя и ручной сваркой плакирующего слоя; полуавтоматической сваркой под флюсом и в среде углекислого газа основного слоя и аргоно-дуговой сваркой плакирующего слоя.

Подготовка кромок производится в соответствии с ГОСТ 16098—70. При ручной сварке применяется следующая последовательность операций: ручная многослойная сварка основного слоя из углеродистой стали; вырубка или выплавка углеродистого шва со стороны плакирующего слоя до чистого металла; ручная сварка плакирующего слоя. Для сварки используются электроды, предназначенные для сварки сталей соответствующих марок. Например, для основного слоя из стали ВСтЗст, 10, 15К применяют электроды АНО-1, АНО-4, ОММ-5, ЦМ-7, УОНИ-13/45 и др. Для основного слоя из сталей 12МХ — электроды ГЛ-14, ЦУ-2МХ, ЦЛ-14 и др.

Для сварки плакирующего слоя из сталей 0Х13 и Х18Н10Т применяют электроды типа ЭА-2 с покрытием СЛ-25, ГЛ-10, ОЗЛ-6, ЗИО-8. При наличии требований по устойчивости к межкристаллитной коррозии этих сталей для сварки 1-го слоя используют те же электроды, для 2-го слоя используют электроды типа ЭА-1Б с покрытиями марок Л-40М, ЦЛ-11, Л-38М, ЦЛ-9, ОЗЛ-7, ЭНТУ-3/389. Для плакирующего слоя из стали 0Х17Н16М3Т применяют электроды с покрытием марки НЖ-16 и проволокой Св-06Х19Н10М3Т. Могут также применяться электроды и других марок, удовлетворяющие требованиям ГОСТ 10052—62.

Для сварки двухслойной стали с плакирующим слоем из стали 0Х23Н28М3ДЗТ используют следующие электроды: для основного слоя — типа Э42А, Э46, Э50А по ГОСТ 9467—60; для плакирующего слоя — электроды со стержнем из проволоки 000Х23Н28М3ДЗТ и покрытиями ХЛ-1, ОЗЛ-17У, ХК-1.

Режимы сварки и род тока применяются те, которые указываются в паспорте на электрод данной марки. В качестве примера приводим режимы для сварки:

Толщина металла, мм	Основной слой		Плакирующий слой	
	Диаметр электрода, мм	Ток, а	Диаметр электрода, мм	Ток, а
10	4	140—160	4	110—130
14	4	160—180	4—5	140—150
16	4—5	190—210	4—5	150—160
20	4—5	210—230	4—5	160—180

Для сварки плакирующего слоя аустенитными электродами применяют постоянный ток обратной полярности (плюс на электроде), сварку производят короткой дугой. При сварке в несколько проходов последующие слои накладывают после охлаждения предыдущего слоя до температуры не выше 100°С.

После сварки двухслойных сталей с основным слоем из стали 12ХМ и 12МХ применяют последующую термообработку по режиму высокого отпуска — 680—710°С с выдержкой 2 ч и охлаждением на воздухе. Во избежание трещинообразования сварку этих сталей рекомендуется вести с предварительным и сопутствующим подогревом кромок до 200—250°С.

§ 5. СВАРКА ТЕРМИЧЕСКИ УПРОЧНЕННЫХ СТАЛЕЙ

В сварных конструкциях широко используются низколегированные высокопрочные стали, упрочненные термообработкой после прокатки и удовлетворительно сваривающиеся. Они хорошо режутся кислородом, имеют высокую пластичность, предел текучести их равен $\sigma_T = 56—90 \text{ кгс/мм}^2$, малочувствительны к хладноломкости. Например, низколегированные марганцовистые стали повышенной прочности 09Г2, 14Г2, 15ГС, 19Г и др. по ГОСТ 5058—57 имеют временное сопротивление разрыву 55—60 кгс/мм^2 , предел текучести 37—46 кгс/мм^2 , относительное удлинение 20—38%, ударную вязкость 9—33 $\text{кгс}\cdot\text{м/см}^2$. Эти стали содержат 0,2% углерода, 1,4% марганца, до 0,13% титана и поставляются в термически обработанном, так называемом термоупрочненном состоянии (например, нормализация 900°С, 30 мин, охлаждение на воздухе или закалка с 900°С в воде и последующий отпуск: 09Г2—500—600°С; 14Г2, 19Г, 14ХГС — 600—680°С). Эти стали сохраняют достаточно высокую ударную вязкость при температуре до —60°С.

В судостроении и мостостроении применяют термически упрочненную сталь 12Г2МФТ, имеющую критическую температуру перехода в хрупкое состояние минус 70°С и ниже. Она хорошо сваривается, имеет временное сопротивление свыше 54 кгс/см^2 , относительное удлинение не ниже 7%, ударную вязкость при —70°С более 2,9 $\text{кгс}\cdot\text{м/см}^2$.

Для изготовления арматуры железобетонных конструкций применяется термоупрочненная сталь марки 35ГС.

Высокопрочные низколегированные стали в сварных конструкциях снижают их вес, повышают несущую способность конструкций, увеличивают экономичность и долговечность. Из этих сталей изготавливают мосты, резервуары, сосуды высокого давления, напор-

ные трубопроводы и пр. Они чувствительны к влаге (покрытия электродов, флюсы должны перед сваркой обезвоживаться прокалкой, а углекислый газ — осушкой), являющейся источником появления водорода в металле шва, вызывающего трещины. Для предупреждения появления трещин замедляют охлаждение после сварки. Рекомендуется умеренный подогрев изделия до 120° С.

Для ручной дуговой сварки этих сталей рекомендуются следующие режимы:

Толщина стали, мм	12	20	30	40
Электроды	УОНИ-13/55, Ø 5 мм			
Ток, а	220	220	220	220
Скорость сварки, м/ч	9	6,3	6,3	6,3
Погонная энергия, кал/см	6000	8000	8000	8000
Разделка кромок	V-образная		X-образная	
Зазор, мм	4	4	4	4

Сварка ведется электродами с фтористокальциевым покрытием, на постоянном токе обратной полярности, с послойным охлаждением шва. Скорость охлаждения околошовного участка стали 18Г2 — 3—10 град/сек, стали 18Г2Т — 2—32 град/сек. При указанных режимах сварки наплавленный металл имеет временное сопротивление разрыву 66—72 кгс/мм², ударная вязкость сварного соединения 12—14 кгс·м/см².

Глава XVII

СВАРКА ЧУГУНА

§ 1. СВОЙСТВА И СВАРИВАЕМОСТЬ ЧУГУНА

Чугуном называют сплав железа с углеродом, содержащий более 1,7% углерода. Обычно в чугуне содержится от 2,6 до 3,6% углерода, некоторое количество кремния, марганца, примесь фосфора и серы.

Чугун менее прочен и более хрупок, чем сталь, но дешевле стали и хорошо отливается в формы. Поэтому чугун широко используют для изготовления литых деталей.

Сваркой исправляют литейные дефекты, а также ремонтируют чугунные детали, вышедшие из строя вследствие разрушения или износа.

При сварке чугуна возникает ряд затруднений, обусловленных его химическим составом, структурой и механическими свойствами. В основном приходится учитывать следующее:

1. Возможность образования твердых закалочных структур (мартенсита, троостита) при быстром охлаждении чугуна с температуры выше 750°С. В закаленных зонах металл тверд и не поддается механической обработке. При расплавлении чугуна может произойти местный переход графита в цементит, отчего металл в данном месте получает структуру твердого белого чугуна (отбеливание чугуна).

Кремний является полезной примесью в чугуне, так как способствует выделению углерода в виде графита, т. е. образованию структуры серого чугуна. Если при сварке кремний выгорает, то в данном месте происходит отбеливание чугуна — образуется цементит.

2. Возможность образования трещин при неравномерном нагреве вследствие низкой пластичности чугуна. Трещины могут возникать в целом металле как в процессе сварки, так и после ее, при нагревании и остывании изделия.

При общем равномерном нагреве до 300°С опасность возникновения трещин уменьшается.

3. Жидкотекучесть чугуна в расплавленном состоянии и полная потеря пластичности при плавлении и затвердевании. Переход чугуна из жидкого в твердое состояние происходит, минуя пластичное состояние.

4. Возможность появления пористости шва, обусловленной окислением углерода с обильным образованием газообразной оки-

си углерода. Низкая температура плавления и быстрый переход чугуна из жидкого в твердое состояние не позволяют газам полностью выделиться из металла, отчего шов получается пористым.

5. Образование пленки тугоплавких окислов кремния, имеющих более высокую температуру плавления, чем основной металл.

Свариваемость чугуна зависит от характера распределения в нем включений графита. Лучше всего сваривается чугун перлитного типа, с мелким пластинчатым или сфероидальным графитом. Чугун с малыми и средними включениями графита, окруженными твердым раствором углерода в железе, сваривается удовлетворительно. Хуже всего поддается сварке чугун с крупными включениями графита в виде сплошной сетки, затрудняющей сплавление основного и присадочного металла.

При сварке чугуна необходимо стремиться получить одинаковую твердость металла в шве, переходной зоне и основном металле, допускающему обработку сварного соединения режущим инструментом.

Чугунные детали в зависимости от их размеров и формы можно сваривать без подогрева или с подогревом — частичным или полным.

Для сварки чугуна без подогрева применяют дуговую сварку стальными электродами, медно-железными электродами, электродами из медно-никелевых сплавов, порошковой проволокой, низкотемпературную газовую сварку-пайку, газовую сварку латунным прутком.

Дуговую сварку с подогревом выполняют чугунными электродами, угольным электродом с чугунной присадкой; применяют также газовую сварку чугунным прутком.

§ 2. СВАРКА ЧУГУНА БЕЗ ПОДОГРЕВА

Сварка чугуна без подогрева связана с опасностью появления в детали, особенно сложной формы, трещин в результате неравномерного нагрева. Кроме того, при сварке без подогрева возможно образование участков твердого отбеленного чугуна в шве и переходной зоне. При сварке чугуна без подогрева металл шва получается с иной структурой и свойствами, чем основной металл.

Применяют следующие способы сварки чугуна без подогрева.

Сварка стальными электродами с применением шпилек. Сталь при наплавке на чугун плохо сцепляется с ним из-за разной усадки. Кроме того, наплавленная на чугун сталь обогащается углеродом в зоне плавления, становится хрупкой, склонной к закалке, и дает при остывании трещины. Поэтому при сварке чугуна обычными стальными электродами (УОНИ-13/45 и УОНИ-13/55) для более надежного сцепления наплавленного металла с основным на кромках в шахматном порядке ставят на резьбе стальные шпильки (рис. 135, а).

При толщине стенки менее 10 мм шпильки ставят только на не-скошенной части кромок. Шпильки обваривают кругом, после чего шов заполняют наплавленным металлом (рис. 135, б).

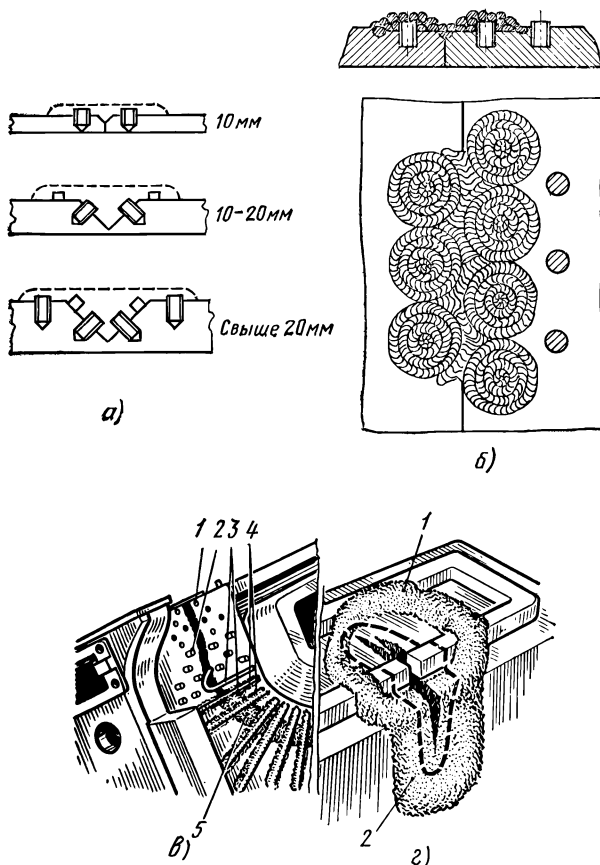


Рис. 135. Сварка чугуна с применением стальных шпилек:

а — установка шпилек при V-образной подготовке кромок, *б* — обварка шпилек, *в* — вварка стальных связей: 1 — отверстия с резьбой, 2 — шпильки, 3 — связи, 4 — обварка шпилек и связей, 5 — заварка трещин; *г* — формовка при сварке чугуна: 1 — верхняя, 2 — боковая

Диаметр шпилек $d = (0,15 \div 0,2) S$, где d — диаметр шпильки, S — толщина стенки, мм. Шпильки диаметром менее 3 мм не применяют. Расстояние между шпильками составляет $(4 \div 6)d$, глубина посадки $2d$, расстояние от кромок не менее $(1,5 \div 2)d$.

Электроды с покрытием типа УОНИ применяют при сварке чугуна потому, что они требуют использования постоянного тока обратной полярности. Это уменьшает перегрев детали и снижает

выгорание кремния. Для снижения внутренних напряжений сварку ведут с перерывами, не давая изделию нагреться выше 100° С. При использовании электродов диаметром 3 мм ток не должен превышать 120 а, диаметром 4 мм — 150 а; 5 мм — 220 а.

Первые слои шва и обварку шпилек целесообразно выполнять электродами (ЦЧ-4) (см. ниже), а последующие — УОНИ-13/55. Предварительно с поверхности детали в обе стороны от шва снимается литейная корка на расстоянии, примерно равном ширине разделки. При сварке деталей с толстыми стенками для уменьшения количества наплавленного металла рекомендуется в шов вваривать связи из круглой или полосовой стали (рис. 135, в). С целью увеличения площади соприкосновения наплавленного и основного металла верхние слои наплавляют на наружные поверхности детали в обе стороны от шва на ширину, равную толщине стенки в данном месте.

Сварка чугуна без подогрева стальными электродами с дополнительным креплением стальными шпильками и связями является вполне надежной и применяется при ремонте ответственных крупногабаритных деталей, испытывающих большие нагрузки.

Сварка специальными электродами. Для сварки и наплавки без подогрева деталей из серого и высокопрочного чугуна и заварки дефектов в отливках применяют электроды ЦЧ-4 из проволоки Св-08 с фтористо-кальциевым покрытием, разработанные отделом сварки ЦНИИТМАШ. В состав покрытия введены элементы, активно вступающие в механическое соединение с углеродом свариваемого металла и образующие устойчивые карбиды, не растворимые в железе. Сварка электродами ЦЧ-4 может вестись в нижнем и вертикальном положении. Применяется постоянный ток прямой полярности, можно использовать переменный ток. Режимы сварки следующие:

Диаметр электрода, мм	3	4	5
Ток, а	60—80	90—110	120—150

Сварку производят небольшими участками длиной 30—60 мм. Для улучшения обрабатываемости рекомендуется на ранее наплавленный слой накладывать отжигающий валик, не затрагивая при этом основного металла. При сварке металла больших толщин первые слои по чугуну выполняют электродами ЦЧ-4, а затем заполняют всю разделку кромок электродами УОНИ-13/45 или УОНИ-13/55. Для уменьшения напряжений наплавленный металл проковывают легкими ударами молотка. Сварку возобновляют после остывания металла до 50—60° С. Коэффициент наплавки электродами ЦЧ-4 равен 9—11 г/а·ч; наплавленный металл может обрабатываться твердосплавным инструментом.

Институтом электросварки им. Е. О. Патона разработан способ автоматической и полуавтоматической сварки чугуна порошковыми проволоками ППЧ-1, ППЧ-2 и ППЧ-3 на постоянном токе обратной полярности. При сварке ответственных изделий дугу защищают углекислым газом. Проволока ППЧ-1 предназначена для

сварки чугуна без предварительного подогрева, проволоки ППЧ-2 и ППЧ-3 для сварки с подогревом — полным или частичным.

Проволока ППЧ-1 имеет следующий расчетный химический состав: 6,5—7% углерода; 3,8—4,2% кремния; 0,4—0,6% марганца; 0,2—0,6% титана; 0,7—1,0% алюминия, остальное железо. При диаметре проволоки 3 мм ток берется 250—280 а, напряжение дуги 28—32 а, скорость подачи проволоки 180 м/ч. Порошковую проволоку можно применять как при ремонтной сварке изделий, так и при заварке дефектов чугунного литья.

Для механизированной сварки и наплавки высокопрочного чугуна (например, ВЧ 45-5) с шаровидным графитом на постоянном токе прямой полярности применяется порошковая проволока, в которую наряду с элементами-графитизаторами (углерод, кремний) также добавлены элементы, способствующие образованию графита шарообразной (глобулярной) формы. Возможна заварка крупных и мелких недоливов, сквозные и несквозные трещины, раковины, спай и другие дефекты. Сварка ведется открытой дугой, так как состав проволоки позволяет вести процесс без дополнительной защиты дуги. Оптимальный сварочный ток 350—650 а, напряжение дуги 28—45 в, скорость подачи проволоки 110—250 м/ч.

Медно-железные электроды ОЗЧ-1. Эти электроды с фтористо-кальциевым покрытием, содержащим железный порошок, применяются для сварки и наплавки чугуна без подогрева. Состав покрытия: 50% железного порошка; 27% мрамора; 7,5% плавикового шпата; 4,5% кварца; 2,5% ферромарганца; 2,5% ферросилиция; 6,0% ферротитана; 0,5% соды. Стержень электрода выполнен из меди М-2 или М-3. В отдельных случаях при повышенных требованиях к чистоте поверхности после обработки и плотности сварного соединения электроды ОЗЧ-1 применяются в сочетании с электродами МНЧ-1 (см. ниже), которыми свариваются первые два или один последний слой шва. Электроды ОЗЧ-1 допускают сварку в нижнем вертикальном и полупотолочном положении. Применяется постоянный ток обратной полярности при диаметре электрода: 3 мм — 90—110 а; 4 мм — 120—140 а, 5 мм — 160—190 а. Сварку ведут предельно короткой дугой, участками по 30—60 мм, проковывая каждый участок сразу же после обрыва дуги и возобновляя сварку после охлаждения наплавки до 50—60° С. Коэффициент наплавки электродов ОЗЧ-1 равен 13—14 г/а·ч. Сварное соединение допускает обработку твердосплавным инструментом.

Медно-никелевые электроды МНЧ-1. Эти электроды с фтористо-кальциевым покрытием имеют проволоку из сплава НМЖМц (монель-металл) состава: 28% меди, 2,5% железа, 1,5% марганца, остальное никель, или из сплава МНМц (константан) состава: 40% никеля, 1,5% марганца, остальное — медь. Применяются для сварки и наплавки чугуна без подогрева, в сочетании с электродами ОЗЧ-1 (для сварки первого, обеспечивающего плотность, и последнего, обрабатываемого, швов). Сварку ведут так же, как и электродами ОЗЧ-1, на тех же режимах, короткими участками с проковкой металла шва. Наплавленный слой хорошо обрабатывается.

Коэффициент наплавки электродами МНЧ-1 равен 11—12 г/а·ч. При заварке трещины ее кромки оставляют шероховатыми, а концы засверливают. Трещину разделяют с углом раскрытия 70—90° на глубину 2/3 толщины металла. Поверхность детали на ширину 10—15 мм в обе стороны от трещины зачищают до металлического блеска, так как следы ржавчины, масла и прочих загрязнений вызывают появление пористости в наплавленном металле.

Институтом электросварки им. Е. О. Патона разработаны электроды АНЧ-1 со стержнем из аустенитной хромоникелевой проволоки марки Св-04Х19Н9 или Св-04Х19Н9Т, снабженной медной оболочкой и покрытием фтористо-кальциевого типа, например УОНИ-13/55. Эти электроды предназначены для холодной ремонтной сварки чугунных изделий. При диаметре стержня электрода 3,5 мм толщина покрытия равна 0,3—0,4 мм на сторону. Медная оболочка на проволоку диаметром 2 мм наносится совместной протяжкой с медной лентой толщиной 0,8 мм, шириной 12 мм через фильер (оправку с отверстиями). Содержание меди в электроде равно 75—80%. Сварка производится постоянным током 100—120 а обратной полярности. Наплавленный такими электродами чугун получается мягким с мелкораспределенными включениями железа и меди. Трещин и пор при сварке не образуется.

Отделом сварки ЦНИИТМАШ разработаны железоникелевые электроды ЦЧ-3А со стержнем из никельсодержащей проволоки Св-08Н50, обеспечивающие высокую прочность сварного соединения, отсутствие трещин и хорошую обрабатываемость наплавленного металла. Эти электроды предназначены для сварки высокопрочного и серого чугуна без подогрева и при заварке незначительных литейных дефектов на обработанных поверхностях сложных и дорогих чугунных отливок. Металл, наплавленный электродами ЦЧ-3А, содержит: 0,25—0,35% углерода, 5—5,5% кремния, 0,2—0,5% марганца, 48—50% никеля. Содержание серы и фосфора не превышает 0,03% каждого.

Чугун также можно сваривать в защитной среде аргона электродной проволокой из меди МНЖКТ-5-1-0,2-0,2, содержащей никель, железо, кремний и титан.

Для ремонтной заварки блоков автомобильных двигателей Краматорский индустриальный институт и Горловский авторемонтный завод разработали способ сварки чугуна проволокой из меди М0 и М1 диаметром 1,2—1,6 мм в защитной среде углекислого газа. Сварка производится на постоянном токе обратной полярности; ток для ϕ 1,2 мм равен 100—120 а, для ϕ 1,6 мм — 160—180 а.

§ 3. СВАРКА ЧУГУНА С ПОДОГРЕВОМ

Ответственные детали из чугуна сваривают с предварительным подогревом с целью предупреждения отбеливания чугуна, вызываемого ускоренным охлаждением в интервале температур от начала затвердевания до 600° С, и образования трещин. Температура нагрева зависит от веса и формы детали. Иногда достаточно подогреть

деталь до 150—200° С; детали более сложной формы нагревают до 400—450° С, а особо сложной формы — до 550—600° С. Более высокий подогрев не рекомендуется, так как может привести к росту зерна.

Перед заваркой дефектное место тщательно вырубает и зачищают. Вырубленное место должно иметь плавные очертания без острых углов, в которых жидкий металл может не сплавляться с основным металлом. Свариваемую поверхность располагают горизонтально и вокруг выкладывают форму из графитовых или угольных пластинок, плотно прилегающих к поверхности, препятствующих стеканию расплавленного металла и придающих шву нужные очертания. Иногда применяют форму из огнеупорной глины или формовочной земли, замешанной на жидком стекле, которая должна быть просушена при температуре 30—50° С (рис. 135, з).

Для подогрева деталь помещают в печь или горн. Если деталь большая, то в полу цеха делают яму, выкладывают ее огнеупорным кирпичом, помещают туда деталь и засыпают древесным углем. Вместо ям можно использовать железные ящики с большим количеством отверстий в стенках для доступа воздуха. В ящик укладывают нагреваемую деталь. Применяют также нагрев в электрических печах или индукционный нагрев током промышленной частоты (50 гц).

Чтобы в детали не появились значительные деформации и трещины, подогрев следует вести медленно и равномерно. После нагревания детали до нужной температуры пространство, образованное формой, заполняют расплавленным металлом электрода, причем необходимо во время всего процесса сварки ванну поддерживать в жидком состоянии. Крупные дефекты заваривают, разбирая их на участки, которые отделяют графитовыми пластинками, плотно пригнанными к поверхности металла. Соседние участки для обеспечения большей плотности заполняют песком. Чтобы не делать перерывов во время смены электродов, сварку выполняют два сварщика.

При сварке чугуна с подогревом применяют чугунные стержни по ГОСТ 2671—70 марки А или Б (см. § 4) с покрытием ОМЧ-1. Сварку ведут на переменном или постоянном токе прямой полярности. Покрытие имеет следующий состав: 25% мела, 41% графита, 25% плавикового шпата, 9% ферромарганца, 30% жидкого стекла к весу сухой смеси. Толщина покрытия 0,2—0,3 мм на сторону. Ток равен: для стержня диаметром 6 мм — 200—300 а; 8—10 мм — 300—450 а; 10 мм — 450—600 а; 12—15 мм — 680—700 а.

Для сварки с подогревом применяют удлиненные электрододержатели, снабженные защитным щитком и рассчитанные на большие токи. Удобны электрододержатели, в которых электрод приваривается к штанге.

При сварке необходимо следить, чтобы температура ванны не была слишком высокой или слишком низкой. В первом случае наплавленный металл быстро плавит основной металл («съедает» его), а во втором — плохо сплавляется с ним. В перегретую ванну реко-

мендуется подбрасывать куски электрода для охлаждения; при недостаточном нагреве — увеличивать ток и усиливать предварительный подогрев.

Во избежание отбеливания и появления трещин после сварки деталь подвергают медленному охлаждению, для чего засыпают ее древесным углем, закрывают асбестом и постепенно снижают температуру в печи. Остывание в зависимости от веса и формы детали длится от нескольких часов до нескольких суток.

При сварке чугуна с предварительным подогревом основной и присадочный металл можно расплавлять на постоянном токе 250—450 а с применением угольного электрода. Вследствие большой скорости плавления и значительного объема сварочной ванны этим способом заваривают крупные поверхностные дефекты чугуна: литья и исправляют литейный брак. Для удаления окислов кремния при сварке чугуна угольной дугой в качестве флюса используют буру или другие флюсы, употребляемые при газовой сварке чугуна.

Иногда сварка выполняется с нагревом только части детали, находящейся около шва. Такой процесс называется *сваркой с частичным подогревом*. В этом случае заваривать дефекты можно одним из вышеуказанных способов.

А. И. Зеленовым разработан способ наплавки чугуна чугунным электродом по слою гранулированной шихты следующего состава: 30% стружки чугунной, 28% ферросилиция 75%-ного, 30% алюминия, 12% силикокальция. Шихта замешивается на жидком стекле, затем сушится, прокаливается при 300° С и размалывается в крошку размером 1—3 мм. Толщина слоя шихты должна быть при сварке 4—6 мм, при наплавке — 8—10 мм, ширина слоя 75—80 мм. Диаметр электрода равен 7—8 мм, ток применяется постоянный или переменный, лучшие результаты дает постоянный ток. Благодаря присутствию в шихте графитизаторов и замедленному охлаждению наплавленного слоя металл наплавки получается мягким и хорошо обрабатывается резцом.

Дуговая сварка может применяться также при ремонте деталей из ковкого высокопрочного чугуна. Детали из ковкого чугуна сваривают электродами из белого чугуна или угольными, а деталь предварительно нагревают до 200—400° С. Сваренную деталь подвергают томлению.

Если чугун сваривают после томления, то применяют электроды УОНИ-13/55 или МНЧ-1 из монель-металла. Детали, подлежащие механической обработке, после сварки отжигают при 650—750° С.

Дуговая сварка высокопрочного чугуна может также производиться железо-никелевыми электродами, содержащими 0,15% углерода, 0,1—0,3% марганца, 55—60% никеля, 0,15% кремния, не более 0,035% серы, не более 0,04% фосфора, остальное — железо. В качестве покрытия используется смесь из 35% доломита, 25% плавленого шпата, 10% графита, 30% ферросилиция. Шихта покрытия замешивается на жидком стекле, составляющем 30—32% к весу сухой части шихты. Сварка производится с предвари-

тельным нагревом изделия до 300—350°С и возвратным движением электрода для прогрева металла шва. После сварки участка длиной 25—50 мм его проковывают в горячем состоянии. Временное сопротивление металла, наплавленного таким способом, 24—34 кгс/мм², т. е. составляет 50—75% прочности основного металла.

§ 4. ГАЗОВАЯ СВАРКА ЧУГУНА

Газовая сварка чугуна является одним из наиболее надежных способов, позволяющих получать наплавленный металл по свойствам, близким к основному металлу. Это обусловлено тем, что при газовой сварке происходит более длительный и равномерный нагрев и охлаждение детали, чем при дуговой сварке, а поэтому обеспечиваются лучшие условия для графитизации углерода в наплавленном металле и менее вероятно появление в соседних со швом участках зон отбеленного чугуна. Уменьшаются внутренние напряжения в свариваемом изделии и возможность образования в нем трещин.

Газовую сварку серого чугуна лучше вести с применением предварительного подогрева. Скос кромок делают односторонний (V-образный), с углом раскрытия 90°. Кромки тщательно очищают от масла, ржавчины и грязи щеткой или пескоструйным аппаратом и прогревают пламенем горелки. В качестве присадочных прутков используют чугунные стержни диаметром 6; 8; 10; 12; 14 и 16 мм, длиной 400—700 мм. Согласно ГОСТ 2671—70 прутки чугунные для сварки и наплавки выпускаются следующих марок:

- А— для горячей газовой сварки;
- Б— для газовой сварки с местным подогревом и для электродных стержней, сварки тонкостенных изделий;
- НЧ-1— для низкотемпературной газовой сварки тонкостенных отливок;
- НЧ-2— для низкотемпературной газовой сварки толстостенных отливок;
- БЧ и ХЧ— для износостойкой наплавки.

Прутки выпускаются: ϕ 4 мм, длиной 250 мм; ϕ 6 мм, длиной 350 мм; ϕ 8—10 и 12—16 мм, длиной 450 мм. Согласно ГОСТ 2671—70 прутки должны иметь следующую характеристику:

Марка прутка Химический состав, %:	А	Б	НЧ-1	НЧ-2	БЧ	ХЧ
углерод . .	3—3,5	3—3,5	3—3,5	3—3,5	2,5—3	2,5—3
кремний . .	3—3,4	3,5—4	3—3,4	3,5—4	1—1,5	1,2—1,5
марганец .	0,5—0,8	0,5—0,8	0,5—0,8	0,5—0,8	0,2—0,6	0,5—0,8
сера, не более	0,08	0,08	0,05	0,05	0,05	0,05
фосфор . .	0,2—0,4	0,3—0,5	0,2—0,4	0,2—0,4	Не более	0,1
титан . . .	—	—	0,03—0,06	—	—	—
хром	не более	0,05	—	—	—	1,2—2,0
никель . .	не более	0,3—0,4—0,6	—	—	—	—

Твердость по-
верхности
наплавлен-
ного слоя .

230 HB

240 HB

44—46
HRC

48—52
HRC

При малом объеме сварки, а также при сварке тонкостенных деталей без подогрева и с местным подогревом, охлаждение металла происходит быстрее. Поэтому в прутках марки Б увеличено содержание кремния, который способствует выделению углерода в виде графита, а также содержится больше фосфора.

Диаметр прутка берется равным половине толщины основного металла.

При газовой сварке чугуна необходимо применение флюса, который:

1) растворяет тугоплавкие окислы железа, кремния и марганца, переводя их в легкоплавкие шлаки;

2) окисляет и частично растворяет графитные включения чугуна, создавая микроуглубления, улучшающие сплавляемость;

3) защищает ванну от окисления;

4) увеличивает жидкотекучесть шлаков и металла ванны.

В качестве флюса используют прокаленную буру или смесь состава: 56% буры, 22% углекислого натрия (сода) и 22% углекислого калия (поташа). Применяют также флюс, состоящий из углекислого и двууглекислого натрия (по 50%). Хорошей раскисляющей способностью обладает разработанный ВНИИАвтогенмашем флюс ФСЧ-1, состоящий из 23% буры прокаленной, 27% углекислого натрия, 50% азотнокислого натрия. Флюс ФСЧ-1 предназначен преимущественно для заварки больших дефектов, а флюс ФСЧ-2, отличающийся от ФСЧ-1 добавкой углекислого лития, применяют для заварки небольших деталей и низкотемпературной сварки (см. ниже).

Хорошие результаты дает также сварка чугуна с применением газообразного флюса БМ-1, состоящего из летучей бороорганической жидкости (см. §2, гл. XVIII).

Пруток при сварке следует чаще погружать во флюс, а флюс подсыпать в сварочную ванну. Наконечник горелки должен обеспечивать 100—120 $\text{дм}^3/\text{ч}$ ацетилена на 1 мм толщины металла. Кромки скашивают только при толщине стенки более 4 мм.

Сварочное пламя должно быть нормальным или науглероживающим, так как окислительное пламя вызывает сильное местное выгорание кремния и в металле шва образуются зерна белого чугуна. Металл хорошо прогревают, сварку выполняют в нижнем положении быстро, а для массивных деталей желательно двумя горелками одновременно. Концом прутка следует все время перемешивать металл сварочной ванны для облегчения выхода из него растворенных газов, чтобы шов получился непористым.

При сварке прутки погружают в сварочную ванну только после нагрева его конца до температуры светло-красного каления, так как ненагретый пруток может вызвать местное отбеливание чугуна. Пруток вынимают из ванны возможно реже и только для того, что-

бы покрыть его флюсом. Плавление металла должно происходить под флюсом.

Ядро пламени можно периодически удалять от поверхности ванны, которая, однако, все время должна быть покрыта восстановительной частью пламени. Излишняя задержка пламени на одном месте приводит к выгоранию углерода и кремния в данном месте шва, что может вызвать отбеливание чугуна.

Детали сложной формы, имеющие неодинаковое сечение в различных частях, отверстия, перемычки и т. д., во избежание появления в них трещин и внутренних напряжений от неравномерного нагрева необходимо сваривать только с общим предварительным подогревом.

После сварки изделие закрывают асбестом и оно должно медленно остывать.

Низкотемпературная пайка-сварка чугуна латунными припоями. Процесс разработан ВНИИАвтогенмашем и протекает при температуре 700—750° С, при которой в чугуне не происходит структурных изменений. Это исключает опасность отбела чугуна и уменьшает возможность образования трещин. Пайку-сварку целесообразно применять при исправлении дефектов на уже обработанных поверхностях, где важно сохранить первоначальную форму изделия, нельзя использовать подогрев, а также в тонких сечениях, когда необходимо снизить опасность возникновения деформации. Этот способ позволяет получать соединения чугуна с чугуном и другими металлами, что упрощает конструкцию отливок.

В качестве припоя используется кремнистая латунь ЛОК-59-1-0,3, содержащая до 0,4% кремния. Временное сопротивление металла шва при разрыве равно 23 кгс/мм², твердость HB 100.

Для пайки-сварки изделий, к механическим свойствам и товарному виду которых предъявляются повышенные требования, применяется припой ЛОМНА-54-1-10-4-02, содержащий медь, олово, марганец, никель и до 0,6% алюминия. При пайке-сварке этим припоем металл паяносварного шва имеет цвет чугуна, твердость 180—200 HB и временное сопротивление разрыву 28—34 кгс/см².

Применяется поверхностно-активный флюс марки ФПСН-2, содержащий 50% борной кислоты (H_3BO_3), 25% углекислого лития ($ZiCO_3$), 25% углекислого натрия (Na_2CO_3) и галоидосодержащую добавку для удаления вязкой окиси алюминия, образующейся в процессе пайки-сварки.

Флюс плавится при 650° С и служит индикатором начала процесса. Пайку выполняют обычной сварочной горелкой, работающей на ацетилене или газах-заменителях. Пламя должно быть нормальным. Кромки подготавливают механической обработкой. На поверхности чугуна не допускается грязь, окалина. Следы жиров удаляют протиркой растворителями (ацетоном, бензином и др.) Флюс наносят на основной металл после предварительного подогрева кромок до 300—400° С. Пайку-сварку начинают в момент плавления флюса, направляя пламя на прилегающие к разделке участки основного металла во избежание раздувания флюса. Расплавленный

флюс прутком припоя равномерно распределяют по всей поверхности завариваемого места; затем пламя направляют на конец прутка, расплавляют его и по спирали снизу вверх заполняют разделку металлом припоя. Сразу же после затвердевания наплавки ее проковывают медным молотком.

Низкотемпературная сварка-заварка литейных дефектов в чугунных деталях. Данный способ разработан ВНИИАвтогенмашем и состоит в заварке литейных дефектов без расплавления основного металла.

Применяются присадочные прутки НЧ-1 и НЧ-2 по ГОСТ 2671-70.

Флюсы-пасты, применяемые для сварки, содержат 5% двуокиси титана, 10% азотнокислого калия, 12% фтористого натрия, 40% буры плавленной, 11% ферротитана, 15% углекислого лития, 7% железного порошка, 7 весовых частей керосина на 50 частей сухой смеси. При заварке тонкостенных изделий прутками НЧ-1 можно применять флюс ФСЧ-1, состоящий из 24% буры, 27% углекислого натрия, 50% азотнокислого натрия.

При сварке прутками НЧ-2 используется флюс ФСЧ-2, состоящий из 18% буры, 25% углекислого натрия, 56,5% азотнокислого натрия, 0,5% углекислого лития.

Место сварки зачищают до металлического блеска. При толщине стенки до 10 мм кромкам придают V-образную форму с углом раскрытия 70—90°; при толщине стенки более 10 мм — X-образную. Литейные дефекты (поры, шлаковые включения) вырубает и кромки разделяют с общим углом раскрытия шва 45—60°.

Перед сваркой деталь подвергают местному нагреву — горелкой до 300—400°С, детали более сложной формы — общему нагреву в печи до той же температуры.

На нагретую поверхность наносят слой флюса-пасты и место сварки нагревают горелкой до 820—860°С. Пламя должно быть нормальным восстановительным. При такой температуре флюс-паста начинается плавиться, покрывая место сварки тонкой пленкой. Присадочный стержень покрывается флюсом-пастой и расплавляется, постепенно растекаясь по завариваемой поверхности. Сварку ведут справа налево, пламя горелки перемещают впереди шва. После заварки изделие медленно охлаждают в песке или под слоем асбеста.

Такой способ сварки обеспечивает отсутствие зоны твердого отбеленного чугуна, так как основной металл не доводится до состояния плавления, наплавка получается плотной, мягкой и хорошо обрабатывается резцом. Ремонтируемое изделие испытывает незначительные внутренние напряжения, и трещины при заварке не образуются.

Для низкотемпературной сварки чугуна используют пропан-бутан-кислородное пламя с подогревом мундштука (2700°С) и горелки ГЗУ-1-62 и ГЗМ-1-62. Для сварки применяются прутки НЧ-1 и НЧ-2 указанного выше состава. Мощность пламени должна составлять 60—70 дм³/ч пропан-бутана 1 мм толщины металла, пламя

нормальное. При сварке металла толщиной 6—12 мм применяют V-образную подготовку кромок без притупления с увеличенным зазором (до 3 мм) и углом разделки кромок 55°. Пруток держат под углом 30—35°, а мундштук горелки под углом 45° к поверхности металла. Предварительно очищенные кромки нагревают до 300—400° С, покрывают их флюсом и снова нагревают до 820—860° С («отпотевания»). В этот момент в пламя вводят покрытый флюсом пруток и перемешивают его концом ванну, заполняя ее металлом доверху с небольшой выпуклостью. Сварку ведут без перерыва. При толщине металла 6 мм делают один проход, при 9—12 мм — два прохода. Применяют следующие режимы сварки:

Толщина, мм	6	9	12
№ наконечника	5	6	7
Скорость сварки, м/ч	1,7	1,8	0,48
Производительность наплавки, кг/ч	0,73	0,86	1,13

Металл наплавки имеет структуру с равномерно распределенным мелкопластинчатым графитом, твердость металла шва и переходной зоны 220—245 НВ при твердости основного металла 140—160 НВ.

Наряду с пропан-бутаном можно применять и другие газы-заместители: природный газ, городской газ и т. п.

Глава XVIII

СВАРКА ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

§ 1. СВАРКА МЕДИ

Температура плавления меди 1080—1083° С. В интервале температур 300—500° С медь обладает горячеломкостью, в жидком состоянии растворяет газы — кислород и водород, что затрудняет ее сварку. С кислородом образует закись меди (Cu_2O), которая дает промежуточный сплав $\text{Cu} + \text{Cu}_2\text{O}$, располагающийся по границам зерен. Так как температура плавления промежуточного сплава на 20° ниже температуры плавления чистой меди, то он способствует образованию горячих трещин при кристаллизации шва. Склонность к образованию трещин существенно повышается с увеличением толщины свариваемого металла.

При затвердевании расплавленной меди, содержащей закись меди, в присутствии водорода образуются мелкие трещины. Это явление, называемое «водородной болезнью меди», возникает вследствие соединения водорода с кислородом закиси меди и образования водяного пара, который при высоких температурах, стремясь расшириться, вызывает появление трещин в металле шва. Трудность сварки меди обусловлена также ее высокой теплопроводностью (в 6—7 раз превышающей теплопроводность стали) и жидкотекучестью в расплавленном состоянии.

Чем меньше кислорода в виде закиси меди содержится в меди, тем лучше она поддается сварке. Примеси мышьяка, свинца, сурьмы и висмута затрудняют сварку меди. Наилучшей свариваемостью обладает электролитическая медь, содержащая не более 0,4% примесей.* Литейная медь, содержащая до 1% примесей, сваривается хуже. Хром, марганец, железо, никель и тантал повышают прочность металла шва при сварке меди.

Дуговая сварка. Ввиду значительной теплопроводности меди дуговая сварка ее требует применения повышенной величины тока.

Жидкотекучесть меди выше, чем стали, поэтому кромки свариваемых листов нужно соединять плотно, с минимальным зазором или сваривать на стальной подкладке. Угол раскрытия кромок должен быть $70^\circ \pm 5^\circ$. Иногда кромки несколько осаживают, утолщая их для последующей проковки и наклепа с целью размельчения зерен металла сварного соединения. Медь толщиной более 6 мм сваривают

* Для сварных изделий выпускается по ГОСТ 859—66 медь марок М1р, М2р и МЗр, имеющая пониженное (не более 0,01%) содержание кислорода.

с предварительным подогревом. Листы толщиной от 1 до 3 мм сваривают с отбортовкой кромок, без присадочного металла.

Тонкие листы (менее 6 мм) после сварки проковывают в холодном состоянии, а толстые — при температуре 200—300°С. Проковке подвергается металл шва и переходная зона. Для придания металлу шва вязкости и пластичности после проковки его нужно отжечь, нагрев до температуры 550—600°С и быстро охладив в воде. При этом металл шва и околошовной зоны приобретает мелкозернистое строение. Во избежание трещин проковку не следует вести при температуре выше 300°С, так как медь при такой температуре становится хрупкой. Сварку выполняют угольным или металлическим электродом с применением флюсов и покрытий.

Сварка меди угольным электродом. Режимы сварки меди угольным электродом следующие:

Толщина металла, мм . . .	1	2	4	6	12
Диаметр угольного электрода, мм	4	6	6	8	9
Ток, а	135—180	195—200	250—330	315—430	420—550

Сварку угольным электродом ведут длинной дугой (10—15 мм) на постоянном токе прямой полярности при напряжении 40—55 в.

Во избежание образования закиси меди сварку следует выполнять быстро, без остановок и перерывов, со скоростью не менее 0,25 м/мин. Конец присадочного прутка должен находиться между концом электрода и расплавленной ванной основного металла, не погружаясь в нее. Электрод держат под углом 70—80°, а присадочный пруток — под углом до 30° к свариваемому листу.

Расплавляющаяся проволока должна каплями поступать в сварочную ванну. В качестве присадочного металла используют проволоку из чистой (электролитической) меди или из фосфористой бронзы Бр. ОФ9-0,3, состоящую из 90,2% меди, 9,27% олова, 0,25% фосфора. Для предохранения металла от окисления и удаления закиси меди применяются флюсы следующих составов:

Номер флюса	1	2	3	4
Состав, %:				
борная кислота	—	50	10—20	—
бура прокаленная	100	50	60—70	50
кислый фосфорнокислый натрий	—	—	—	15
кремниевая кислота	—	—	—	15
древесный уголь	—	—	—	20
поваренная соль	—	—	20—30	—

При сварке прутками Бр. ОФ9-0,3 можно в качестве флюса применять смесь состава: 94—96% буры, 6—4% магнезии металлического в порошке.

Сварка меди металлическим электродом. При сварке меди металлическим электродом применяют медные электроды из проволоки М1, М2 и М3 или бронзы Бр. КМц-3-1 с покрытиями, в состав которых в качестве раскислителей вводятся ферромарганец, ферросилиций, кремнистая медь и др. Для защиты обратной стороны шва от окисления в канавку подкладки под швом

насыпают флюс того же состава, что и покрытие. В качестве покрытия применяют флюс ММЗ-2, имеющий следующий состав: 43% симанала (сплав кремния, марганца, алюминия), 30% плавикового шпата, 14% полевого шпата, 8% графита, 5% поташа, 45% жидкого стекла к весу сухой смеси. Толщина слоя покрытия на сторону 0,35—0,8 мм. Ток постоянный, обратной полярности 50—60 а на 1 мм диаметра проволоки. Дуга должна быть максимально короткой. Сварка ведется быстро.

Кромки под сварку подготавливают механическим способом. Металл толщиной до 5 мм сваривают встык без скоса кромок с зазором 1—1,5 мм. Металл толщиной от 4 до 12 мм — с односторонним скосом при угле раскрытия шва $70^{\circ} \pm 5^{\circ}$, притупление 1—2 мм, зазор 2—3 мм; при сварке на подкладке зазор может быть 2—6 мм. Медь толщиной 10—20 мм сваривают встык с двусторонним скосом кромок под углом $70^{\circ} \pm 5^{\circ}$, притупление 1,5—2 мм, зазор 3—6 мм. По возможности следует применять двусторонние швы.

Медь толщиной 8 мм и более сваривают металлическим электродом с предварительным и сопутствующим подогревом газовой горелкой в зависимости от толщины до температуры 250—400° С. После сварки применяя нагрев до 550—600° С и быстрое охлаждение в воде. Для уплотнения шов перед отжигом предварительно проковывают при температурах, указанных выше.

Бескислородную медь (содержащую не более 0,01% кислорода) можно сваривать электродами «Комсомолец», имеющими стержень из меди М1 и покрытие состава: плавиковый шпат 12, 5%; полевой шпат 15%; ферромарганец Мн1, Мн2 — 47,5%; кремнистая медь (лигатура состава 73—75% меди, 23—25% кремния, не более 1,5% примесей) 25%. Покрытие разводится на жидком стекле, которое берется в количестве 20% к сумме остальных компонентов.

Режимы сварки электродами «Комсомолец» следующие:

Толщина металла, мм	Диаметр электрода, мм	Ток, а
До 3	3	150—200
До 5	4	250—300
Свыше 5	5	350—450
	6	500—600

Медь с содержанием кислорода более 0,01% следует сваривать угольным электродом с присадочным прутком из бронзы Бр. ОФ9-0,3, с применением флюса (см. выше).

Применяют также электроды ЗТ, разработанные Балтийским заводом в Ленинграде, со стержнем из кремнемарганцовистой бронзы Бр. КМц-3-1, содержащей 3% кремния и 1% марганца, и покрытием, состоящим из 17,5% марганцевой руды, 13% плавикового шпата, 16% графита серебристого, 32% ферросилиция 75%-ного, 2,5% алюминия в порошке. Покрытие замешивается на жидком стекле и наносится слоем 0,2—0,3 мм на стержень диаметром 4—6 мм. Сварка ведется короткой дугой на постоянном токе при обратной полярности; ток выбирается из расчета 50 а на 1 мм диаметра стержня электрода.

Медь сваривают также вольфрамовым электродом в защитной среде из азота или смеси из 25% аргона и 75% гелия.

Автоматическую дуговую сварку меди производят под флюсом проволокой диаметром 4—5 мм из меди марок М0, М1, М2 и М3, содержащих не более 0,01% кислорода; может применяться проволока из меди с 0,5% хрома. Ток 980—1600 а, напряжение дуги 42—50 в, скорость сварки 10 м/ч, отношение ширины шва к толщине свариваемого металла 1,8—2,0. Для сварки меди могут использоваться флюсы марок АН-М1, АН348А, ОСЦ-45, АН-20 и АН-26.

Газовая сварка. Медь толщиной до 10 мм сваривают пламенем мощностью 150 дм³/ч ацетилена на 1 мм толщины металла. При сварке более толстых листов мощность пламени увеличивают до 200 дм³/ч ацетилена на 1 мм; в этом случае лучше применять сварку одновременно двумя горелками, каждая мощностью по 100 дм³/ч ацетилена на 1 мм толщины листа. Пламя должно быть только восстановительным; появление в пламени избытка кислорода приводит к окислению меди. При избытке в смеси ацетилена происходит восстановление заиси меди водородом и окисью углерода, содержащимися в пламени, вследствие чего в наплавленном металле возникают поры и трещины. Ядро пламени следует держать под углом 90° к поверхности листов, на расстоянии 3—6 мм от поверхности ванны. Сварку ведут быстро, без перерывов. Применяют однослойные швы, так как при многослойной сварке возможны трещины. Длинные швы сваривают участками, обратноступенчатым способом. При сварке в приспособлении должно быть обеспечено свободное перемещение кромок под воздействием тепловых деформаций. Преимущественно применяют стыковые и угловые соединения с внешним швом, избегают сварки внахлестку и втавр. Металл толщиной до 2 мм сваривают стык без присадки, подкладывая снизу асбест или графит для предупреждения протекания металла шва: при толщине свыше 3 мм применяют V-образный скос кромок с углом раскрытия 90° и притуплением не менее 1,5—2 мм ($\frac{1}{5}$ толщины листа); при толщине свыше 10 мм применяют X-образную подготовку и сварку ведут одновременно с двух сторон в вертикальном положении двумя горелками. Перед сваркой трубопроводов во избежании резких переходов, производят предварительно вытяжку труб или развальцовку патрубков.

Перед сваркой кромки зачищают до металлического блеска или травят в растворе азотной кислоты с последующей промывкой в воде.

Распределение тепла пламени регулируют так, чтобы проволока плавилась раньше и расплавленный металл покрывал бы кромки, доведенные до состояния «запотевания».

Присадочный стержень должен быть из проволоки чистой (электролитической) меди или меди, содержащей до 0,2% фосфора и до 0,15—0,30% кремния, являющихся раскислителями.

ГОСТ 16130—70 предусматривает следующие марки проволок и прутков для сварки меди и латуни:

Марка	МСр1	ЛК62-05	ЛОК59-1-03	ЛКБ062-02-004-05
Состав, %;				
медь	98,5—99,0	60,5—63,5	58—60	60,5—63,5
олово	—	—	0,7—1,1	0,3—0,7
кремний	—	0,3—0,7	0,2—0,4	0,1—0,3
бор	—	—	—	0,03—0,1
серебро	0,8—1,2	—	—	—
цинк	—	остальное	—	—

В качестве присадочного материала при газовой сварке меди и латуни применяют также проволоку из меди марки М1 по ГОСТ 2112—62, латуни марки Л63 по ГОСТ 1066—58 и прутки из меди марки М1 по ГОСТ 1535—48.

Диаметр проволоки берется равным:

Толщина меди, мм	до 1,5	1,5—2,5	2,5—4	4—8	8—15	более 15
Диаметр проволоки, мм . .	1,6	2	3	4—5	5	5

Проволоку диаметром более 5 мм не применяют. Для раскисления меди при сварке и удаления окислов в шлак применяют флюсы, указанные выше. Флюс № 4 с кислым фосфорнокислым натрием* используют при сварке проволокой, не содержащей раскислителей — кремния, фосфора и др.

Сварку меди можно производить также с применением газообразного флюса БМ-1 (см. § 2). В этом случае применяют наконечник горелки на один номер больше, чем при сварке порошковым флюсом, чтобы не снизить скорость нагрева и сварки. В результате качество сварки получается более высоким, чем при сварке с порошкообразными флюсами.

Если от металла сварного соединения требуется повышенная прочность и пластичность, то сваренный шов проковывают: при толщине до 6 мм в холодном, а выше — в нагретом до 500—600°С состоянии. Имеющееся утолщение шва перед проковкой срубают во избежание образования трещин во время проковки. При проковке происходит размельчение зерен и разрушение пленок закиси меди на границах зерен, что повышает прочность и пластичность металла шва. Для повышения вязкости сварного соединения металла шва и околошовной зоны подвергают термообработке нагреванием до 550—600°С с последующим быстрым охлаждением в воде.

§ 2. СВАРКА БРОНЗ, ЛАТУНИ И МЕДНОНИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ

Сварка бронз. Бронзы — это сплавы меди с другими элементами — оловом, кремнием, марганцем, фосфором, бериллием и др. По наименованию основного легирующего элемента их называют оловянистые (от 3 до 14% олова), кремнистые, фосфористые и др.

Сварку бронзы применяют при ремонте, исправлении брака литых или механической обработки, а также при наплавке. Бронзовые детали можно сварить с предварительным подогревом до 350—400°С (крупных изделий 500—600°С) и без него. Прочность брон-

* Снижает вязкость шлака и повышает растворимость в нем окислов.

зы при высоких температурах снижается, поэтому деталь перед сваркой следует тщательно закреплять, чтобы не повредить ее в результате толчков и ударов.

После сварки литейные бронзовые детали подвергают отжигу нагревом до $600\text{--}700^{\circ}\text{C}$ с выдержкой при этой температуре 3—5 ч. Нагрев отливок с температуры 200°C производится со скоростью не более 100 град/ч . Для ответственных отливок из высокооловянистых бронз, подвергающихся знакопеременным нагрузкам и ударам, применяют отжиг при 750°C и последующую закалку при $600\text{--}650^{\circ}\text{C}$. Прокатанную бронзу проковывают в холодном состоянии для повышения плотности и прочности металла шва.

При быстром нагревании и последующем также быстром охлаждении оловянистых бронз на поверхности детали выделяются включения хрупкого сплава, богатого оловом, что резко снижает прочность детали и может явиться причиной ее разрушения.

Дуговая сварка бронз производится угольным или металлическим электродом в нижнем положении.

При сварке угольным электродом применяют постоянный ток прямой полярности: величина тока 25—35 а на 1 мм диаметра электрода, который берут равным от 5 до 12 мм (обычно 6—8 мм), напряжение дуги 40—45 в, длина дуги 20—26 мм. При сварке алюминиевых бронз следует применять флюсы, активные в отношении окиси алюминия (Al_2O_3), например флюс ВАМИ (см. табл. 29). Флюсом покрывают присадочный пруток, как обмазкой. Для удаления окислов из ванны электродом и прутом делают поперечные зигзагообразные движения. Рекомендуется применять предварительный подогрев до $300\text{--}350^{\circ}\text{C}$ для повышения качества сварки.

Для сварки оловянистой бронзы берут прутики состава: 8% цинка, 3% олова, 6% свинца, 0,2% фосфора, 0,3% никеля, 0,3% железа, остальное — медь. Для других бронз используют пруток того же состава, что и основной металл. Временное сопротивление наплавленного металла при сварке угольным электродом составляет: оловянистых и кремнистых бронз — $35\text{--}40\text{ кгс/см}^2$, алюминиевых бронз — $40\text{--}45\text{ кгс/см}^2$.

Сварка бронз металлическим электродом находит широкое применение. Лучшие результаты дает сварка на постоянном токе обратной полярности; величина тока 30—40 а на 1 мм диаметра электрода. При использовании переменного тока для повышения устойчивости горения дуги повышают величину тока до 75—80 а на 1 мм диаметра электрода или применяют осциллятор. При подготовке кромок общий угол разделки выполняют равным $70\text{--}80^{\circ}$.

Электродная проволока берется того же состава, что и основной металл. Для большинства марок литейных бронз, если это допускается требованиями в отношении прочности и коррозионной стойкости, применяют электроды из бронзы марки Бр.КМцЗ-1 (3% кремния, 1% марганца, остальное — медь). Сварку алюминиевых бронз выполняют электродами из бронз, содержащих 10% алюминия и 3—5% железа. При сварке алюминиевых бронз слож-

ного состава хорошие результаты дают электроды с дополнительным легированием никелем или марганцем. Марганец уменьшает возможность образования трещин при сварке. Для заварки дефектов в отливках из алюминиевых бронз предназначены электроды АНМц/ЛКЗ-АБ со стержнем из проволоки БрАНМц8-5-1,5 и галогенным покрытием; их используют при заварке бронз марок АМц9 и АН в нижнем положении постоянным током обратной полярности.

При сварке бронз применяют покрытия различных составов (табл. 28).

Т а б л и ц а 28

Состав покрытий, %

Состав покрытия	Марки бронзы		
	Бр.ОФ10-1 Бр.АМц 9-2 Бр. АЦМц 9-5-2 Бр. КМц 3-1	Бр.ОЦС 5-5-5 Бр.ОЦС 6-6-3	Бр.АЖМц10-3-1,5
Алюминий (порошок)	2	—	—
Графит	6	5	—
Ферромарганец	55	5	62,5
Криолит	15	—	—
Плавленый шпат	14	38	—
Ферросилиций	5	7	10
Ферротитан	3	—	—
Мрамор	—	45	12,5
Полевой шпат	—	—	15

Жидкое стекло—30 % к весу сухой части обмазки.

Для сварки прокатанных никелевых бронз используют покрытие состава: ферромарганец — 28%, ферросилиций — 41%, полевой шпат — 28%, магнезия — 3%. Обычно никелевая бронза толщиной до 6 мм сваривается электродами диаметром 3,4 и 5 мм, током 25—35 а/мм диаметра электрода.

Сварку бронзы Бр.Мц5 производят медными электродами с покрытием «Комсомолец-100» при предварительном подогреве до 400—500° С.

Сварку бронз ведут без перерывов в один слой. Электрод держат почти перпендикулярно к поверхности металла. Для лучшего удаления газов электродом делают зигзагообразные движения. Для получения максимальной высоты наплавки ее ведут с предварительной заформовкой места наплавки при наклоне до 15 град к горизонтали. Режим уточняют путем сварки образцов. При сварке без подогрева применяют больший ток.

При правильном выполнении сварки бронз плавящимися металлическими электродами механические свойства металла шва получаются, примерно, равными (или несколько ниже) свойствам основного металла.

Для прокатанных бронз малой толщины наилучшие результаты дает сварка в аргоне вольфрамовым электродом.

Газовую сварку бронзы применяют при ремонте литых деталей и наплавке поверхностей трения. В случае необходимости сварку ведут с подогревом до 450°C для предупреждения появления трещин. Сварочное пламя должно быть восстановительным, так как при окислительном пламени усиливается выгорание олова, кремния, алюминия. Пламя во избежание перегрева несколько удаляют от ванны (как при сварке латуни). В качестве присадочного прутка используют проволоку или стержни, близкие по составу к основному металлу. Учитывая выгорание олова при сварке, его содержание в прутке желательно иметь на 1—2% больше, чем в основном металле; в качестве раскислителя в проволоку вводится до 0,4% кремния. Разделка кромок должна быть V-образная с углом раскрытия шва 60—90 град. При сквозных дефектах снизу ставят подкладку из асбеста или графита для предупреждения вытекания металла шва. Мощность пламени 100—150 $\text{дм}^3/\text{ч}$ ацетилена на 1 мм толщины свариваемого металла. Применяют флюсы того же состава, что и для сварки меди и латуни. Сварку алюминиевых бронз ведут с флюсами, используемыми для газовой сварки алюминиевых сплавов. При газовой сварке алюминиевых бронз не всегда обеспечивается хорошее устойчивое качество сварного соединения вследствие влияния тугоплавкого окисла алюминия — Al_2O_3 , для удаления которого требуется соответствующий флюс. Более устойчивые и качественные соединения получают при сварке угольным электродом и аргоно-дуговым способом.

Термическая обработка бронз после газовой сварки выполняется на режимах, применяемых для термообработки бронз тех же марок после дуговой сварки.

При газовой сварке бронз прочность сварного соединения получают равной 80—100% прочности основного металла.

Сварка латуни. Латунь представляет сплав меди с цинком, имеющий температуру плавления 1060—1100°С. При дуговой сварке происходит интенсивное испарение цинка из латуни, а также поглощение расплавленным металлом водорода, который не успевает выделиться при застывании жидкого металла, в результате чего образуются газовые пузырьки и поры.

Водород попадает в жидкий металл из покрытия или флюса.

При дуговой сварке латуни *металлическим* электродом применяют постоянный ток прямой полярности. Сварка ведется в нижнем положении короткой дугой. Ток для электрода диаметром 5 мм берется 250—275 а. Сварку выполняют со скоростью не менее 0,3—0,4 м/мин. После сварки шов проковывают, а затем отжигают при 600—650°С. Если в латуни содержится меди менее 60%, то ее проковывают при температуре 650°С, если более 60%, то в холодном состоянии. Латунь следует сваривать в один слой, так как многослойная сварка приводит к трещинам.

В качестве электрода используется проволока из латуни состава: 38,5—42,5% цинка, 4—5% марганца, 0,5% алюминия, 0,5—

1,5% железа, 1% прочих примесей, остальное — медь. Покрытие состоит из 30% марганцевой руды, 30% титанового концентрата, 15% ферромарганца, 20% мела, 5% сернокислого калия, 35% жидкого стекла — к весу сухих частей обмазки. Покрытие наносится слоем 0,2—0,3 мм. После затвердевания покрытия на него наносят слой флюса толщиной 0,9—1,1 мм. В качестве флюса применяют борный шлак, замешанный на жидком стекле.

Сварку латуни Л62, ЛО62-1 и других марок можно производить также угольным электродом на постоянном токе прямой полярности. Кромки под сварку подготавливают механическими способами. При толщине металла до 10 мм разделка V-образная, свыше 10 мм — X-образная, угол скоса кромок $30^\circ + 2,5^\circ$. При толщине более 10 мм можно применять также U-образную подготовку кромок с углом скоса 13° для прямолинейного участка кромок. В качестве присадочного материала используют прутки из латуни ЛК80-3, содержащей 3% кремния. Во избежание появления трещин в шве присадочный материал не должен содержать примесей более (%): железа 0,6; сурьмы 0,1; свинца 0,1. Для получения хорошего сплавления основного и присадочного металла применяют флюс БЛ-3 состава (%): натрий хлористый 12,5; калий хлористый 50; криолит 35; уголь древесный 2,5. Флюс в виде тонкоизмельченной смеси наносят на стержни путем опыливания, предварительно стержни погружают в жидкое стекло; после нанесения флюса стержни сушат при комнатной температуре в течение 2—3 ч.

Кромки и прилегающие к ним поверхности свариваемого металла тщательно зачищают с обеих сторон на ширине 20—30 мм от оси шва. Для предупреждения протекания расплавленного металла через зазор и лучшего проплавления корня шва сварку ведут на металлических или асбестовых подкладках с канавкой для формирования обратной стороны шва. Режимы сварки следующие:

Толщина металла, мм	Диаметр угольного электрода, мм	Диаметр присадочного стержня, мм	Ток, а
3	6	4	180—200
5	10	6	240—270
10	18	8	400—450
14—16	20	10	450—550
Напряжение дуги 30—40 в			

Сварку ведут справа налево. Угол наклона присадочного прутка 15° — 20° , не допускаются колебательные движения прутков. Дугу возбуждают на присадочном стержне и затем переводят в зону сварки. При вынужденном перерыве сварку возобновляют в точке, лежащей на 6—8 мм назад от кратера. Латунь толщиной до 10 мм сваривают без подогрева, свыше 10 мм — с подогревом до 300° — 350° С. Для предупреждения пористости сварку следует выполнять с наименьшим числом проходов. Для снятия внутренних напряжений изделие после сварки подвергают низкотемпературному отжигу: латунь Л62 при температуре 300° С, латунь ЛО62-1 — при 450° С.

Латунь сваривают также автоматической сваркой под флюсом марки МАТИ-53 или БКФ-5 с применением проволоки из чистой меди марки М0, диаметром 2 мм, постоянным током обратной полярности; величина тока 270—300 а, напряжение дуги — 26—32 в, скорость сварки 16 м/ч, скорость подачи проволоки 200—280 м/ч. Флюс МАТИ состоит из 77% флюса ОСЦ-45; 7,6% борной кислоты и 15,4% кальцинированной соды. Флюс БКФ-5 содержит 75% плавикового шпата и 25% фтористого натрия. Прочность сварных соединений под флюсом БКФ-5 несколько ниже прочности соединений, сваренных под флюсом МАТИ-53. Для повышения прочности при сварке под флюсом БКФ-5 следует применять сварочную проволоку, легированную железом (1—1,5%) и марганцем (1,5—2%). Сварку производят с двух сторон, по одному проходу с каждой стороны. Латунь толщиной до 10 мм сваривают без скоса кромок.

Латуни труднее поддаются дуговой сварке, поэтому их обычно сваривают газовой сваркой. Для уменьшения испарения цинка сварку латуни ведут окислительным пламенем с избытком кислорода 30—40%, т. е. на 1 м³ ацетилена в горелку подается 1,3—1,4 м³ кислорода. В этом случае на поверхности сварочной ванны образуется жидкая пленка окиси цинка, которая уменьшает его испарение. Избыток кислорода окисляет основную часть водорода пламени, вследствие чего поглощение водорода жидким металлом уменьшается.

Для удаления окислов меди и цинка используют флюсы того же состава, что и при сварке меди.

В качестве флюса чаще всего применяют прокаленную буру, которую разводят водой и в виде пасты наносят кистью на кромки металла. От испарения цинка хорошо защищает также флюс из 20% прокаленной буры и 80% борной кислоты.

Кромки латуни перед сваркой зачищают до блеска шкуркой, напильником или металлической щеткой. Если на поверхности имеется слой окислов, то латунь травят в 10%-ном растворе азотной кислоты, а затем тщательно промывают горячей водой. Кромки скашивают под таким же углом, как при сварке стали. Поэтому и мощность пламени должна быть такой же, как при сварке стали — 100—120 дж/ч ацетилена на 1 мм толщины листа.

С целью уменьшения испарения цинка и поглощения металлом водорода конец ядра пламени должен находиться от свариваемого металла на расстоянии в 2—3 раза больше, чем при сварке стали. Пламя при этом следует направлять на сварочную проволоку, которую держат под углом 90° к оси мундштука. Конец проволоки время от времени погружают во флюс, который подсыпают также в сварочную ванну и на края шва. Сварка выполняется быстро.

ВНИИАвтогенмаш разработал для сварки латуни присадочную проволоку марки ЛК62-05 (ГОСТ 6130—70), содержащую 60,5—63,5% меди, 0,3—0,7% кремния, остальное — цинк. Кремний в проволоке является раскислителем, уменьшающим окисление и испарение цинка. В качестве флюса при сварке этой проволо-

кой применяют прокаленную буру. Сварка проволокой ЛК62-05 обеспечивает чистоту сварочной ванны, плотный беспористый шов и малое выделение паров цинка. Пламя применяют окислительное с избытком 30—40% кислорода и смеси.

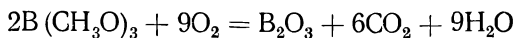
Для сварки латуни Л62, Л68 и других ВНИИАвтогенмашем разработана также самофлюсующаяся присадочная проволока ЛКБ062-02-004-05 (ГОСТ 16130—70), содержащая: 60,5—63,5% меди, 0,1—0,3% кремния, 0,03—0,1% бора, 0,3—0,7% олова, остальное — цинк. Входящий в состав проволоки бор выполняет функцию флюса, вследствие чего при сварке латуни этой проволокой потери цинка практически отсутствуют, а производительность повышается. Применение флюса в данном случае не требуется.

Для повышения плотности и прочности шов после сварки иногда проковывают, заглаживая усиление заподлицо с основным металлом. Проковку ведут в холодном или нагретом состоянии, в зависимости от содержания меди в латуни.

Для придания металлу шва мелкозернистой структуры и уничтожения влияния наклепа шов после проковки отжигают при 600—650°С, а затем медленно охлаждают. Отжиг при температуре выше 650°С не допускается, так как при такой температуре возможно частичное испарение цинка. Применяют также отжиг при температуре 260—280°С, который не меняет структуры металла, но уничтожает остаточные внутренние напряжения в латуни, что предохраняет ее от последующего растрескивания.

Выделяющиеся при сварке латуни белые пары окиси цинка вредны для организма человека. Поэтому при сварке латуни обычной проволокой следует пользоваться защитной маской (респиратором), а также устанавливать около сварочного поста местные вентиляционные отсосы. Допускаемая концентрация цинка не должна превышать 0,005 мг/дм³.

Наилучшие результаты дает сварка латуни под флюсом БМ-1, разработанным ВНИИАвтогенмашем и представляющим смесь из 25% метилового спирта (СН₃ОН) и 75% метилбората [В(СН₃О)₃]*. Ацетилен пропускается через эту жидкость, заполняющую специальный сосуд — флюсопитатель, где насыщается парами флюса и далее идет в горелку. Пары флюса попадают в сварочное пламя, в котором метилборат сгорает по реакции



Борный ангидрид В₂О₃ образует в пламени летучую борную кислоту (Н₂ВО₃), которая осаждается на изделия и вновь разлагается, образуя борный ангидрид, являющийся флюсующим веществом. Содержащийся в флюсующей жидкости метиловый спирт полностью сгорает в пламени, не давая каких-либо вредных для процесса сварки соединений. Расход флюса БМ-1 для получения

* Флюс БМ-1 выпускается Минхимпромом по ТУНП-43—64. Применяется также флюс БМ-2, состоящий из одного метилбората.

наплавленного металла хорошего качества составляет около 70 г на 1 м³ ацетилена.

Сварка латуни с применением флюса БМ-1 позволяет значительно повысить производительность, делает процесс почти безвредным для сварщика, обеспечивает получение чистого, плотного беспористого металла шва без проковки, с временным сопротивлением до 38 кгс/мм², углом загиба 180°, ударной вязкостью 15 кгс·м/см².

Флюс БМ-1 пригоден для сварки латуней всех марок, проволокой, как содержащей, так и не содержащей кремний. Пламя при сварке с флюсом БМ-1 может иметь избыток кислорода от 10 до 40%.

При газовой наплавке латуни на стальные детали с целью повышения их стойкости хорошие результаты дает применение пропан-бутан-кислородного пламени. Наплавку производят с предварительным подогревом детали до 700—800°С, латунью ЛЖМц59-1-1 с применением флюса на 50% буры и 50% борной кислоты. При этом выгорание цинка не превышает 2%. Предел прочности наплавленного металла равен 36 кгс/мм², угол загиба 180°, ударная вязкость 7 кгс·м/см². Уменьшается пористость наплавки и повышается производительность по сравнению с наплавкой ацетилено-кислородным пламенем.

§ 3. СВАРКА АЛЮМИНИЯ И ЕГО СПЛАВОВ

Алюминий — очень легкий металл, имеющий плотность 2,7 г/см³. Теплопроводность алюминия в три раза выше теплопроводности малоуглеродистой стали. Температура плавления чистого алюминия 657°С. При нагревании алюминий легко окисляется, образуя тугоплавкую окись алюминия (Al₂O₃), плавящуюся при температуре свыше 2060°С. Чистый алюминий поставляют по ГОСТ 11069—64*. В химическом машиностроении находит применение чистый алюминий марок А7, А6, А5, АД00, АД0, АД1.

В сварных конструкциях наибольшее применение находят деформируемые (ГОСТ 4784—65*) сплавы: термически неупрочняемые алюминиево-марганцевые (АМц), содержащие от 1 до 1,6% марганца, и алюминиево-магниевые (АМг), содержащие до 6,8% магния.

В самолетостроении используются термически упрочняемые сплавы дюралюмины (сплавы Д). Дюралюмин марки Д1 содержит: 3,8—4,8% меди, 0,4—0,8% магния, 0,4—0,8% марганца, остальное — алюминий. Высоколегированный дюралюмин Д-16 содержит: 3,8—4,9% меди, 1,2—1,8% магния, 0,3—0,9% марганца, остальное — алюминий.

После термической обработки сплав Д16 имеет временное сопротивление при растяжении 42—46 кгс/мм² и относительное удлинение 15—17%.

Чистый алюминий, сплавы АМц, АМг и силумины хорошо поддаются сварке. Хуже свариваются термоупрочняемые сплавы и Д

(дюралюмины). Это обусловлено тем, что в сварном шве такого сплава получается структура литого металла, прочность которого в два раза меньше прочности основного прокатанного металла. Кроме того, вследствие значительной усадки металла шва и его низкой пластичности, в процессе сварки возникают трещины в швах. При сварке происходит отжиг основного металла, что приводит к ухудшению механических свойств сварного соединения. При сварке плавлением прочность сварных соединений дюралюминия не превышает 50% прочности основного металла.

В качестве присадочной и электродной проволоки используют соответствующие по составу проволоки для сварки алюминия и его сплавов, предусмотренные ГОСТ 7871—63. Для предупреждения образования горячих трещин при сварке алюминия повышенной чистоты (А7, А6) рекомендуется использовать проволоку с добавкой титана 0,2—0,3% титана.

Для дуговой сварки чистого алюминия марок А6, АД0, АД1 и других применяют электроды марки ОЗА-1 со стержнем из алюминиевой проволоки марки АД-1 или АВ-2Т. Используются также электроды марки АС1Ф1 и АФ-4аКр. Сварка ведется в нижнем и вертикальном положениях постоянным током обратной полярности. При диаметре электрода 4 мм ток 120—140 а, при 5 мм — 150—170 а, а при 6 мм — 200—240 а. Сварку осуществляют с предварительным подогревом до температуры: при толщине металла — 6—9 мм — 200—250°С, при 9—16 мм — 300—350°С. Температуру подогрева контролируют термокраской*, так как алюминий не изменяет своего цвета при нагревании.

Сварку ведут возможно короткой дугой без поперечных колебаний электрода. После сварки шлак со шва удаляют, промывая его горячей водой и протирая стальными щетками. Покрытие электродов гигроскопично, поэтому перед сваркой их следует просушивать при 150—200°С в течение 2 ч. Коэффициент наплавки электродами ОЗА-1 равен 6,25—6,5 г/а·ч. Временное сопротивление при растяжении наплавленного металла и сварного соединения составляет 7,5—8,5 кгс/мм², угол загиба образца 180°. Наплавленный металл имеет следующий химический состав: 0,3—0,5% кремния, 0,15—0,25% титана, 0,1—0,3% железа, следы меди, остальное — алюминий.

Для заварки дефектов и наплавки литейных алюминиево-кремнистых сплавов (АЛ-2, АЛ-3, АЛ-5, АЛ-9, АЛ-11) применяют электроды ОЗА-2 со стержнем из алюминиевой проволоки марки Св-АКЗ-Св-АК10. Коэффициент наплавки электродов 6,25—6,5 г/а·ч. Наплавленный металл содержит 4,5—5,5% кремния. Механические свойства наплавленного металла, режимы и технология сварки при сварке электродами ОЗА-2 такие же, как и электродами ОЗА-1. Для сплавов АМц и заварки дефектов в сплаве АЛ-9 применяют электроды А2 с проволокой Св-АМц или Св-АК5.

* См. гл. VI, § 6.

В покрытия электродов вводятся хлористые и фтористые соли лития, калия и натрия, отнимающие кислород от окиси алюминия, растворяющие и ошлаковывающие окись алюминия, которая затрудняет сварку.

В качестве покрытия электрода может использоваться смесь, состоящая из 65% флюса АФ-4А (см. табл. 29) и 35% криолита.

Перед сваркой поверхность алюминия необходимо подвергать обезжириванию растворителем (бензином, ацетоном, дихлорэтаном) и очистке механическим способом с помощью стальной вращающейся щетки из проволоки диаметром 0,15 мм или предварительной химической обработке по режиму:

а) обезжириванию в 5%-ном водном растворе едкого натра при 60—65°С в течение 2 мин;

б) промывке в теплой воде (не ниже 45°С), а затем в холодной проточной воде;

в) осветлению в 15%-ном водном растворе азотной кислоты при температуре 60—65°С в течение 2—5 мин;

г) промывке в теплой и холодной воде (см. п. б.);

д) сушке при 60°С до окончательного удаления влаги.

Сварку следует производить не позже 2—3 ч после очистки металла указанным способом. Очистке подвергают кромки и прилегающие к ним поверхности металла на ширине 20—30 мм в обе стороны от оси шва. Присадочную проволоку также подвергают очистке указанным выше способом.

Швы сварных соединений и подготовка кромок при дуговой сварке алюминия и его сплавов, основные типы и конструктивные элементы регламентируются ГОСТ 14806—69.

Листовой алюминий толщиной 0,8—3 мм сваривают с отбортовкой кромок без присадочного материала, применяя обычно аргонодуговую (ручную или механизированную) сварку вольфрамовым электродом. Дуговую сварку покрытыми электродами применяют при толщине 6 мм и более: при 6—10 мм — встык без скоса кромок с зазором 0—1 мм, одностороннюю, с подкладкой; при 2—32 мм — встык без скоса кромок, с зазором 0—2 мм, двустороннюю; при 20—60 мм — встык с V-образной подковкой кромок под углом 60—70°, зазором 0—2 мм, притуплением 0—3 мм, двустороннюю или одностороннюю с подкладкой; при 35—60 мм — двустороннюю встык с X-образной подготовкой кромок под углом 60—70°, зазором 0—2 мм и притуплением 2—4 мм. При сварке тавровых соединений металла толщиной от 0,8 до 20 мм кромки не скашивают, зазор делают 0—2 мм, применяют двустороннюю или одностороннюю сварку угловыми швами.

При сварке литейных алюминиевых сплавов длина нагреваемого участка должна быть не менее 200 мм. Сварка производится на поддерживающих прокладках. При толщине до 14 мм шов сваривается в 1—2 слоя, свыше 14 мм — в 2—3 слоя. Для получения мелкозернистой структуры металла шва охлаждение детали после сварки должно быть замедленным. После остывания сварной шов следует слегка проковать.

Чтобы уменьшить внутреннее напряжение деталей из литых сплавов, их после сварки отжигают при 300—350° С с последующим замедленным охлаждением.

После сварки швы нужно тщательно очистить от остатков флюса промывкой с двух сторон горячей водой и протравить 5%-ным раствором азотной кислоты, а затем вновь промыть водой. Удалить фасонным зубилом и зачистить скребком верхний слой металла шва, в порах которого может остаться непромытый флюс. Если ТУ предусмотрена проковка швов после сварки, то после проковки и зачистки швов все изделия следует протравить 5%-ным раствором азотной кислоты промыть горячей водой и высушить древесными опилками или сжатым воздухом. Если это предусмотрено ТУ, то изделия и алюминия осветляют травлением в 35%-ном растворе азотной кислоты с последующей промывкой водой и просушкой.

В современной технологии изготовления изделий из алюминия и его сплавов находят широкое применение автоматическая дуговая сварка под флюсом, а также аргоно-дуговая и гелиево-дуговая неплавящимся вольфрамовым или плавящимся алюминиевым электродом и плазменно-дуговая сварка. Эти способы увеличивают производительность, обеспечивают высокое качество шва и хороший внешний вид сварного соединения.

Газовая сварка алюминия и его сплавов дает хорошие результаты при правильном выборе режима сварки, наличии соответствующих навыков у сварщика и применении флюсов, растворяющих пленку окиси алюминия.

Имеет значение правильный выбор мощности пламени, так как окись алюминия, закрывая сварочную ванну, мешает сварщику заметить начало расплавления металла. При слишком мощном пламени этот момент может быть упущен и тогда образуется сквозное проплавление металла, трудно поддающееся исправлению. Мощность пламени при сварке алюминия и его сплавов должна быть следующей:

Толщина металла, мм	0,5— —0,8	1	1,2	1,5— —2	3—4	5—10	10— —15	15— —25	25— —50
Расход ацетилена, дм ³ /ч	50	75	75— 100	150— 300	300— 500	400— 700	700— 1200	900— 1200	900— 1200

Флюс разводят дистиллированной водой и наносят на кромки и проволоку в виде пасты. Составы флюсов приведены в табл. 29.

Флюсы для сварки алюминия, особенно содержащие литий, жадно поглощают влагу и должны храниться в стеклянных герметически закрывающихся банках. Остатки флюса, вызывающие коррозию шва, необходимо удалять описанным выше способом.

В табл. 30 показаны способы подготовки кромок при газовой сварке алюминиевых сплавов. Соединения внахлестку рекомендуется избегать из-за опасности затекания флюса между листами, который вызывает коррозию соединения. Обезжиривание и очистку металла и присадочной проволоки при сварке чистого алюминия

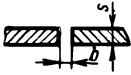
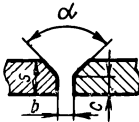
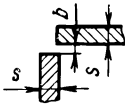
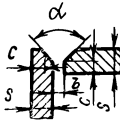
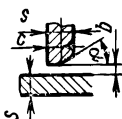
Флюсы для сварки алюминиевых и магниевых сплавов

Наименование флюса	Состав, %	Назначение
АН-А1, технический	Калий хлористый—50 Натрий хлористый—20 Криолит—30	Для автоматической дуговой сварки алюминия и его сплавов
АН-14, реактивный «ч», ТУ № 16—61	Криолит—30 Калий хлористый—50 Натрий хлористый—20	Для автоматической дуговой сварки алюминиево-магниевых сплавов
АН-А6	Литий фтористый—28 Магний фтористый—22 Барий фтористый—15 Криолит—35	То же
АН-А201, реактивный «ч», ТУ № 17—61	Литий хлористый—15 Литий фтористый—15 Барий хлористый—70	Для газовой сварки алюминиево-магниевых сплавов
АН-4А, реактивный «ч», ТУ № 20—61	Литий фтористый—30 Натрий фтористый—70	То же
АФ-4А, реактивный «ч», технический, АМ ТУ № 219—60	Калий хлористый—55 Натрий хлористый—28 Литий хлористый—14 Натрий фтористый—3	Для газовой сварки алюминия и алюминиевых сплавов
ВАМИ, технический, ТУ № 18—61	Калий хлористый—50 Натрий хлористый—30 Криолит—20	То же
КМ-1, технический	Калий хлористый—45 Натрий хлористый—20 Барий хлористый—20 Натрий фтористый—15	Для газовой сварки жил алюминиевого кабеля
ВФ-156 (ВФС-1), реактивный «ч», ТУ № 21—62	Магний фтористый—24,8 Барий фтористый—33,8 Литий фтористый—19,0 Кальций фтористый—14,8 Магний (окись)—4,8 Криолит—2,8	Для газовой сварки легких сплавов на магниевой основе

производят так же, как и при дуговой сварке, описанным выше способом. При алюминиевых сплавах кромки перед сваркой промывают в течение 10 мин раствором из 20—25 г едкого натра и 20—30 г углекислого натрия на 1 дм³ воды при температуре 65°C, а затем в воде комнатной температуры, после чего травят в течение 2 мин в 25%-ном растворе ортофосфорной кислоты (для сплавов АМц и АМг) или в 15%-ном растворе азотной кислоты (для сплавов Д и АМг). После травления кромки промывают теплой и холодной водой и протирают тканью досуха. Во избежание нового окисления металл сваривают не позже, чем через 8 ч после подготовки.

При сварке следует всегда стремиться подваривать шов с обратной стороны или применять двустороннюю сварку. Односторонний шов без подварки с обратной стороны следует применять в тех

Подготовка кромок при сварке алюминия

Эскизы соединения	Размеры, мм			Угол скоса кромок α , град
	толщина металла, S	зазор, b	притупление, c	
	До 2,0	До 1,0	Без скоса кромок, допускается отбортовка кромок	
	2,0—4,0	0,8—2,0	Без скоса кромок	
	Более 5,0	1,5—5,0	1,5—5,0	60—70
	До 1,5	0,3—0,5	Без скоса кромок	
	1,6—3,0	0,5—1,0	То же	
	3,1—5,0	0,8—1,5	1,0—1,2	50—60
	Более 5,0	1,0—2,0	1,2—1,5	
	До 1,5	0,3—0,5	Без скоса кромок	
	1,6—3,0	0,5—1,0		
	3,1—5,0	0,8—1,5	1,0—1,5	40—60
	Более 5,0	1,0—2,0	1,5—2,0	

Примечания:

1. В угловом соединении при толщине металла до 5 мм включительно кромки у вертикального листа можно не скашивать.

2. В тавровом соединении при толщине металла более 5 мм допускается двусторонний скос кромок.

только случаях, когда осуществить подварку корня шва не позволяет конструкция изделия.

При газовой сварке применяют проволоку той же марки, что и свариваемый металл. Сварку термически обрабатываемых сплавов и АМц лучше производить проволокой Св-АК5, содержащей 5% кремния, который повышает жидкотекучесть металла шва, уменьшает усадку и дает лучшие результаты. Для сварки сплава АМг применять проволоку Св-АК не рекомендуется, так как она снижает пластичность шва лучше использовать проволоку Св-АМг-3, Св-АМг-7 с несколько большим содержанием магния, чем в основном металле. Литые алюминиевые сплавы рекомендуется сваривать проволокой Св-АК, Св-АМц и проволокой из чистого алюминия.

Алюминий и его сплавы предпочтительнее сваривать левым способом, применяя восстановительное пламя, или с небольшим избытком ацетилена. Угол наклона мундштука к свариваемому металлу 30—35°, угол наклона прутка — 40—45°. Допускается легкая проковка шва в холодном состоянии. Литой алюминий сваривают участками по 50—60 мм с предварительным подогревом до 250—260°С. Для получения и сохранения мелкозернистой структуры литые после сварки подвергаются отжигу при 300—350°С с последующим медленным охлаждением.

§ 4. СВАРКА МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Магний — очень легкий металл, плотность его $1,74 \text{ г/см}^3$, температура плавления 651°С, временное сопротивление при растяжении литого магния 10—13 кгс/мм², относительное удлинение 3—6%. Магний интенсивно окисляется кислородом, а будучи в порошке или в виде ленты легко воспламеняется на воздухе. Применяют его в виде магниевых сплавов плотностью около $1,8 \text{ г/см}^3$ и временным сопротивлением при растяжении 21—34 кгс/мм².

Литейные магниевые сплавы МЛ1, МЛ3 и т. д. до МЛ6 содержат до 9% алюминия, до 3% цинка, до 2% марганца, остальное — магний. Деформируемые магниевые сплавы МА1, МА2 и т. д. до МА8 близки по химическому составу к литейным магниевым сплавам. Изделия из деформируемых магниевых сплавов штампуют в нагретом состоянии с последующей термической обработкой. Для предохранения от коррозии детали из магниевых сплавов покрывают защитной окисной пленкой, получаемой обработкой их растворами хромпика и азотной кислоты.

При 600°С и выше магниевые сплавы склонны к росту зерна и повышению хрупкости. Для уменьшения неблагоприятного влияния нагрева магниевые сплавы легируют титаном (0,2—0,4%), селеном (0,5%) или церием (0,15—0,25%).

Дуговую сварку магниевых сплавов можно производить угольным электродом, применяя флюсы, указанные в табл. 29. Лучшие результаты дают флюсы, содержащие до 50% фтористых соединений. Флюс разбавляется водой и наносится кисточкой на кромки непосредственно перед сваркой. Кромки и присадочный пру-

ток должны быть очищены от слоя окиси магния шабером или протравлены в 10%-ном растворе азотной кислоты в течение 2—3 мин при 50—60°C, после чего промыты в 10%-ном растворе едкого кали или натра, а затем в проточной воде. При сварке применяют постоянный ток. Режимы сварки стыковых швов угольным электродом следующие:

Толщина металла, мм	0,8	1,5	2	2,5
Ток постоянный при прямой полярности, а	15	75	78	95
Скорость сварки, см/мин	55	22	22	17

Металл толщиной 0,8 мм сваривают встык с отбортовкой кромок без присадочного материала. Металл толщиной свыше 0,8 мм сваривают с применением присадочного прутка. Факел угольной дуги должен направляться на конец присадочного прутка, а дуга быстро перемещаться вдоль шва в соответствии со скоростью плавления кромок и прутка. Стыковые швы сваривают на подкладках из нержавеющей стали, снабженных продольными канавками для формирования обратной стороны шва. Тонкие листы перед сваркой собирают плотно, без зазоров.

После сварки изделие промывают теплой водой и на его поверхность наносят защитную пленку путем оксидирования в водном растворе из 2% бихромата калия, 0,1% хлористого аммония и 3% азотной кислоты при температуре 70—80°C.

Разработаны способы дуговой сварки магниевых сплавов *металлическим электродом*. Подготовка листов производится так же, как и при сварке угольной дугой. В качестве покрытия применяют шихту из фтористых солей или смеси их с хлористыми солями. Содержание фтористых солей должно составлять 10—30%. Покрытие разводят на воде и наносят на проволоку из магниевых сплавов, соответствующего по составу свариваемому металлу, слоем 1—1,1 мм при диаметре проволоки 4 мм и 1,4—1,5 мм при диаметре 8 мм.

Сварку производят только в нижнем положении постоянным током прямой полярности. Возможно использование для сварки переменного тока с напряжением холостого хода не ниже 100—120 в. Во избежание прожогов электрод следует перемещать возможно быстрее. Применяют предварительный подогрев детали до 200°C и стальные подкладки. Листы собирают на прихватках в приспособлениях (кондукторах). Режимы сварки следующие:

Диаметр электрода, мм	3,5	4	4—5	5—6	6—7	8—10
Ток, а	50—60	65—70	70—85	90—110	120—150	160—200

После сварки деталь подвергают медленному охлаждению, промывке теплой водой и оксидированию тем же способом, что и при сварке угольной дугой. Такой способ сварки сплава МА-1 обеспечивает временное сопротивление при растяжении 12—14 кгс/мм², при сварке с проковкой 18—19 кгс/мм². Проковка ведется при 200—300°C. Наилучшие результаты дает дуговая сварка магниевых сплавов в среде аргона и гелия, в обычном или импульсном режиме.

При газовой сварке магниевых сплавов можно получить наплавленный металл с временным сопротивлением, составляющим 60—80% такового для основного металла. Магниевые сплавы удовлетворительно свариваются газовым пламенем, но требуют применения флюсов для удаления тугоплавкой пленки окиси магния. Составы флюсов приведены в табл. 29.

Техника сварки, подготовка кромок и типы соединений магниевых сплавов те же, что и при сварке алюминиевых сплавов. Кромки скашивают под углом 30—35° при толщине металла свыше 3 мм. Кромки стыкуют с зазором от 1,5 до 6 мм (в зависимости от толщины) и они должны иметь притупление от 1,5 до 2,5 мм. Режимы сварки:

Толщина металла, мм	1—2	5—6	6—10
Расход ацетилена, $\text{дм}^3/\text{ч}$	150	300	400—700
Скорость сварки, м/ч	6—9	3—4	1,5—2

Флюс наносят на прутки и на участок свариваемого металла вдоль кромок по обе стороны шва. Остатки флюса тщательно удаляют после сварки промывкой горячей водой и очисткой щетками. Прокровка после сварки повышает пластичность наплавленного металла.

Крупные детали и литые из магниевых сплавов сваривают с предварительным подогревом до 300—350°C. Для устранения остаточных напряжений детали после сварки отжигают при температуре от 190 до 315°C в зависимости от марки сплава.

§ 5. СВАРКА ТИТАНА И НИКЕЛЯ

Сварка титана. Титан обладает малым удельным весом (4,5 г/см³) и высокой антикоррозийностью. Технический титан и его сплавы содержат 0,08—0,6% углерода, 0,3—2,15% железа, 1—4% марганца, 0,74—4% хрома. Например, титан ВТ1Д может содержать до 0,06% углерода, 0,12% алюминия, следы железа и кремния, 0,013% водорода, 0,13% кислорода. Временное сопротивление титана при растяжении составляет 84—126 кгс/мм², относительное удлинение от 5 до 20%.

Основная трудность сварки титана состоит в его склонности вступать в соединение с кислородом, азотом и водородом при высоких температурах нагрева. При содержании в титане более 0,15% кислорода снижается пластичность и вязкость сварных соединений, а также образуются трещины в швах. При повышенном содержании кислорода в титан вводят до 2,4% ванадия или до 2,4% ванадия и 2,8% алюминия.

Сплавы титана сваривают дуговой сваркой под флюсом, аргонодуговой сваркой, электронным лучом. Наилучшие результаты дает аргонодуговая и гелиево-дуговая сварка, а также сварка электронным лучом (см. гл. XXIII).

Сварка никеля. Дуговую сварку никеля марки НП-2 производят электродами марки П-2Н, имеющими стержень из никеля марки

НП-2 и покрытие следующего состава (%): криолита 16,5; титанового порошка 5,5; алюминия 8; фтористого натрия 8,5; мрамора 14,5; рутила 35; марганца 5; фтористого кальция 5; слюдяной муки 2.

При толщине металла до 3 мм листы сваривают встык без скоса кромок. При толщине 4—12 мм применяют V-образную подготовку кромок с углом раскрытия 70°, притуплением 0,5—2 мм зазором 1,5—3 мм. Кромки и металл около них зачищают перед сваркой до металлического блеска и обезжиривают. Сварку ведут в нижнем положении на медной подкладке, угловые швы сваривают в лодочку.

Применяют следующие режимы сварки: диаметр электрода 3 мм, ток 110—120 а; диаметр 4 мм, ток 150—170 а; диаметр 5 мм, ток 190—220 а. Ток постоянный, обратной полярности (плюс на электроде). Напряжение дуги 20—25 в. Сварку выполняют короткой дугой без подогрева. Металл толщиной 10 мм и более сваривают в 3 прохода.

Для сварки никеля НП-2 со сталью ВСт3 и Х18Н10Т применяют электроды ЭА-1Ф; стержень электрода из проволоки Св-07Х25Н13, покрытие ЦЛ-9 или ЭНТУ-3.

При сварке никеля с медью для обеспечения высоких механических свойств и электропроводности соединения используют электроды УР-8 со стержнем из медно-никелевой проволоки МНЖКТ-5-1-0,2-0,2 и покрытием фтористо-кальциевого типа.

Сварка медно-никелевых сплавов. Для сварки трубопроводов из медно-никелевого сплава МНЖ5-1, а также соединений их с деталями из латуни Л90 и бронзы Бр.АМц9-2 при толщине стенки до 5 мм используют электроды МН-5; сварку ведут в нижнем положении постоянным током обратной полярности.

Для сварки *монель-металла* и других медно-никелевых сплавов применяют электроды из проволоки НМЖМц28-2,5-1,5 с фтористо-кальциевым покрытием; сварка производится в нижнем положении постоянным током обратной полярности. Электроды ХН-1 из проволоки НИМО-25 с фтористо-кальциевым покрытием используют для сварки литого и ковального никель-молибденового сплава при содержании молибдена 25—30%; сварку ведут во всех пространственных положениях постоянным током обратной полярности. Коррозионно-стойкие никель-молибденовый сплав Н7ОМ27 и никель-хромомолибденовый ОХ15Н55М16В сваривают ручной или механизированной оргоно-дуговой сваркой вольфрамовым электродом.

Никель-кремнистый сплав состава (%): кремний 11,2—11,7; медь 4,2—4,5; остальное — никель сваривают электродом со стержнем из литого сплава того же состава, что и основной металл. Диаметр стержней 4; 4,5; 5,5 и 6 мм, длина 350—450 мм.

Сварку производят на постоянном токе обратной полярности. Величина тока берется 25 а на 1 мм диаметра стержня электрода. Во избежание растрескивания сварного шва и основного металла сварку ведут с предварительным и сопутствующим подогревом до 650—700° С. Скорость нагрева изделий под сварку не должна превышать 300°С/ч, скорость охлаждения — не более 200°С/ч.

Глава XIX

НАПЛАВКА ИЗНОСОСТОЙКИМИ СПЛАВАМИ

§ 1. НАПЛАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Наплавка износостойкими сплавами повышает твердость и износостойчивость деталей.

Для наплавки применяют зернистые и порошковые наплавочные смеси, литые сплавы в виде прутков, металлические электроды с легирующим покрытием, порошковую проволоку, керамические легирующие флюсы, трубчатые наплавочные электроды, стальную наплавочную проволоку.

Из износостойких сплавов нашли широкое применение следующие:

Сталини́т М (ГОСТ 11546—65) порошкообразный применяют для наплавки электродуговым способом быстроизнашивающихся стальных и чугунных деталей. Химический состав сталинита М следующий (%): хрома 24—26, марганца 6—8,5, углерода 7—10, кремния до 3, серы до 0,5, фосфора до 0,5, железа — остальное. Сталинит изготавливают из феррохрома марки ХР-6, ферромарганца марки МН-6, нефтяного кокса и чугунной стружки, смешивая их в пропорциях, обеспечивающих указанный выше химический состав порошка сталинита. Твердость наплавки сталинитом составляет не менее 75 *HRA* или 52 *HRC*. Насыпной вес сталинита должен быть в пределах 2,70—2,75 г/см³.

Вока́р — зернистая смесь измельченного вольфрама и углерода (из сахара). В структуре наплавки дает раствор высокотвердых карбидов вольфрама в железе. Это дорогой сплав, применяемый в основном для наплавки бурого инструмента. Твердость 1-го слоя 50—58, 2-го слоя — 61—63 *HRC*.

Для наплавки бурового инструмента применяют релиты — трубчато-зерновые сплавы ТЗ на основе вольфрама. Зерна релита содержат около 3% углерода, который с основной массой вольфрама (97%) образует карбиды WC и W₂C. Наплавленный слой состоит из частиц карбидов вольфрама и связующего сплава углерод-железо-вольфрам. Твердость наплавленного слоя составляет 70—90 *HRA* в зависимости от способа наплавки.

Висхо́м — дешевый зернистый сплав, не содержащий вольфрама. Содержит 6% углерода, 15% марганца, 5% хрома, остальное — железо (чугунная стружка). Широко используется в сельхозмашиностроении для наплавки лемехов, плугов, дисков и зубьев борон и пр. Твердость наплавки 250—320 *HB*.

Боридная порошковая смесь содержит 50% боридов хрома и 50% железного порошка. Дает хрупкий наплавленный слой. Применяется для наплавки деталей, работающих в условиях абразивного износа. Твердость наплавки 82—84 *HRA*.

Литые износостойкие сплавы имеют температуру плавления 1260—1300°C и представляют собой твердый раствор карбидов хрома в кобальте (стеллиты*) или в никеле и железе (сормайты). Сплавы на железной основе более хрупки, но дешевле, чем сплавы на никелевой и кобальтовой основе. Стеллиты имеют большую вязкость, коррозионную стойкость и лучшие наплавочные свойства, чем сормайты. Литые сплавы применяют для наплавки инструмента, ножей для резки металла, штампов, конусов, загрузочных устройств доменных печей и других подобных деталей.

Сормайт № 1 не требует термообработки после наплавки и может обрабатываться резцом. Сормайт № 2 менее хрупок, чем сормайт № 1, и после отжига может обрабатываться резцом; после закалки приобретает высокую твердость.

При наплавке дает твердость (*HRC*): стеллит В2К—46—48; стеллит В3К—42—43; сормайт № 1—49—54; сормайт № 2—40—45. Литые сплавы применяются в прутках диаметром 5—6 мм, длиной 250 мм. Содержание серы и фосфора не должно превышать в сумме 0,08%.

Сормайт (ГОСТ 11545—65) выпускается в виде прутков диаметром 6—7 мм, длиной 400—450 мм и в виде порошка крупного и мелкого. Прутковый сормайт применяют для наплавки паунсонов, матриц, роликов, деталей засыпных аппаратов домен, пропусков прокатных станов, лемехов и т. п. Порошкообразный сормайт применяют для наплавки деталей почвообрабатывающих машин и других деталей. Для наплавки прутковым сормайтом рекомендуется применять газовую или электродуговую наплавку, для порошкового — нагрев токами высокой частоты. Химический состав сормайта следующий (%): хрома 25—31, никеля 3—5, углерода 2,5—3, кремния 2,8—3,5, марганца до 1,5, серы до 0,07, фосфора до 0,08, железа — остальное. Твердость поверхностного слоя наплавки сормайтом равна 73—74 *HRA* или 48—50 *HRC*.

§ 2. ЭЛЕКТРОДЫ ДЛЯ НАПЛАВКИ

ГОСТ 10051—62 предусматривает 25 типов наплавочных электродов, обеспечивающих твердость наплавленного слоя от 25 до 65 *HRC*. Этот ГОСТ устанавливает также химический состав наплавленного металла и соответствующее обозначение для электрода каждого типа, например ЦН-5-ЭН-20Х12-40-5,0 расшифровывается так: ЦН-5 — марка электрода; буквы ЭН — электрод наплавочный; 20Х12-40-5,0 обозначает содержание в наплавке в среднем 0,20% уг-

* Например, стеллит KBX30 имеет следующий состав: 58—62% Co, 28—32% Cr; 4,5—5% W; 1—1,5% C; 2—4% Fe; 1—2% Si; 1,2—Ni; 1,5 — прочие примеси.

лерода, 12% хрома, 40 *HRC* — твердость; 5 — диаметр проволоки в мм. Если в обозначении электрода стоит буква У, то цифра после нее обозначает содержание углерода в наплавке в десятых долях процента. Например, ЭН-У30Х23Р2С2ТГ-55 означает, что наплавка содержит: 0,3% углерода, 23% хрома, 2% бора, 2% кремния, 1% титана и марганца, твердость 55 *HRC*.

Широкое распространение получили наплавочные электроды Московского опытно-сварочного завода. Характеристика и области применения их указаны в табл. 31.

Для наплавки резцов, фрез и других инструментов применяют также электроды марок ЦИ-1М, ЦИ-1У, ЦИ-1Л, РК-2, дающие в наплавке металл типа быстрорежущей стали и допускающие термообработку для получения твердости до 62—65 *HRC*.

Электроды ЦИ-1М имеют стержень из проволоки Св-08А и покрытие следующего состава: 23% мела, 16% плавикового шпата, 1,5% графита, 1,5% ферромарганца, 1,5% ферросилиция, 10% феррохрома, 5,2% феррованадия, 40,3% ферровольфрама, 1% алюминия, 30—35% жидкого стекла к весу сухой смеси.

Режим наплавки электродами ЦИ-1М следующий:

Диаметр электрода, мм	4	5
Ток, а:		
постоянный, на электроде (+) . .	100—220	130—150
переменный	180—200	210—230

Наплавляемый инструмент ограждается графитовыми или медными брусками и заплавляется металлом электрода. Твердость после наплавки 55—60 *HRC*, после отжига 30—32 *HRC*, после закалки и отпуска 62—65 *HRC*. Электроды ЦИ-1У имеют стержень из углеродистой проволоки У9 и покрытие, состоящее из 73% мрамора, 17,4% плавикового шпата, 1,5% ферромарганца, 1,4% ферросилиция, 10,2% феррохрома, 5,3% феррованадия, 39,8% ферровольфрама, 1% алюминия, 0,4% графита.

Режущие кромки ножей и ножниц наплавляют электродами ЦН-5, дающими в наплавке металл типа Х10.

Штампы наплавляют электродами Т-540, Ш-7, ЦН-4, 2Х13, НИП-48, дающими в наплавке мартенситную хромистую сталь (для электродов Ш-7 легированную молибденом). Наплавленные поверхности отжигают, подвергают механической обработке, а потом закаливают до твердости 40—57 *HRC*.

Электроды Т-590, Т-620, 13КН, БХЗ-2 дают наплавленный металл карбидной или мартенситной структуры твердостью 56—62 *HRC*, обрабатываемый только абразивным инструментом. Ими наплавляют быстроизнашивающиеся стальные и чугунные детали, работающие без ударной нагрузки. Для уменьшения хрупкости наплавка по чугуну производится только в один слой, а по стали — не более чем в два слоя.

Электроды ОЗН-250, ОЗН-300, ОЗН-350, ОЗН-400, УЗ40пб, К-2, ЦНИИ-250, К-1Б дают наплавленный металл перлитной структуры, средней твердости 250—400 *HB*. Твердость при наплавке этими электродами зависит от степени разбавления наносимого слоя ос-

Т а б л и ц а 31

**Электроды для наплавки Московского опытно-сварочного завода
(проволока Св-08 и Св-08А)**

Марка электрода	Твердость наплавки	Объекты наплавки	Режим наплавки током
У340пб	240—340 <i>HV</i>	Изношенные паровозные бандаж	Постоянный ток, на электроде (+) 4 мм—160—200 <i>a</i> 5 мм—200—240 <i>a</i>
ОЗН-250	220—280 <i>HV</i>	Концы рельсов, автотракторные: паровозные, вагонные детали и др.	
ОЗН-300	270—330 <i>HV</i>	Железнодорожные крестовины: автотракторные, паровозные, вагонные детали и др.	Постоянный ток, на электроде (+), возможно применение переменного тока: 4 мм—170—200 <i>a</i> 5 мм—210—240 <i>a</i>
ОЗН-350	320—380 <i>HV</i>	То же	
ОЗН-400	370—430 <i>HV</i>	Быстроизнашивающиеся детали, требующие высокой твердости	
ЦП-4	После наплавки 45—50 <i>HRC</i> После закалки 50—55 <i>HRC</i>	Быстроизнашивающиеся детали и кузнечный инструмент, требующий механической обработки режущим инструментом	Постоянный ток, на электроде (+) и переменный: 3 мм—100—120 <i>a</i> 4 мм—150—170 <i>a</i> 5 мм—180—200 <i>a</i>
ЭН-60М	После наплавки 56—60 <i>HRC</i> После закалки 58—61 <i>HRC</i>	То же	
ОЗИ-1	После наплавки 53—60 <i>HRC</i> После закалки 61—64 <i>HRC</i>	Режущий инструмент и штампы	Постоянный ток, на электроде (+) и переменный: постоянный ток: 3 мм—80—100 <i>a</i> 4 мм—130—150 <i>a</i> 5 мм—160—200 <i>a</i> переменный ток 3 мм—110—130 <i>a</i>

Марка электрода	Твердость наплавки	Объекты наплавки	Режим наплавки током
			4 мм—160—180 а 5 мм—190—220 а
T-590	58—62 HRC	Быстроизнашивающиеся стальные и чугунные детали, работающие без ударной нагрузки в абразивной среде (лопатки дымососов, щеки дробилок и др.)	Постоянный ток и переменный ток: 4 мм—200—220 а 5 мм—250—270 а
T-620	55—60 HRC	То же, но с умеренными ударными нагрузками (била мельниц, щеки камнедробилок и др.)	

новным металлом и скорости охлаждения. Быстрое охлаждение может вызвать закалку наплавляемого металла и появление трещин, поэтому наплавку ими ведут с предварительным подогревом до 300—600°.

Детали из высокомарганцовистой аустенитной закаливающейся стали Г-13 наплавляют электродами ОМГ и ОМГ-Н (см. гл. XVI, § 4). При наплавке электродами ОМГ в верхних слоях могут появляться трещины, не опасные для стойкости детали из стали Г-13, так как они не увеличиваются под нагрузкой. Электроды ОМГ-Н (с никелем) дают наплавленный металл, менее склонный к образованию трещин.

При больших объемах наплавочных работ широко применяется автоматическая дуговая наплавка малоуглеродистой проволокой Св-08 под легирующими керамическими флюсами, а также наплавка специальными порошковыми проволоками.

Для автоматической электродуговой наплавки применяют стальную наплавочную проволоку по ГОСТ 10543—63 диаметром от 0,3 до 8 мм. Этот ГОСТ предусматривает 8 марок углеродистой, 11 марок легированной и 9 марок высоколегированной наплавочной проволоки.

Углеродистая проволока содержит от 0,27 до 0,70% углерода, от 0,5 до 1,2% марганца, до 0,37% кремния, до 25% хрома и до 0,25%

никеля; она используется для наплавки осей, валов, опорных роликов гусениц и других подобных деталей, твердость наплавки от 160 до 310 *HV*.

Легированная наплавочная проволока содержит повышенные количества углерода, марганца, кремния, хрома, никеля (в зависимости от марки и назначения проволоки); некоторые марки ее легированы вольфрамом и ванадием. Эта группа проволок применяется при наплавке осей, прокатных валков, тяжело нагруженных колес, деталей, испытывающих ударные нагрузки и абразивный износ, штампов и др., когда требуется твердость 220—330 *HV* или 32—40 *HRC*.

Высоколегированные проволоки, кроме углерода, марганца и кремния, содержат еще значительные количества хрома, никеля, вольфрама, ванадия и титана в различных сочетаниях. Высоколегированные проволоки применяют для наплавки уплотнительных поверхностей арматуры, наплавки прокатных валков, ножей и штампов для металла, деталей, работающих при высокой температуре, железнодорожных крестовин. Высоколегированные проволоки могут давать наплавку с различной степенью твердости от 180 до 280 *HV* и от 32 до 52 *HRC*, требуемой прочности и вязкости. Для этой проволоки принято условное обозначение «Нп» с указанием диаметра и марки стали. Например, проволока диаметром 3 мм из стали 30ХСА имеет следующее условное обозначение: проволока 3Нп-30ХГСА, ГОСТ 10543—63. Для изготовления металлических электродов данная проволока не применяется.

§ 3. ТЕХНОЛОГИЯ НАПЛАВКИ

При ручной наплавке зернистых и порошковых сплавов (сталинита, вокара, боридной смеси) используется угольный электрод. При наплавке образуется однородный твердый слой, проникающий в основной металл на глубину 2—3 мм. Углерод, содержащийся в сплаве, частично сгорает, образуя газы, защищающие наплавку от окисления кислородом воздуха. Наплавку лучше производить на постоянном токе, так как в этом случае она получается более плотной. Режимы наплавки даны в табл. 32.

Таблица 32

Режимы наплавки зернистыми и порошковыми сплавами

Сплав	Толщина металла, мм	Диаметр электрода, мм	Длина дуги, мм	Ток, а	
				постоянный	переменный
Вокар	До 10	8—10	3—5	140—160	160—180
	Свыше 10	12—18	3—5	160—200	180—240
Сталинит	3—5	8—10	4—8	80—100	90—120
	6—15	10—12	4—8	120—140	140—160
	Свыше 15	16—20	4—8	160—200	180—230

Наплавляемая деталь не должна иметь трещин и других дефектов, уменьшающих ее прочность. Для устранения внутренних напряжений закаленные стали предварительно отжигают при 750—900°C. Наплавляемую поверхность зачищают до металлического блеска. Замасленные детали обжигают пламенем горелки или промывают горячим 10%-ным раствором каустика, а затем чистой водой.

При наплавке сталинитом рекомендуется в ванну добавлять в качестве флюса 2—5% прокаленной буры. Для предохранения краев детали от плавления и получения чистой, ровной кромки место наплавки обкладывают пластинками из графита. По окончании наплавки пластинки убирают. Отверстия в детали, не подлежащие заплавке, забивают чистым влажным кварцевым песком. Для предупреждения коробления детали наплавку производят участками, предварительно нагревая деталь до 600—650°C или увеличивая отвод тепла от детали применением массивных медных подкладок и охлаждением водой.

Зернистые и порошковые сплавы насыпают на поверхность детали слоем, несколько большим, чем требуемая толщина наплавки. После расплавления высота слоя составляет: для сталинита 35—40%, для вокара 50—65% и боридной смеси — 20—30% от толщины первоначально насыпанного слоя. Насыпанный слой слегка утрамбовывают и выравнивают шаблоном. Сталинит насыпают полоской шириной до 60 мм, вокар — до 20—30 мм. Наплавку ведут, не прерывая горения дуги. Электрод передвигают с одного края наплавки на другой в направлении от себя. Так как сплав имеет высокое электросопротивление, конец электрода должен быть направлен не на поверхность насыпанного слоя, а в его торец.

За один проход наплавляется слой толщиной не более 1,5 мм. Наплавку можно вести в несколько слоев, с тщательной зачисткой каждого предыдущего слоя. Общая толщина наплавки не должна превышать 5—6 мм для сталинита, 3—4 мм для вокара и 1,4—1,7 мм для боридной смеси. Для деталей, испытывающих ударные нагрузки, толщина наплавки сталинитом должна составлять 1,5—2,5 мм. Наплавленный слой должен быть на 1—2 мм шире рабочей поверхности детали.

Порошкообразные сплавы можно наплавлять и металлическими электродами типа Э-34 или Э-42. При этом улучшается формирование наплавленного слоя, уменьшается образование трещин, но снижается твердость наплавки вследствие разбавления твердого сплава металлом электродной проволоки.

Если нужно наплавить сталинитом толстый слой, то для получения прочной, нехрупкой наплавки два первых слоя наплавляют комбинированным способом, расплавляя сталинит стальным электродом, а последний — угольным.

На чугун сталинит наносят в один слой толщиной 3—4 мм.

Чугунную деталь сложной формы следует подогревать до температуры 300—400°C.

При дуговой наплавке сормайтот на прутки наносится покрытие состава (% по весу):

	Покрытие А	Покрытие Б
Мрамор	50	55
Плавиковый шпат	30	30
Ферромарганец	6	6
Феррохром	10	—
Графит	4	9
Жидкое стекло (к сумме сухих веществ)	30—35	30—35

Покрытие А применяют для деталей, подогреваемых при наплавке до 600—700°C, а покрытие Б — до 300—400°C. Покрытие наносят слоем 1,4—1,6 мм. Режим наплавки следующий:

Диаметр электрода, мм .	4	5	6	7
Ток, а:				
постоянный	140—160	180—200	200—225	225—250
переменный	160—180	220—225	225—250	250—300

При использовании специальных наплавочных электродов режим наплавки должен соответствовать указанному в паспорте электрода. Наплавку ведут не более чем в 3 слоя. Для восстановления первоначальных размеров детали первые несколько слоев наплавляют обычными электродами для сварки стали данной марки. Первый слой всегда содержит от 30 до 50% основного металла и твердость его значительно ниже, чем последнего. Во избежание появления трещин кратер при наплавке металлическими электродами выводят на уже наплавленный валик.

При ручной наплавке применяют также трубчатые электроды из порошковой проволоки. Автоматическую наплавку порошковой проволокой производят с помощью полуавтоматов или автоматов.

После наплавки деталь охлаждают; если требуется механическая обработка, деталь подвергают отжигу. После обработки и восстановления размеров наплавленный слой подвергают закалке и отпуску на заданную твердость. Наплавку, не подвергаемую термической обработке, зачищают абразивными кругами или используют без обработки (зубья ковшей экскаваторов, щеки камнедробилок и др.). Отжиг выполняется при температуре 900—950°C, закалка — в масле с температурой нагрева 850—950°C, отпуск — нагревом до 200—250°C (электроды Т-540) или 500°C (электроды Ш-7).

Современные предприятия, широко использующие наплавку при изготовлении и ремонте изделий, имеют специальные наплавочные участки, оснащенные высокопроизводительным оборудованием для механизированных способов наплавки: дуговой под флюсом одной и или несколькими проволоками; порошковыми проволоками круглого или ленточного сечения; в защитных газах (аргоне, азоте, водороде, углекислом газе); плазменно-дуговой; электрошлаковой; вибродуговой; токами высокой частоты. Применение механизированных способов во много раз повышает производительность наплавки и улучшает ее качество.

Ручные способы наплавки используются только при малом объеме работ и ремонте деталей.

При газовой наплавке применяют прутки из литых износостойких сплавов, так как порошкообразные сплавы раздуваются пламенем горелки.

Если деталь сильно изношена, то перед газовой наплавкой износостойким сплавом ее наплавляют малоуглеродистой проволокой для восстановления первоначального профиля. После этого очищают место наплавки от шлаков, а затем снимают фаску или делают выточку (канавку). При наплавке сормайт^{ом} № 1 глубина выточки (канавки) должна быть равна: для деталей, работающих на истирание, — 1,5—2,5 мм; для режущих кромок инструмента — 0,5—1,5 мм; для инструмента, испытывающего ударные нагрузки, — не более 0,5 мм.

При наплавке сормайт^{ом} № 2, который менее хрупок, чем сормайт № 1, а также для инструментов, применяемых при горячей обработке металлов, глубину фаски увеличивают в два раза. Глубина канавки определяет толщину рабочего слоя наплавки. Острые углы фасок следует закруглять. Ширина фаски берется равной 5—10 мм.

Глава XX

ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ

При изготовлении ряда конструкций производительность труда сварщика может быть значительно повышена путем применения высокопроизводительных методов ручной дуговой сварки. Рассмотрим эти методы.

§ 1. СВАРКА С ГЛУБОКИМ ПРОПЛАВЛЕНИЕМ

Одним из способов повышения производительности дуговой сварки является уменьшение объема наплавленного металла на единицу длины шва. Это положено в основу сварки с глубоким проплавлением. Необходимая прочность соединения обеспечивается глубиной проплавления свариваемых деталей.

Объем наплавленного металла шва с глубоким проплавлением меньше, чем обычного шва. На такой шов расходуется меньше электроэнергии и электродов, так как он образуется за счет большей доли основного расплавленного металла.

Способ сварки с глубоким проплавлением разработан инженерами А. Д. Бондаренко и А. С. Чесноковым и нашел широкое применение в практике сварки, особенно при изготовлении строительных конструкций, тонкостенных резервуаров, корпусов судов и других изделий из стали толщиной 4—12 мм.

Глубина проплавления увеличивается с увеличением тока. Повышение тока на 50 а увеличивает глубину проплавления в среднем на 1 мм.

При сварке с глубоким проплавлением электрод опирается кромкой покрытия на свариваемый металл (рис. 136, а). После возбуждения дуги на конце

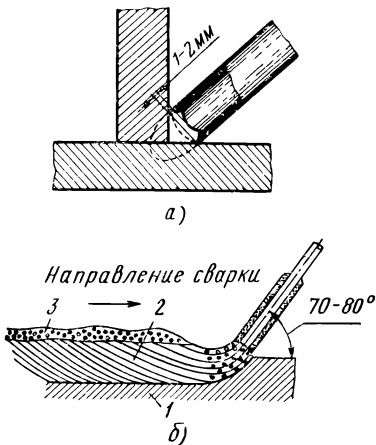


Рис. 136. Положение электрода при сварке с глубоким проплавлением:

а — поперечный разрез, б — продольный разрез; 1 — основной металл, 2 — металл шва, 3 — шлак

электрода образуется чехольчик из нерасплавившегося покрытия, внутри которого горит дуга. Чехольчик предохраняет электрод от короткого замыкания.

Сварщик нажимает электрододержателем в сторону направления сварки, и по мере расплавления свариваемого металла и покрытия электрода равномерно перемещает его без поперечных колебаний. Электрод должен быть наклонен к линии шва под углом $70-80^\circ$ (рис. 136, б). Жидкий металл давлением газом вытесняется в сторону, противоположную, направлению сварки, образуя валик шва. При этом обнажается основной металл, который подвергается воздействию дуги.

Сварка выполняется электродами ОЗС-3, толщина слоя покрытия у которых больше, чем у обычных. Вес покрытия составляет 60—80% от веса стержня, отношение диаметра электрода к диаметру стержня 1,5—1,6.

Тавровое соединение сваривают «в лодочку» (рис. 137), при которой обеспечивается более равномерное заполнение шва жидким металлом. Скорость сварки зависит от величины тока. Если уменьшить скорость сварки, оставив ток неизменным, то размеры сечения шва увеличатся. Для получения тех же размеров шва при пониженной скорости сварки ток необходимо уменьшить.

Приемы сварки стыковых соединений такие же, как и при сварке втавр. Для обеспечения надлежащего формирования шва применяют электроды с более толстым слоем покрытия, чем при сварке тавровых соединений. Стыковые соединения без скоса кромок сваривают на режимах, приведенных в табл. 33.

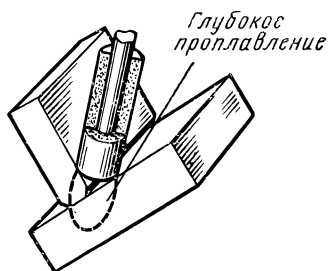


Рис. 137. Сварка «в лодочку»

Таблица 33
Режимы сварки стыковых соединений без скоса кромок электродами ОЗС-3

Толщина металла, мм	Рекомендуемый зазор, мм	Диаметр электрода, мм	Ток, а	Глубина проплавления, мм
<i>Односторонняя сварка</i>				
4—5	1,0	5	200	4—5
6	1,5	6	250	6
8	2,0	6	350	8
<i>Двусторонняя сварка</i>				
8	1,0	6	380—420	5—7
10	1,0—1,5	6,5	400—450	6—8
12	1,5—2,0	6—7	450—550	7—9
16	1,5—2,5	6—7	450—550	9—12

Стыковые швы на толстом металле следует сваривать со скоростью не ниже 20 м/ч в несколько проходов (слоев). При повышенной скорости сварки получается шов меньшей ширины, требующий меньшего расхода электродов, электроэнергии и времени на сварку. Многослойная сварка обеспечивает получение металла шва более высокого качества вследствие отжига при наложении последующих слоев.

§ 2. СВАРКА ШВОВ В ВЕРТИКАЛЬНОМ ПОЛОЖЕНИИ

Сварка вертикальных швов производится способом «сверху вниз». Для этого используются электроды АНО-9 (см. гл. V). При сварке конец электрода опирается на изделие и перемещается вниз

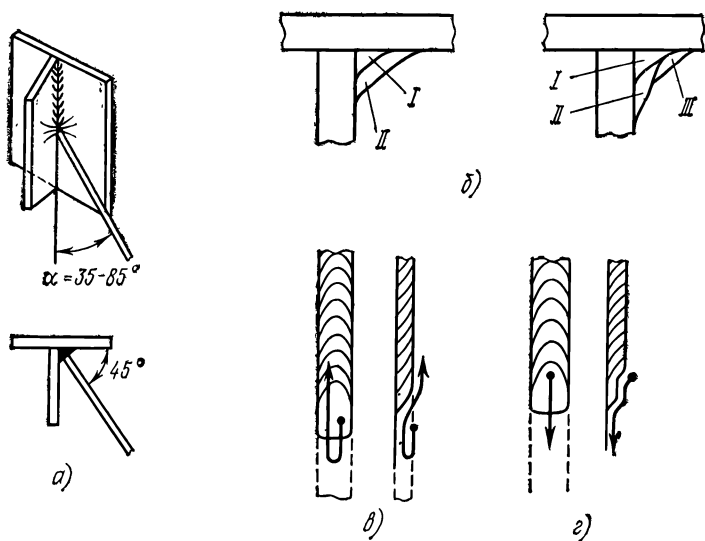


Рис. 138. Сварка вертикальных швов высокопроизводительными электродами АНО-9:

а — сварка однопроходных швов, б — сварка многослойных швов, в — заварка кратера, г — возобновление сварки; I, II, III — слои шва

по мере оплавления покрытия, без поперечных колебаний. Схема сварки показана на рис. 138. Швы с катетом 7 мм выполняют в один проход, швы большего сечения — в два и более проходов. Правильно выполненные швы имеют плоскую или слегка вогнутую форму без усиления, наиболее благоприятную для отсутствия условий, при которых возможна концентрация напряжений (нет подрезов, несплавлений и пр.). При сварке швов с катетом 8 мм применяют электроды диаметром 4 мм, скорость сварки составляет 10 м/ч, что в 2 раза больше скорости сварки электродами

УОНИ-13/55 диаметром 5 мм. Для многослойных швов производительность сварки повышается на 30% по сравнению со сваркой электродами УОНИ-13/55.

§ 3. СВАРКА ПОГРУЖЕННОЙ ДУГОЙ

Способ сварки погруженной дугой (рис. 139) предложен Я. А. Ларионовым и применяется при односторонней сварке встык листов толщиной до 20 мм без скоса кромок. Этот способ дает экономию электродов, времени и затрат труда на подготовку кромок.

Свариваемые листы помещают на стальную подкладку 1. На концах шва ставят ограничительные планки 2. Зазор между кромками должен на 1—1,5 мм превышать диаметр электрода 3. Для устранения сближения кромок от усадки наплавленного металла листы раздвигают под углом один к другому на 10—20 мм на каждый метр длины шва. Сварка выполняется электродами ОЗС-3, УОНИ-13 и другими, образующими при плавлении на конце чехольчик.

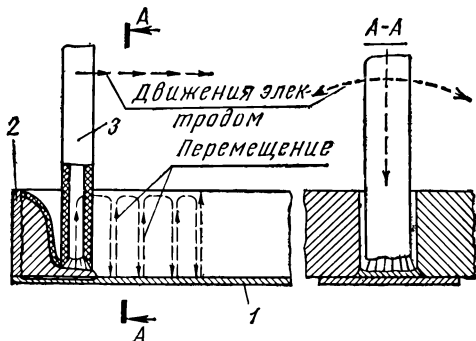


Рис. 139. Схема сварки погруженной дугой

Дуга возбуждается на стальной подкладке и по мере образования ванны электрод 3 поднимают вверх, наклоняя то к одной, то к другой кромке листов для их оплавления и сплавления с жидким металлом ванны. Заполнив один вертикальный слой шва, сварщик вновь опускает электрод на соседний участок и повторяет те же движения в процессе сварки шва по всей длине.

С поверхности свариваемого шва удаляют шлак и накладывают декоративный шов, заполняющий неровности основного шва.

Сварку погруженной дугой выполняют электродами диаметром 4; 5 и 6 мм. Ток применяют максимально допустимый для электрода данного диаметра.

При данном способе, когда дуга погружена в зазор между кромками свариваемого металла, потери тепла в окружающую среду уменьшаются, использование тепла дуги возрастает и производительность повышается.

§ 4. СВАРКА СПАРЕННЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ И ПУЧКОМ ЭЛЕКТРОДОВ

Способы сварки спаренными электродами и пучком электродов разработаны В. С. Володиным.

Спаренные электроды представляют собой два стержня из электродной проволоки длиной 450 мм, сложенные вместе и

имеющие общий слой покрытия. Вес покрытия должен составлять около 25% от веса металлических стержней. Сварка спаренными электродами выполняется теми же приемами, как и одним электродом. Спаренные электроды располагают так, чтобы оси стержней лежали в плоскости оси шва, а при большом угле разделки кромок — перпендикулярно оси шва. Электрододержатель должен обеспечивать контакт с двумя стержнями. При сварке шов располагается наклонно под углом 5—10°. Сварка ведется на себя, причем сварщик держит электрод под углом 60—70° к плоскости металла. Сварку можно производить как на переменном, так и на постоянном токе на следующих режимах:

Толщина металла, мм	2—4	4—8	8—12	12—20
Диаметр электрода, мм	3+3	4+4	5+5	6+6
Ток, а	100—180	180—300	250—350	300—400

Сварка спаренными электродами имеет следующие преимущества перед сваркой одним электродом:

1. Сварка может выполняться на повышенном токе, что увеличивает количество наплавляемого металла и повышает производительность на 50—80%.

2. Увеличивается время полезного горения сварочной дуги, потому что сварщик как бы работает электродом длиной $2 \times 450 = 900$ мм и тратит вдвое меньше времени на смену электродов.

3. Улучшаются условия труда, так как дуга горит более устойчиво, электрод не перегревается и дает меньше брызг.

4. Уменьшаются потери металла на угар и разбрызгивание до 8—10% вместо обычных 20—25%.

Применение спаренных электродов позволяет сваривать за один проход металл толщиной до 12 мм.

При сварке пучком электродов берется несколько покрытых электродов, которые скрепляются в нескольких местах проволокой, а контактные концы их сваривают вместе и вставляют в общий электрододержатель. Ток подводится одновременно ко всем электродам, а дуга горит попеременно между электродами и свариваемым металлом. Величина тока равна

$$I_{\text{св}} = (20 \div 30) \cdot n \cdot d_0,$$

где n — число электродов в пучке;

d_0 — диаметр электрода.

Этот способ повышает производительность в 1,5—2 раза и снижает удельный расход энергии на 20—30% по сравнению со сваркой одним электродом, имеющим диаметр, равный диаметру отдельных электродов, входящих в пучок. Корень шва для обеспечения надлежащего провара предварительно сваривается одним электродом диаметром 4—5 мм.

Для наплавки применяют пучки из нескольких электродов, расположенных в один ряд в виде гребенки (2; 3 и 4 шт.); для сварки используют пучки в форме треугольника (3 шт.), квадрата (5 шт.), прямоугольника (6 шт.) и круга (5 и 7 шт.). В пучках с

пятью и более электродами часть стержней является холостыми, т. е. не включается в цепь сварочного тока; холостые стержни плавятся только за счет тепла сварочной ванны, увеличивая объем наплавки.

§ 5. СВАРКА ВАННЫМ СПОСОБОМ

Ванный способ применяют при сварке стальных арматурных стержней диаметром 20—100 мм, стыков многорядной арматуры железобетонных сооружений, стыков фланцев, согнутых из полос большого сечения, рельсовых стыков, а также других деталей.

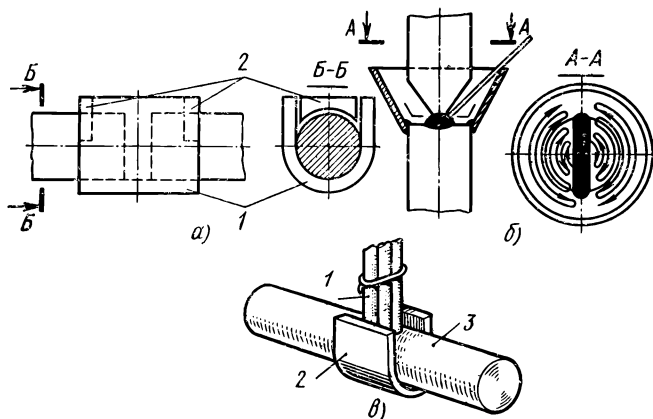


Рис. 140. Сварка ванным способом стержней арматуры:

а — горизонтальных: 1 — форма, 2 — пластинки; *б* — вертикальных;
в — горизонтальных гребенкой электродов: 1 — электроды, 2 — медная или керамическая форма, 3 — стержень

Для сварки ванным способом горизонтальных стержней используют стальную форму 1 (рис. 140, *а*). При сварке трехфазной дугой применяют еще боковые ограничительные пластинки 2. Форма приваривается к металлу стыка и остается на стержне после окончания сварки. Перед сваркой торцы и боковые поверхности концов стержней зачищают стальной щеткой. Зазор между стержнями должен составлять 1,5 диаметра электрода (с покрытием). Несовпадение осей стержней не должно превышать 5% диаметра стержней. Используют также медные формы, удаляемые после сварки.

Горизонтальные стержни сваривают электродами диаметром 5—8 мм с покрытием УОНИ-13/45 или УОНИ-13/55. Режим сварки следующий:

Диаметр свариваемого стержня, мм	20	30	40	60
Диаметр электрода, мм	5	5	5; 6;	5; 6; 8
Ток, а	240	275	275; 300	450; 300; 400

Вначале расплавляют нижнюю стенку формы и сваривают ее с кромками стержней без добавления присадочных прутков. Постепенно производя колебательные движения электродом перпендикулярно осям стержней, заправляют все сечение стыка. Излишек шлака удаляют из ванны черпаком.

Металл ванны должен находиться все время в жидком состоянии, чтобы торцы стержней могли сплавляться с металлом ванны. После сварки половины сечения стыка дугу направляют преимущественно на среднюю часть ванны, уменьшая нагрев торцов стержней. Для предупреждения образования в стыке усадочных раковин ему придают утолщение высотой 2—3 мм. С целью увеличения коэффициента наплавки, понижения температуры ванны и снижения количества шлака в дугу дополнительно вводят стальные прутки. Слой шлака над поверхностью ванны не должен превышать 5—8 мм.

При сварке стыков арматуры трехфазной дугой (см. § 5) применяют следующие режимы:

Диаметр стержней, мм	50	100
Диаметр электрода, мм	6+6	8+8
Ток, а	280—400	450—600
Время сварки стыка, мин	2,5—3,2	6,25—7

Стыки вертикальных стержней сваривают с применением штампованной формы из листовой стали (рис. 140,б). Верхний стержень скашивают с двух сторон под углом 35°, оставляя на торце площадку шириной 4—6 мм. Зазор между торцами должен быть 2—3 мм. Форму предварительно приваривают по окружности к нижнему стержню. После этого конец верхнего стержня приваривают к нижнему и продолжают заполнение формы жидким металлом, перемещая электрод полукругами попеременно то с одной, то с другой стороны. Одновременно расплавляют поверхности торцов стержней и сплавляют их с металлом ванны. Избыток шлака выпускается через отверстия в стенке формы, специально прожигаемые электродом. Режимы сварки вертикальных стержней однофазной дугой следующие:

Диаметр стержней, мм	20	30	40	60
Диаметр электрода, мм	4	5	6	6
Ток, а	170—190	275—290	300—330	330—350

Вертикальные стержни можно сваривать также трехфазной дугой на режимах, применяемых при сварке горизонтальных стержней.

При ванном способе сварки стержней может происходить зашлаковка их торцов, особенно в нижней части стыка, что снижает прочность соединения. Причиной зашлаковки является слишком быстрый отвод тепла от торцов свариваемых стержней. Для уменьшения зашлаковки следует предварительно подогревать торцы. Можно также усилить охлаждение наружных участков шва путем искусственного охлаждения формы, а также применять формы из более теплопроводного металла, например меди. В этом случае

шлаки собираются вблизи поверхности стыка, где происходит наиболее интенсивный отвод тепла.

Стыки стержней диаметром 30—80 мм выполняют многоэлектродной сваркой. В электрододержателе устанавливают параллельно 3—5 электродов, приваренных к пластине. Электроды плавят одновременно, заполняя стык жидким металлом. Собранный стык предварительно закрепляют прихватками. Для сварки используют электроды УОНИ-13/55 или УП-2/55. При таком способе сварки также используют медную форму вместо стальной подкладки (рис. 140, в).

В настоящее время арматурные стержни большого диаметра сваривают полуавтоматическим способом под флюсом с использованием керамической формы, которая после сварки разбивается и удаляется, а также автоматической электрошлаковой сваркой в медной форме.

Ванный способ применяют также при дуговой сварке стыков рельс, используя электроды УОНИ-13/55А. Свариваемый стык рельсов помещают на планку, а с боков устанавливают симметрично зазору две половинки медной неохлаждаемой формы. Допускаемое отклонение свариваемых торцов от вертикали не должно превышать 2 мм. Зазор между торцами 16—18 мм.

Концы рельсов перед сваркой должны быть тщательно очищены от окислы, грязи, масла, наплывов и остатков шлака после обрезки кислородом и др., на длине 150 мм в обе стороны от стыка. Величина тока берется следующей: при диаметре электрода 5 мм — 275 а для рельсов типов Р-43 и Р-50; 325—350 а для рельсов типов Тв-60 и Тв-65; для диаметра электродов 6 мм — соответственно 325—400 а в зависимости от типа рельсов. Сварку ведут на постоянном токе обратной полярности. Поскольку сварка выполняется ванным способом и устойчивость горения дуги здесь не имеет решающего значения, можно применять также переменный ток.

Сварку производят в два приема: сначала сваривают подошву рельса, а затем и головку.

§ 6. СВАРКА ТРЕХФАЗНОЙ ДУГОЙ

Этот способ разработан Г. П. Михайловым и был внедрен на Уральском заводе тяжелого машиностроения (УЗТМ). Этим способом целесообразно сваривать швы с большим объемом наплавленного металла: при изготовлении конструкций из низколегированных и легированных сталей средней и большой толщины, наплавке твердых сплавов, заварке дефектов стального литья.

Сущность способа (рис. 141, а) состоит в том, что двум электродам 3 и 4 и свариваемому металлу 1 ток подводится одновременно от трех фаз источника переменного тока. В результате возникают три одновременно горящие сварочные дуги: по одной между каждым из электродов и металлом (дуги 2 и 6) и дуга 5 — между электродами. При этом выделяется большое количество тепла,

вследствие чего возрастает скорость плавления электродов и производительность сварки увеличивается в 2—3 раза по сравнению со сваркой однофазной дугой.

При непрерывном горении трехфазной дуги можно наплавить до 8 кг/ч металла при диаметре электродов 6 мм. Благодаря лучше-

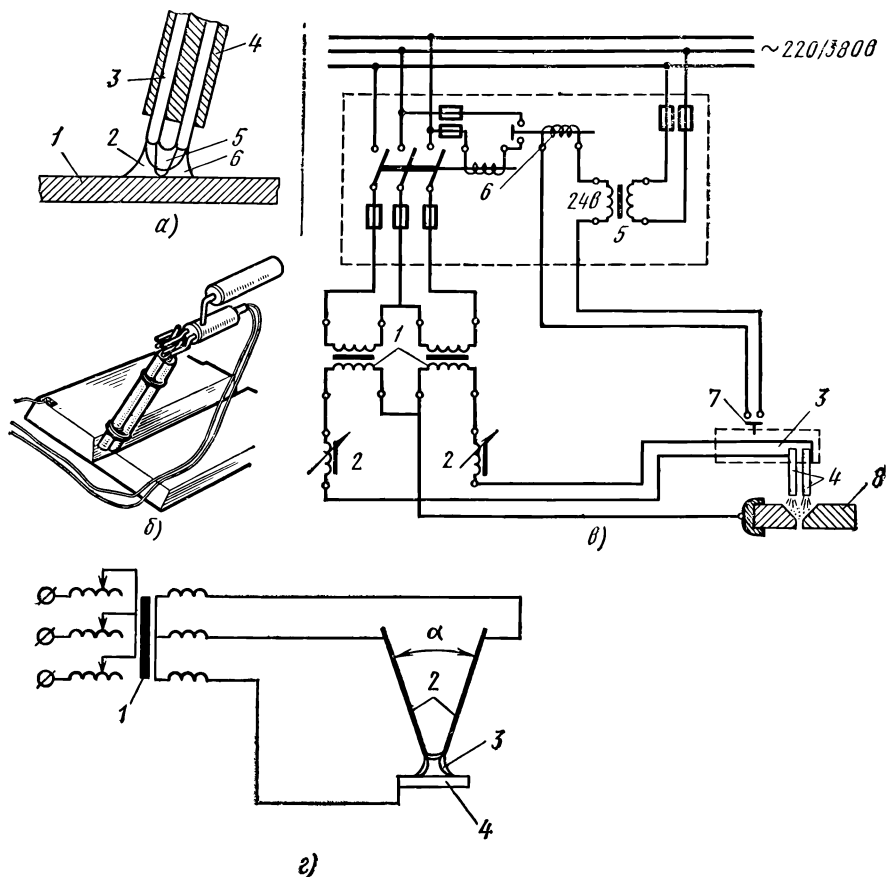


Рис. 141. Сварка трехфазной дугой:

а — схема процесса, б — сварка стыкового шва, в — схема включения двух трансформаторов открытым треугольником, г — схема установки ТФД-1000 для автоматической сварки трехфазной дугой

му 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, т. е. экономия электроэнергии составляет 20—30%.

Электроды для сварки трехфазной дугой состоят из двух параллельно расположенных стержней, имеющих общее покрытие. С одного конца электроды зачищены для присоединения к электродо-

держателю специальной конструкции, позволяющему подводить ток раздельно к каждому из электродов (рис. 141, б). При сварке две фазы присоединяют к электрододержателю, а третью — к свариваемому металлу.

Питание трехфазной сварочной дуги осуществляется от специальных трансформаторов: при ручной сварке — типа 3-СТ (система Н. С. Сиунова) и ТТС-400 (завод «Электрик»), при автоматической — ТТСД-1000 (завод «Электрик») и СТ-2Д (Института электросварки им. Е. О. Патона).

Можно также пользоваться двумя однофазными сварочными трансформаторами СТЭ-32 или СТЭ-34, включенными по схеме открытого треугольника, как указано на рис. 141, в.

При включении кнопки 7 на электрододержателе 3 замыкается цепь вторичной обмотки вспомогательного трансформатора 5 и включается катушка электромагнитного контактора 6, вследствие чего возникает ток во вторичных обмотках трансформатора 1 и образуются сварочные дуги между электродами 4 и свариваемым металлом.

Ток от каждого трансформатора 1 поступает через соответствующий регулятор (дроссель) 2 к электродам. Вторые концы обмоток трансформаторов 1 подключены к свариваемому изделию 8.

Режимы сварки стыковых и тавровых соединений трехфазной дугой следующие:

Толщина металла, мм	10	10	25—30	свыше 30
Диаметр электродов, мм	5+5	5+5	6+6	8+8
Ток на один электрод, а	180—200	200—250	300—350	380—400

Сварка малоуглеродистой стали трехфазной дугой дает наплавленный металл с высокими механическими свойствами.

В процессе ручной сварки при случайных изменениях уровня ванны, наклоне детали, изменении напряжения и пр. режим сварки нарушается. Это приводит к неравномерному проплавлению, появлению подрезов и других дефектов. Поэтому сварку трехфазной дугой предпочтительнее производить механизированным способом от специальных установок, снабженных автоматическими регуляторами поддержания заданного режима сварки. На рис. 141, г приведена принципиальная схема такой установки ТФД-1000 ИЭС им. Е. О. Патона. Дуги 3, горящие между двумя электродами 2 и свариваемым металлом 4, питаются током от трехфазного низковольтного трансформатора 1 с жесткой характеристикой. Саморегулирование процесса обеспечивается при сварке параллельными электродами, т. е. при $\alpha=0$; устойчивость дуги в этом случае достаточна для получения качественных швов.

§ 7. СВАРКА НАКЛОННЫМ ЭЛЕКТРОДОМ

Этот способ разработан А. А. Силиным в сварочной лаборатории Уральского вагоностроительного завода им. Ф. Э. Дзержинского. Электрод 1 с толстым покрытием ставится наклонно на шов, как

показано на рис. 142. Один конец электрода зажат в контактах обоймы 2, которая может свободно опускаться по штанге 3, электрически изолированной от свариваемого металла. При оплавлении конца электрода последний опускается параллельно своей оси, а обойма при этом скользит вниз по штанге. Угол наклона оси электрода к основному металлу остается постоянным. Ток к электроду подводится через обойму. Дугу возбуждают замыканием конца электрода на металл с помощью второго (вспомогательного) электрода, например угольного.

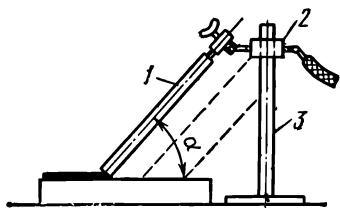


Рис. 142. Сварка наклонным электродом

§ 8. СВАРКА ЛЕЖАЧИМ ЭЛЕКТРОДОМ

Схема сварки лежачим электродом дана на рис. 143, а. В разделку шва свариваемого металла 9 укладывается несколько покрытых электродом 4, соединяемых друг с другом вставками

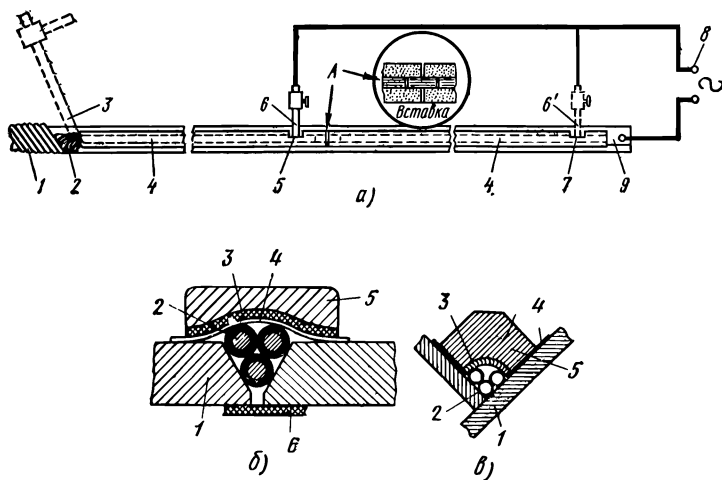


Рис. 143. Схемы сварки и укладки электродов:

а — сварка лежачими электродами: 1 — шов, 2 — дуга, 3 — электрод для возбуждения дуги, 4 — лежачий электрод, 5 и 7 — зачищенные участки, 6 и 6' — контакты, 8 — источник сварочного тока, 9 — свариваемый металл; б и в — укладка в шов нескольких электродов: 1 — свариваемый металл, 2 — электроды, 3 — медная накладка, 4 — бумага для предохранения медной и стальной накладок от подгорания, 5 — стальная накладка, 6 — нижняя подкладка

(см. схему в круге А). Вблизи второго конца электроды зачищены от покрытия на участках 5 и 7, к которым подключены контакты 6 и 6' сварочной цепи источника сварочного тока 8. Второй контакт цепи от источника тока подключен к свариваемому металлу 9.

Дуга 2 возбуждается вспомогательным электродом 3 (стальным или угольным). При плавлении электрода 4 образуется металл шва 1. Для ускорения процесса можно параллельно вести сварку дополнительным металлическим электродом 3, расплавляя его позади дуги лежачего электрода. После расплавления и израсходования первого по ходу сварки электрода 4 контакт 6 отключается и включается контакт 6¹. Дуга 2 горит под слоем шлака, образуемого покрытием лежачего электрода. Длина каждого электрода берется равной 700—900 мм, диаметр 4—8 мм, толщина покрытия

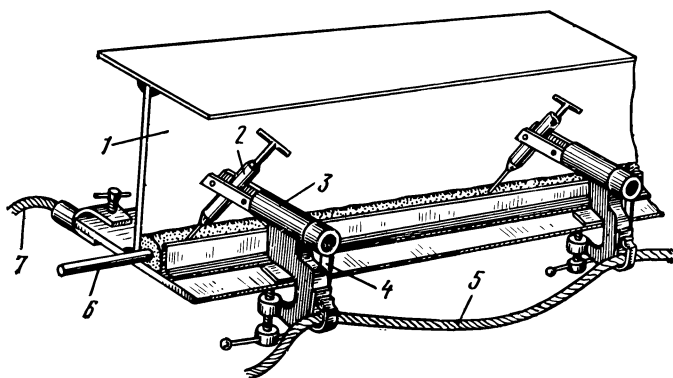


Рис. 144. Сварка лежачим электродом под слоем флюса:
1 — свариваемая балка, 2 — прижимные контакты, 3 — струбцины, 4 —
пружины контактов, 5 и 7 — сварочные провода, 6 — электрод

1,5÷3 мм, в зависимости от диаметра стержня. Применяются также трубчатые электроды из стальной трубки, заполненные флюсом и покрытые сверху тонкой обмазкой, уменьшающей влияние на дугу магнитного дутья при сварке. Лежачим электродом можно вести и многослойную сварку, закладывая в шов одновременно несколько электродов. В этом случае каждый электрод необходимо питать током от отдельного сварочного трансформатора. Способы укладки в шов нескольких электродов показаны на рис. 143, б и в.

Полуавтоматический способ сварки лежачим электродом под флюсом предложен Д. А. Дульчевским и усовершенствован В. И. Кузнецовым и М. И. Кунисом. Применение этого способа для сварки углового шва двутавровой балки показано на рис. 144. Сварочная дуга под слоем флюса возникает между концом электрода и свариваемым металлом при включении тока. По мере плавления электрода дуга перемещается от одного контакта к другому, а расплавляемый металл уложенного в шов электрода образует валик сварного шва. Дуга под слоем флюса горит устойчиво и равномерно плавит электрод. Режим сварки следующий:

Диаметр электрода, мм	4	10
Ток, а	220—260	580—620

Длина электрода может быть любой и ограничивается только прямолинейностью его стержня, способом подвода тока, а также возможностью обеспечить равномерный зазор между стержнем и свариваемым металлом по всей длине шва. Дуга возбуждается автоматически, для чего до засыпки флюса между концом электрода и основным металлом помещают кусочек графита или пучок тонкой проволоки. Данным способом могут свариваться не только прямолинейные, но также круговые или фигурные швы. Для каждого очертания шва требуется изготовить соответствующую ему раму, к которой крепятся прижимные контакты.

Глава XXI

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ СВАРОЧНОЙ ДУГИ

§ 1. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ИСТОЧНИКАМ ПИТАНИЯ

Источник питания должен обеспечивать легкое зажигание и устойчивое горение дуги, создавая необходимое напряжение и силу тока в сварочной цепи.

Внешняя характеристика. Свойства источника питания определяются его внешней характеристикой, представляющей кривую зависимости между током (I) в цепи и напряжением (U_n) на зажимах источника питания.

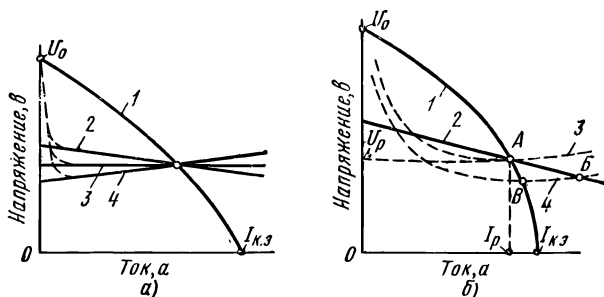


Рис. 145. Внешние характеристики источников питания (а) и их связь с вольт-амперной характеристикой сварочной дуги (б)

В зависимости от конструкции и электрической схемы источников питания их внешняя характеристика может быть (рис. 145, а): 1 — крутопадающая, 2 — пологопадающая, 3 — жесткая и 4 — возрастающая.

Внешняя характеристика источника питания должна соответствовать статической характеристике дуги. При ручной сварке на средних режимах дуга имеет жесткую характеристику, т. е. U_d не зависит от сварочного тока и остается постоянным. Поэтому при ручной дуговой сварке наиболее приемлемыми являются источники питания с крутопадающей характеристикой типа 1, так как они обеспечивают устойчивое горение при различной длине дуги. Действительно, как видно из рис. 145, б, где штриховыми кривыми 4 и 3 нанесены статические характеристики двух дуг разной длины, следует, что точки А и В, расположенные на пересечении характеристик

дуг 3 и 4 с характеристикой 1 источника питания, отвечают условиям устойчивого горения как короткой (точка В), так и длинной (точка А) дуг. При незначительном уменьшении сварочного тока в дуге (влево от точки А, см. рис. 145, б) ее напряжение будет меньше напряжения источника, определяемого кривой 1, что вызовет увеличение тока в дуге; наоборот, при увеличении тока дуги (вправо от точки А, см. рис. 145, б) напряжение источника окажется ниже напряжения дуги, что приведет к уменьшению тока дуги и восстановлению ее устойчивого горения. Для источников питания с крутопадающей характеристикой изменение длины дуги сварщиком, т. е. переход с характеристики 3 на характеристику 4, почти не изменит силу тока дуги. Следовательно, при крутопадающей характеристике 1 источника питания сварочная дуга будет наименее чувствительна к изменению ее длины.

Для получения падающей характеристики источника питания необходимо соблюдение следующего условия:

$$U_{\text{и}} = U_0 - I_{\text{д}} \cdot R_{\text{э}},$$

где $U_{\text{и}}$ — напряжение на клеммах источника питания при токе дуги $I_{\text{д}}$;

U_0 — напряжение холостого хода;

$R_{\text{э}}$ — полное эквивалентное сопротивление источника или схемы питания;

$I_{\text{д}}$ — ток нагрузки (дуги).

При падающих внешних характеристиках напряжение холостого хода источника питания всегда выше рабочего напряжения дуги, что облегчает ее возбуждение.

При автоматической и полуавтоматической сварке плавящимся электродом более приемлемы источники питания с пологопадающими характеристиками типа 2. При пологопадающей характеристике 2 в случае незначительного уменьшения длины дуги резко возрастает ток (точка В на прямой 2, см. рис. 145, б). Это увеличивает скорость плавления электродной проволоки, что вызывает удлинение дуги и ее напряжение повышается до точки А, соответствующей устойчивому горению дуги при рабочем напряжении $U_{\text{р}}$. Таким образом, при пологопадающей характеристике источника тока саморегулирование дуги при автоматической и полуавтоматической сварке под флюсом значительно улучшается.

При сварке на постоянном токе в атмосфере защитных газов (аргоне, углекислом газе) дуга при большой плотности тока имеет возрастающую статическую характеристику. Для этих видов сварки более подходят источники питания с жесткими (типа 3) или возрастающими (типа 4) внешними характеристиками, при которых облегчается саморегулирование такой дуги.

Для облегчения возбуждения дуги при характеристиках типов 2, 3 и 4 применяют источники питания с повышенным напряжением холостого хода U_0 , как показано штрихом на рис. 145, а.

Режим работы источника питания. Каждый источник питания рассчитывается на номинальное напряжение и номинальный ток при

определенном повторно-кратковременном режиме работы. Этот режим характеризуется или относительной продолжительностью работы (ПР) или относительной продолжительностью включения (ПВ). Значения ПР и ПВ определяют условия нагрева и охлаждения источника питания. Эти величины выражают в виде отношения длительности рабочего периода (t_p) к длительности одного цикла нагрузки $t_{\Sigma} = t_p + t_{\Pi}$, где t_{Π} — продолжительность паузы между двумя рабочими периодами. Таким образом,

$$\text{ПР}\% = \text{ПВ}\% = \frac{t_p}{t_{\Sigma}} \cdot 100.$$

Обычно для ручной сварки принимают $t_{\Pi} = 5$ мин, складывающееся из $t_p = 3$ мин и $t_{\Pi} = 2$ мин. Это соответствует значению

$$\text{ПР} = \frac{3}{5} \cdot 100 = 60\%$$

Для нормального протекания процесса сварки необходимо, чтобы напряжение холостого хода источника питания превышало рабочее напряжение дуги, находясь в пределах $U_0 = (1,8 \div 2,5) U_p$.

При сварке часто возникают короткие замыкания в сварочной цепи. Ток короткого замыкания $I_{к.з}$ не должен быть чрезмерно велик во избежание перегрева электрода, оплавления покрытия и разбрызгивания металла и не слишком мал, чтобы не затруднялось повторное возбуждение дуги. Источник питания должен давать ток короткого замыкания, превышающий рабочий I_p на 25—100%, т. е.

$$1,25 < \frac{I_{к.з}}{I_p} < 2.$$

Чтобы источник питания мог быстро реагировать на короткие замыкания и возбуждения дуги, он должен обладать хорошими *динамическими свойствами*, соответствующими скорости изменения нагрузки в сварочной цепи. Для этого необходимо, чтобы источник питания обеспечивал скорость нарастания тока в пределах от 30 000 до 100 000 а/сек, а величина максимального (пикового) значения тока короткого замыкания не превышала установившийся ток короткого замыкания более чем в 3 раза. После обрыва дуги время восстановления напряжения до 25 в не должно превышать 0,05 сек.

§ 2. АППАРАТУРА ДЛЯ СВАРКИ ПЕРЕМЕННЫМ ТОКОМ (СВАРОЧНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ)

Трансформаторы для ручной сварки должны отвечать следующим требованиям:

1. Трансформатор должен иметь крутопадающую внешнюю характеристику.

2. Ток короткого замыкания не должен превышать полуторное значение рабочего тока.

3. Напряжение холостого хода не должно превышать 80 в.

Технические данные трансформаторов

Показатели	Марка			
	ТСП-2*	ТСМ-250	СТН-350	СТН-450**
Номинальный сварочный ток при ПР-65%, а	300 (при ПР-20 %)	250	350 (при ПР-50 %)	450
Номинальное напряжение, в . . .	30	25—30	30	30
Номинальная мощность, кВа . .	12	10	25	40
Напряжение холостого хода, в	62	60	70	70—90
Пределы регулирования свароч- ного тока, а	1 ст. 140—300 II ст. 90—140 220—380	92—250	80—450	80—800
Напряжение сети, в	220—380	380	380—220	220—380
Коэффициент полезного действия	—	—	0,83	0,85
Коэффициент мощности, (cos φ)	0,6	—	0,5	—
Вес, кг	65	38	220	320

* Регулирование тока по схеме трансформаторов ТС. Предназначен для сварки при ремонт
** Для ручной сварки и резки стали на воздухе и под водой. Рассчитан для работы в мор
встречное.

*** С такими же характеристиками выпускаются трансформаторы марок ТСК-300 и ТСК-500,
и 280 кг.

**** Выпускается также СТША-500-80, напряжение холостого хода 80 в, рабочее 50 в; пределы

4. Регулирование тока должно осуществляться в широких пределах и быть достаточно плавным. Пределы регулирования должны быть не менее от 30 до 130% номинального значения тока, за которое принимается ток при ПР=60%.

5. Допускать сварку на максимальном токе при ПР не менее 35%.

6. Обеспечивать устойчивое горение дуги при любом токе в пределах диапазона регулирования, при номинальном первичном напряжении, а также при понижении его на 10% и при падении напряжения в проводах сварочной цепи не более 4 в.

7. Обладать возможно более высоким коэффициентом полезного действия.

В промышленности нашли применение следующие группы трансформаторов для сварки:

группа I — с нормальным магнитным рассеянием и реактивной катушкой (дресселем). Дроссель может иметь с трансформатором общий магнитопровод (трансформаторы СТН для ручной и ТСД автоматической сварки) или отдельный магнитопровод (трансформаторы СТ и СТЭ в двухкорпусном исполнении)*;

* Трансформаторы типа СТ и СТЭ в двухкорпусном исполнении в настоящее время промышленностью не выпускаются.

для ручной сварки

трансформатора

СТН-700	ТС-300***	СТ-500***	ТД-300	ТД-500	СТШ-500****	ИПК-120	ИПК-300Д
700	300	500	300	500	500	120	300
30	30	30	30	30	40	14—20	14—20
43,5	20	32	19	32	33	—	—
60	63	60	60 и 79	60 и 76	66 и 71	80	65
Основной диапазон							
200—900	110—385	165—650	160—385	240—650	47—560	10—120	30—300
Вспомогательный диапазон							
220—380	30—100	40—165	61—79	90—240			
0,85	0,84	0,85	0,85	0,85	0,90	—	—
0,66	0,51	0,53	0,54	0,54	0,53	—	—
380	180	250	137	210	170	410	470

ных и монтажных работах.

ских условиях, имеет обмотки из медного провода. Включение вторичной и реактивной обмоток — снабженные статическими конденсаторами и имеющие соответственно: $\cos \varphi$ —0,72 и 0,65; вес — 215 регулирования тока: при 25 в 60—260 а, при 50 в 170—180 а, номинальный ток 500 а.

группа II — с увеличенным магнитным рассеянием (трансформаторы ТС, ТСК, ТД и СТШ).

Технические данные трансформаторов для ручной сварки приводятся в табл. 34.

Трансформатора I группы. Трансформаторы СТН. Общий вид, электрическая схема и внешние характеристики трансформатора СТН показаны на рис. 146, а, б, в. Магнитное рассеяние и индуктивное сопротивление обмоток трансформатора невелики и характеристика жесткая. В верхней части магнитопровода трансформатора размещена реактивная обмотка дросселя, включенная в сварочную цепь последовательно с дугой и встречно с вторичной обмоткой трансформатора. Реактивная обмотка создает индуктивное сопротивление, необходимое для получения падающей внешней характеристики в цепи трансформатор — дроссель — дуга — изделие (рис. 146, б). Часть верхнего магнитопровода сделана в виде подвижного пакета. Изменяя с помощью имеющегося винтового механизма и рукоятки 5 величину воздушного зазора a между подвижным пакетом и неподвижной частью магнитопровода, можно изменять сварочный ток, как это показано на рис. 146, в.

При вращении рукоятки по часовой стрелке воздушный зазор a увеличивается. Вследствие этого магнитный поток в этой части сердечника уменьшается, а также уменьшается индуктивное

сопротивление, вызываемое обмоткой регулятора, отчего сварочный ток возрастает. Наоборот, вращение рукоятки против часовой стрелки вызывает обратные явления, приводящие к уменьшению сварочного тока. При холостом ходе трансформатора сварочная цепь разомкнута, через обмотку регулятора ток не идет и она работает как часть вторичной обмотки трансформатора, при этом напряжение холостого хода $U_0 = 60$ в, номинальное рабочее напряжение $U_H = 30$ в.

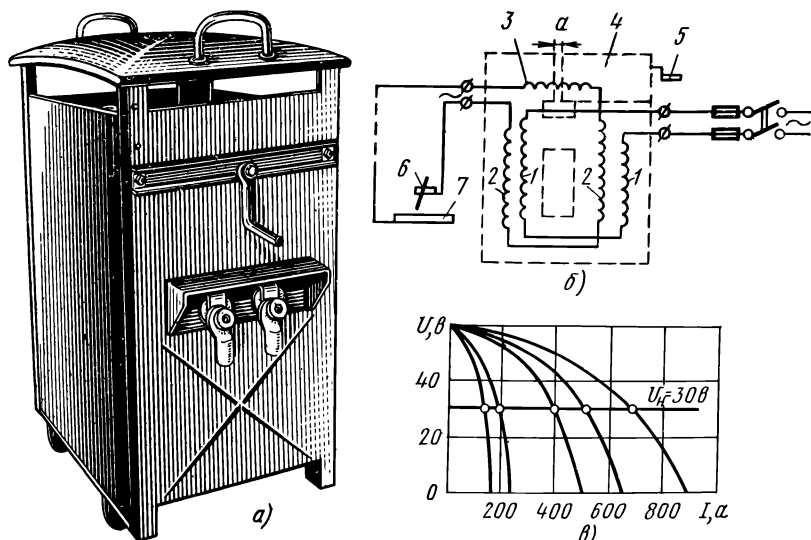


Рис. 146. Сварочный трансформатор СТН:

а — внешний вид, *б* — электрическая схема; 1 — первичная обмотка, 2 — вторичная обмотка, 3 — реактивная обмотка, 4 — подвижной пакет магнитопровода дросселя, 5 — рукоятка, 6 — электрододержатель, 7 — свариваемое изделие; *в* — внешние характеристики

Трансформаторы СТН могут также иметь не встречное, а согласное включение обмотки регулятора. Такие трансформаторы применяют при сварке тонкого металла на малых токах, так как при малом токе напряжение вторичной цепи в них повышается, что увеличивает устойчивость горения дуги при сварке на малых токах. Действительно, при понижении сварочного тока воздушный зазор в верхней части сердечника, как уже указывалось выше, должен быть уменьшен с целью повышения индуктивного сопротивления обмотки регулятора. Уменьшение этого зазора вызывает увеличение той части магнитного потока, которая ответвляется в магнитопровод регулятора. Вследствие этого увеличивается электродвижущая сила, возникающая в витках обмотки регулятора, которая при согласном включении обмотки регулятора складывается с электродвижущей силой вторичной обмотки и увеличивает вторичное напряжение холостого хода трансформатора.

Трансформаторы типа СТН являются однокорпусными, однопостовыми и предназначены для питания током одной дуги. Трансформаторы типа СТН-500-1 отличаются от СТН-500 тем, что имеют алюминиевые обмотки, к концам которых приварены холодной сваркой медные выводные наконечники.

Трансформаторы II группы. Трансформаторы ТС и ТСК. Общий вид, схема катушек и принципиальная электрическая схема трансформаторов этой группы типа ТС и ТСК были приведены в главе II на рис. 22. В трансформаторах ТС и ТСК используют увеличенное магнитное рассеяние, т. е. при нагрузке трансформатора не

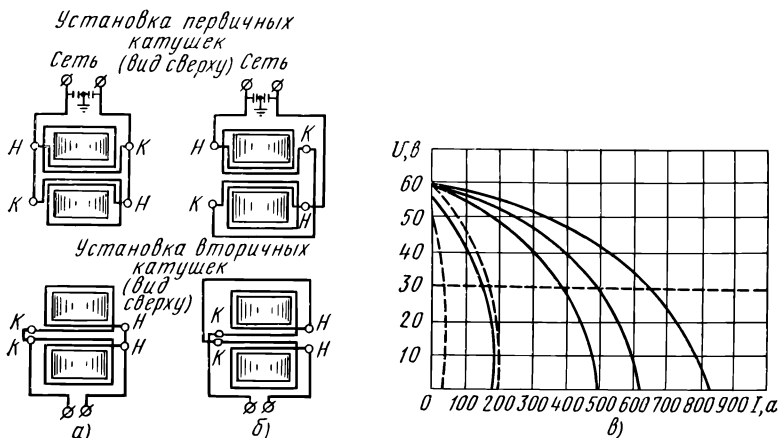


Рис. 147. Схемы соединения катушек и внешние характеристики трансформаторов ТС и ТСК:

а — параллельное отношение числа витков $\omega_1/\omega_2=136/22$, б — последовательное отношение числа витков $\omega_1/\omega_2=272/44$; Н — начало, К — конец обмотки; в — внешние характеристики

все магнитные силовые линии проходят через магнитопровод (сердечник) и пронизывают обе обмотки трансформатора. Часть магнитного потока ответвляется и, не будучи связана с общим магнитным потоком, замыкается через воздушное пространство, образуя поток рассеивания. Потоки рассеивания индуктируют в обмотках электродвижущую силу самоиндукции, направленную против основной электродвижущей силы и определяющую индуктивное сопротивление обмоток. С увеличением сварочного тока увеличиваются магнитные потоки рассеивания и, следовательно, возрастает индуктивное сопротивление обмоток, что создает падающую внешнюю характеристику трансформатора. Для получения крутопадающей характеристики трансформатора магнитные потоки рассеивания увеличивают, раздвигая для этого первичную и вторичную обмотки. Чем дальше обмотки отстоят одна от другой, тем больше число магнитных силовых линий будет замыкаться через воздушные пространства, не охватывая второй обмотки, тем круче падает

внешняя характеристика трансформатора. Изменением расстояния между первичной и вторичной обмотками плавно регулируют величину сварочного тока.

Вторичное напряжение холостого хода в трансформаторах ТС зависит от расстояния между катушками: при сдвинутых катушках оно будет несколько больше, чем при раздвинутых.

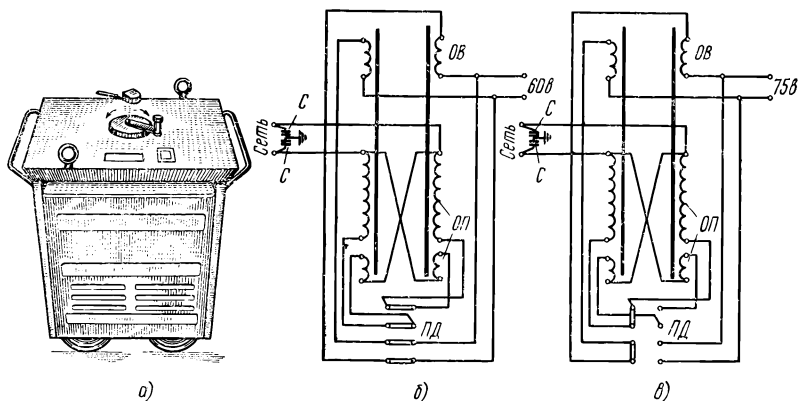


Рис. 148. Сварочный трансформатор ТД-300:

а — общий вид, *б* и *в* — схемы соединения обмоток трансформатора ТД-500: параллельное (*б*) и последовательное (*в*); ОП — первичная обмотка, ОВ — вторичная обмотка, С — емкостный фильтр для устранения радиопомех

Технические данные этих трансформаторов приведены в табл. 34. Магнитопровод выполнен в виде вертикальных стержней, на каждом из которых расположено по одной катушке первичной и вторичной обмоток, соединенных параллельно. Катушки первичной обмотки неподвижные, а вторичный — подвижные. Перемещение катушек вторичной обмотки осуществляется вручную с помощью винта, проходящего через верхнее ярмо. Наибольший сварочный ток достигается при сближении катушек, наименьший — при их удалении друг от друга. При переключении катушек трансформатора с параллельного соединения на последовательное возможно использование малых сварочных токов в пределах от 15 до 160 *а*. Обмотки трансформаторов ТС и ТСК алюминиевые, а их выводы армированы медными накладками. Трансформаторы ТСК отличаются от ТС наличием конденсатора, повышающего коэффициент мощности ($\cos \alpha$).

На рис. 147 показаны схемы соединения первичных и вторичных катушек трансформаторов ТС и ТСК — параллельное (рис. 147, *а*) и последовательное (рис. 147, *б*). На рис. 147, *в* даны внешние характеристики, причем сплошные кривые соответствуют параллельному, штриховые — последовательному соединению катушек.

Трансформаторы ТД. С целью повышения надежности работы в 1966 г. была произведена модернизация трансформаторов се-

рии ТС. Новые трансформаторы модернизированной конструкции получили обозначение ТД. В трансформаторах ТД изменение степени магнитного рассеяния производится перемещением катушек (верхних) вторичной обмотки, подобно тому, как это осуществлено в трансформаторах ТС. Катушки первичной обмотки (нижние) неподвижны и закреплены у нижнего ярма трансформатора.

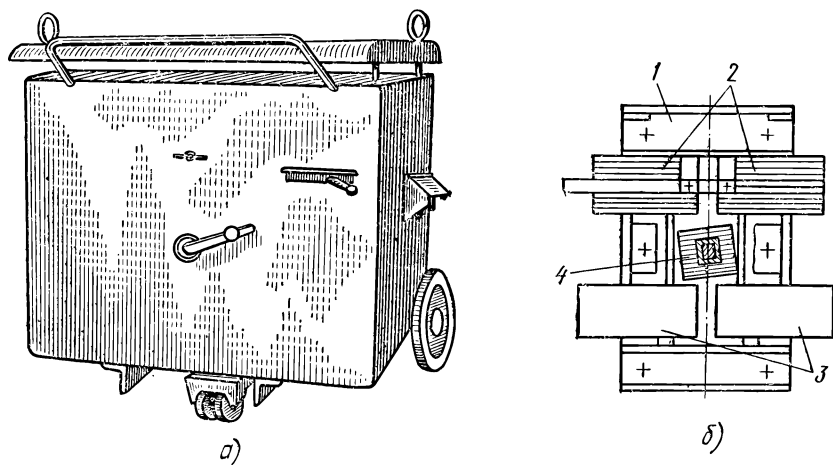


Рис. 149. Трансформатор СТШ:
а — общий вид, б — схема устройства

Общий вид схемы соединений первичных и вторичных обмоток трансформатора ТД приведен на рис. 148. Обмотки имеют по две катушки, попарно расположенные на стержнях магнитопровода. Трансформатор работает в двух диапазонах: при параллельном соединении обмоток (рис. 148, б) — диапазон больших токов, при последовательном (рис. 148, в) диапазон малых токов и повышенного напряжения холостого хода (75 в). Переключение производится с помощью переключателя ПД барабанного типа. Напряжение холостого хода при последовательном включении повышается вследствие отключения части витков первичной обмотки. Перемещение верхних катушек вторичных обмоток производится с помощью рукоятки, выведенной на крышу трансформатора. При сближении катушек индуктивность рассеяния уменьшается и ток возрастает, при удалении катушек рассеяние возрастает и ток уменьшается. Обмотки выполнены из алюминия. Отсчет величины тока производится по шкале, имеющей две группы делений, соответственно диапазоном сварочного тока. Для снижения радиопомех применяется емкостный фильтр С из двух конденсаторов. Технические данные трансформаторов ТД приведены в табл. 34. Выпускаются также трансформаторы ТД-304, снабженные приставкой РТД-2 для дистанционного регулирования

сварочного тока; приставка устанавливается на кожухе трансформатора.

Трансформаторы СТШ. Трансформаторы СТШ (рис.149) с магнитным шунтом, также относящиеся к группе II, разработаны ИЭС им. Е. О. Патона.

Магнитопровод 1 (рис. 149, б) собран из листовой трансформаторной стали толщиной 0,5 мм. Катушки первичной обмотки 3 выполнены из алюминиевого провода и жестко закреплены у нижнего ярма. Катушки вторичной обмотки 2 изготовлены из голой алюминиевой шины, намотанной на ребро. Между витками катушек проложены асбестовые прокладки. Выводные концы обмоток армированы медными наконечниками. Величину сварочного тока регулируют поворотом магнитных шунтов 4 в окне магнитопровода. Указатель величины сварочного тока соединен с одним из шунтов. Технические данные трансформатора СТШ приведены в табл. 34. В последующем трансформаторы СТШ были модернизированы, в них применены новые активные и изоляционные материалы, что снизило вес и расширило диапазон регулирования при к. п. д., равном 91%; улучшено конструктивное выполнение, обеспечено удобство перемещения, подключения к силовой и сварочной сети, ремонта; применен новый способ крепления катушек на стержнях магнитопровода, снижены потери в боковинах кожуха за счет более рационального размещения трансформатора в кожухе и др. Модернизированный трансформатор СТШ является сейчас одним из наиболее надежных отечественных сварочных трансформаторов.

Трансформаторы для сварки на монтаже. Для сварки в монтажных условиях электродами диаметром 3 и 4 мм выпускаются облегченные трансформаторы ТСП-2 конструкции ВНИИЭСО (см. табл. 34). Снижение веса и габаритов трансформатора достигается за счет уменьшения мощности, продолжительности работы (ПР), пределов регулирования тока, применения для сердечника стали Э-330 с высокой магнитной проницаемостью и теплостойкой стеклянной изоляции для алюминиевых проводов обмоток.

Трансформатор ТСП-2 можно подключать к силовой сети в непосредственной близости от места сварки. Ток высокого напряжения к трансформатору подводится изолированными двух- или трехжильным кабелем сечением 8—10 мм². С электрододержателем трансформатор соединяется сварочным кабелем длиной не более 10 м.

Киевским заводом электроизмерительной аппаратуры выпускается также малогабаритный трансформатор ТСМ-250 (рис. 150) для ручной дуговой сварки на строительных и ремонтных работах. Магнитопровод имеет О-образную форму. Первичная и вторичная обмотки расположены на разных стержнях, а две дополнительные охватывают оба стержня. Магнитопровод с обмотками помещен в кожух из изоляционного материала. Трансформатор ТСМ-250 имеет плавно-ступенчатое регулирование сварочного тока (табл. 34.).

Источники питания ИПК-120 и ИПК-300Д. Предназначены для

ручной, полуавтоматической и автоматической сварки на переменном токе алюминия и его сплавов неплавящимся вольфрамовым электродом в среде аргона. Источник питания состоит из сварочного трансформатора, устройства для регулирования сварочного тока, высокочастотного осциллятора, импульсного стабилизатора, батарей конденсаторов для устранения постоянной составляющей переменного тока и пускорегулирующей аппаратуры. Источники питания имеют два диапазона регулирования сварочного тока. Внутри каждого

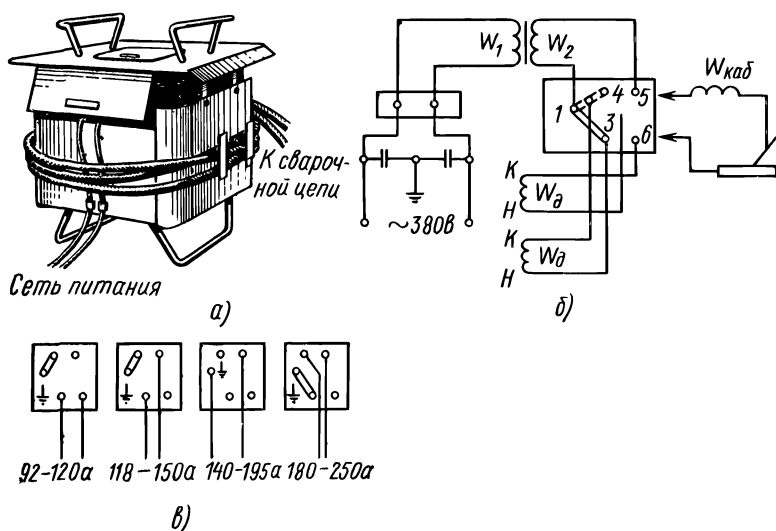


Рис. 150. Трансформатор ТСМ-250:

а — общий вид, *б* — электрическая схема, *в* — установка переключателя и присоединение сварочного кабеля; W_1 , W_2 — первичная и вторичная обмотки; W_d — дополнительные обмотки; $W_{каб}$ — обмотка кабеля; K и H — конец и начало обмоток

диапазона ток регулируется: в источнике питания ИПК-120 — с помощью дросселя насыщения, а в ИПК-300Д — электромагнитным шунтом. Источники питания обеспечивают зажигание дуги без сокращения электрода с изделием, устойчивое горение дуги, подачу аргона в зону сварки за 1—4 сек до начала сварки и прекращение подачи аргона через 3—15 сек после ее окончания; обеспечивают контроль и регулирование расхода аргона и немедленное прекращение его подачи в случае невозбуждения дуги в начале сварки, а также автоматическое отключение установки в случае обрыва дуги.

§ 3. ОСЦИЛЛЯТОРЫ

Осциллятором называется прибор, служащий для получения переменного тока высокой частоты (до 250 000 гц) и повышенного напряжения (до 2500 в). Ввиду малой электрической мощности ос-

циллятора (130—150 вт) создаваемое им высокое напряжение не опасно для человека. Применение осциллятора при сварке:

а) облегчает возбуждение дуги переменного тока в начале сварки и при переходе тока через нулевое значение;

б) делает возможным сварку на переменном токе электродами без покрытия (голыми);

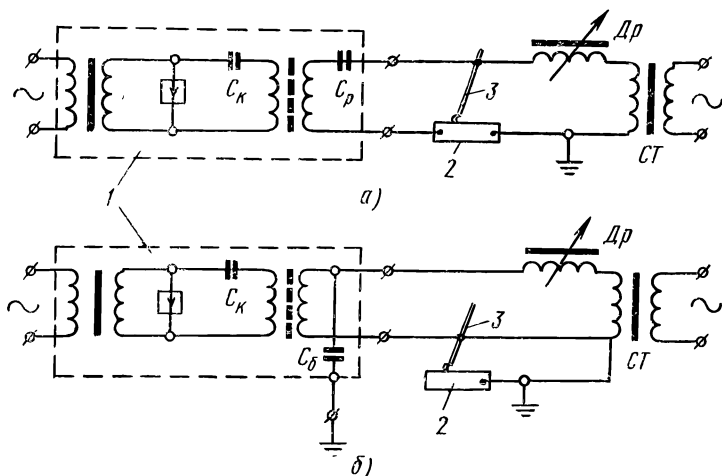


Рис. 151. Параллельное (а) и последовательное (б) включение осциллятора:

1 — осциллятор, 2 — свариваемый металл, 3 — электрод, Др — сварочный регулятор (дроссель), СТ — сварочный трансформатор, C_k , C_p , C_b — конденсаторы

в) обеспечивает устойчивость процесса сварки тонкого металла переменным током малой величины.

При наличии осциллятора дуга возбуждается настолько легко, что даже не требуется касания электрода детали. С осциллятором можно сваривать тонкий металл током от 10 а и выше, что при обычном способе питания током столь малой величины затруднено в связи с неустойчивостью горения дуги. Осцилляторы используют главным образом при аргоно-дуговой сварке переменным током неплавящимся электродом, а также при сварке тонкого металла.

В зависимости от типа осциллятора применяют параллельное (рис. 151, а) и последовательное (рис. 151, б) включение его в цепь сварочного тока. Преимуществом параллельного включения является возможность использования осциллятора при любой величине сварочного тока. Недостатком же являются значительная величина выходного высокочастотного напряжения, которое при отсутствии дуги может достигать нескольких кВ; в случае попадания его на обмотки сварочного трансформатора или дросселя может произойти пробой изоляции и выход оборудования из строя. Кроме того, параллельное включение требует большей мощности осцилля-

тора и увеличивает создаваемые им радиопомехи. При последовательном включении благодаря наличию конденсатора C_6 (см. рис. 151, б) высокочастотное напряжение не превышает нескольких десятков вольт, что исключает возможность пробоя изоляции и уменьшает радиопомехи. Недостатком последовательного включения является ограничение допустимой величины сварочного тока, определяемой сечением выходной обмотки осциллятора.

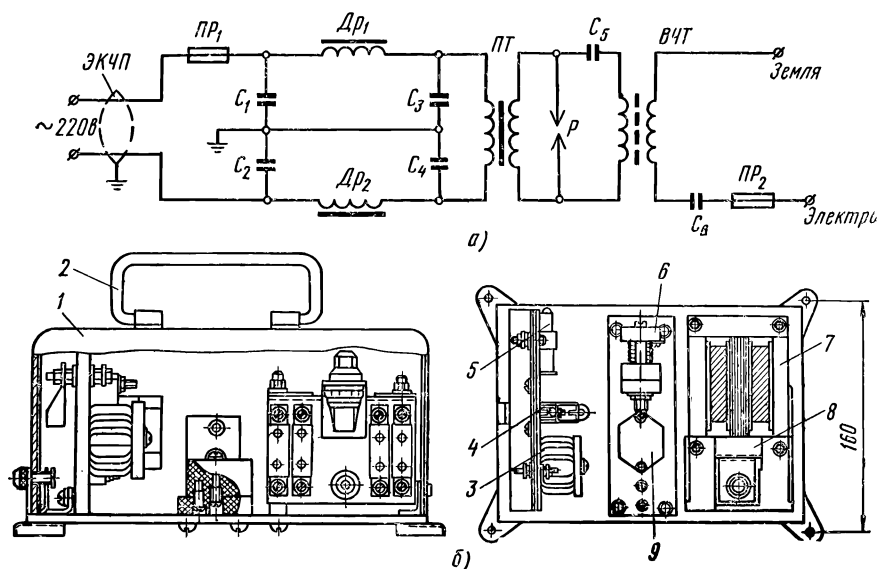


Рис. 152. Осциллятор параллельного включения ОСПЗ-2М:

а — принципиальная схема, б — конструкция: 1 — кожух, 2 — ручка, 3 — высокочастотный трансформатор, 4 — предохранитель БЗ-20, 5 — конденсатор МБГП-2 на 400 в, 0,5 мкф, 6 — разрядник, 7 — повышающий трансформатор, 8 — дроссель, 9 — конденсатор КСО-10 на 2000 в, 10 000 мкф

На рис. 152, а дана схема осциллятора ОСПЗ-2М для параллельного включения. Осциллятор подключается к питающей сети напряжением 220 в с помощью провода ЭКЧП в экранированном чулके-плетенке марки Ц-283. Повышающий трансформатор ПТ повышает напряжение с 220 до 900 в. Колебательный контур состоит из высокочастотного трансформатора ВЧТ, конденсатора C_5 типа КСО-10 на 2000 в, 10 000 мкф и разрядника P . Колебательный контур вырабатывает ток высокой частоты и связан со сварочной цепью индуктивно через высокочастотный трансформатор ВЧТ, выводы вторичной обмотки которого присоединяют: один к клемме «Земля», а другой — к электроду через конденсатор C_6 типа МБГП-2 400 в, 1 мкф и предохранитель $ПР_2$ типа БЗ-20 на 4 а, 220 в. Предохранитель $ПР_2$ выключает осциллятор в случае пробоя конденсатора C_6 , имеющего высокое сопротивление. Конденсатор C_6 препятствует прохождению тока высокого напряжения и низкой частоты к вы-

ходной части осциллятора и служит для защиты сварщика в случае пробоя конденсатора C_5 .

Для устранения радиопомех в питающей сети на входе в осциллятор устанавливается фильтр из двух катушек $ДР_1$ и $ДР_2$ защитного дросселя, собранных на общем сердечнике с конденсаторами C_1 , C_2 , C_3 и C_4 типа МБГП-2 400 в, 0,5 мкф. Предохранитель $ПР_1$ типа ПЦ-30 рассчитан на 1 а, 220 в. Фильтр защищает цепь питания от токов высокой частоты. При однофазном питании осциллятора одно плечо фильтра не работает. Для защиты окружающей среды от радиопомех осциллятор закрыт экранирующим металлическим кожухом.

Перед первым включением осциллятора снимают кожух, проверяют, нет ли каких неисправностей в осцилляторе, очищают его от пыли и грязи, вновь надевают кожух и, не включая питания осциллятора, подключают его к сварочной цепи (рис. 152, а). После этого включают питание осциллятора током. Исправный и правильно работающий осциллятор издает непрерывное равномерное потрескивание, вызываемое работой разрядника. Если при включении осциллятора этот звук отсутствует или неравномерен, то следует отключить осциллятор, проверить правильность его включения, состояние рабочих поверхностей разрядника и отрегулировать искровой промежуток последнего. Величина искрового промежутка должна быть в пределах 1,5—2 мм. При наличии нагара на рабочих поверхностях разрядника их следует зачистить наждачной бумагой. Запрещается включать осциллятор при снятом кожухе. Конструкция осциллятора ОСПЗ-2М показана на рис. 152, б.

Для нормальной работы осциллятора необходимо, чтобы напряжение питающей его сети было постоянным. Если питание осциллятора (например, типа ОСПЗ-1) рассчитано на напряжение 65 в, то его подключают к выводам вторичной обмотки трансформаторов типа СТЭ с отдельным дросселем. Включать такой осциллятор в цепь трансформаторов типов СТН, ТД или ТС нельзя, так как напряжение на их клеммах при сварке изменяется. В таких случаях осцилляторы питают током от силовой сети переменного тока через понижающий автотрансформатор, например, типа ЛАТР-1.

Правила обслуживания осцилляторов заключаются в следующем:

а) сначала включают осциллятор, потом сварочный трансформатор;

б) после окончания работы осциллятор выключают;

в) один раз в месяц рабочие поверхности разрядника чистятся шкуркой № 00;

г) осциллятор следует предохранять от толчков, ударов и не вскрывать без особой необходимости;

д) панель осциллятора протирают чистой тряпкой один раз в пять дней.

Повышение устойчивости горения дуги достигается также применением генераторов импульсов тока (см. § 12 данной главы).

При недостаточной мощности электрической сети, питающей током сварочные посты, напряжение в сети может колебаться свы-

ше допустимых пределов, что вызывает колебание напряжения в сварочной дуге и ухудшает качество шва. В этом случае применяют стабилизаторы напряжения сварочного тока, конструкция которых разработана Вильнюсским филиалом ВНИИЭСО.

§ 4. ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ СВАРОЧНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

При отсутствии трансформаторов достаточной мощности можно применять трансформаторы меньшей мощности, включенные параллельно.

На параллельную работу можно включать только однотипные трансформаторы, так как в этом случае будет выполнено основное условие для параллельной работы — равенство напряжений холостого хода, что возможно только при одинаковых коэффициентах трансформации.

Схема параллельного включения трансформаторов показана на рис. 153. Первичные обмотки трансформаторов CT_1 и CT_2 подключаются обязательно к одинаковым фазам питающей сети. Вторичные обмотки соединяют клеммами $a-a$ и $b-b$, имеющими в каждый момент времени одинаковую полярность. Одна пара клемм (b) соединяется только при замыкании рубильника Γp , к которому подключены провода от сварочного поста. Когда рубильник Γp разомкнут, первичные обмотки трансформаторов CT_1 и CT_2 включают в сеть раздельно и предварительно настраивают их режим. Затем, замыкая рубильник Γp , включают трансформаторы на параллельную работу. Если трансформаторы в однокорпусном исполнении, клеммы (a) соединяют между собой непосредственно.

При параллельном соединении напряжение сварочной цепи равно вторичному напряжению одного сварочного трансформатора, а ток равен сумме токов, проходящих через каждый трансформатор.

§ 5. ОБСЛУЖИВАНИЕ СВАРОЧНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Сварочный ток не должен превышать максимального тока, на который рассчитан данный трансформатор и регулятор. Зажимы на трансформаторе и регуляторе должны быть хорошо затянуты

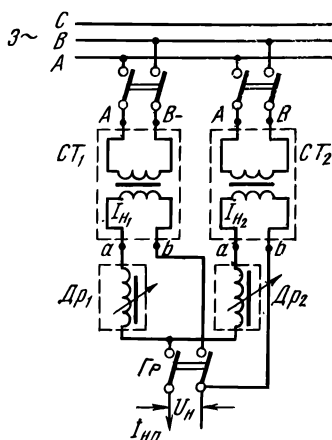


Рис. 153. Параллельное включение сварочных трансформаторов:

A, B, C — фазы сети переменного тока, CT_1, CT_2 — сварочные трансформаторы, $\Delta p_1, \Delta p_2$ — дроссели, Γp — рубильник, $I_{H1},$

I_{H2} — номинальные токи для каждого трансформатора, $I_{Hп}$ — номинальный ток при параллельном включении, U_{H} — то же, номинальное напряжение

и иметь надежный электрический контакт. Все трущиеся части трансформатора периодически (один раз в 6 месяцев) смазывать смазкой УТ (ГОСТ 1957—52). Появляющиеся на кожухе вмятины выправлять во избежание нарушения нормального охлаждения и предупреждения возможного контакта катушек с кожухом и землей. При переключении трансформатора на другой диапазон регулирования он должен быть полностью отключен от питающей сети. Для перемещения трансформатора следует пользоваться только ручками, а при подъеме — рым-гайкой. Запрещается работа трансформатора без кожуха и без заземления. Сварщик не должен касаться токоведущих частей первичной цепи трансформатора.

Трансформаторы следует периодически осматривать с целью своевременного устранения мелких неисправностей, могущих вызвать аварию.

Основные неисправности, возникающие при работе трансформаторов, следующие:

1. Витковое замыкание в обмотках, признаком которого является нагревание, обгорание изоляции и частичное расплавление обмотки. Если в обмотке нет разрывов и замыкание произошло в первичной обмотке трансформатора, то последний будет сильно гудеть, расходовать большое количество тока холостого хода и нагреваться. Для исправления дефекта трансформатор нужно отключить от сети, разобрать и устранить витковое замыкание или перемотать обмотку.

2. Нарушение контактов в соединениях, сопровождающееся нагревом и требующее немедленного устранения. Для этого трансформатор или регулятор отключают, разбирают нагревающееся соединение, плотно пригоняют контактные поверхности и затягивают до отказа болты зажимов.

3. Чрезмерный нагрев сердечника или скрепляющих его шпилек и других частей вследствие порчи их изоляции. Поврежденную изоляцию необходимо заменить новой, разобрав трансформатор.

4. Сильное гудение сердечника, которое появляется в результате ослабления винтового привода сердечника. Необходимо подтянуть шпильки крепления.

Таблица 35

Сечение медных проводов, подводящих ток из сети к трансформаторам*

Трансформаторы	Напряжение сети, в			
	220		380	
	Сечение провода, мм ²	Наибольший ток предохранителя, а	Сечение провода, мм ²	Наибольший ток предохранителя, а
СТЭ-24; ТС-300; ТД-300 . .	16	100	10	60
СТЭ-34; ТС-500; ТД-500; СТН-500; СТШ-500	35	160	16	90
СТН-700	50	210	25	130
ТСД-1000-3	120	320	50	180

* Для алюминиевых проводов сечение берется на 40—50% больше указанного в таблице.

5. Повреждение изоляции между обмотками или между обмоткой и корпусом. Этот дефект легко обнаружить с помощью контрольной лампочки или мегомметра. Устранение дефекта требует разборки трансформатора.

Сечение соединительных проводов выбирается в зависимости от напряжения в первичной цепи по данным табл. 35.

§ 6. СВАРОЧНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ СВАРКИ ПОСТОЯННЫМ ТОКОМ. ОСНОВНЫЕ ДАННЫЕ

В сварочных преобразователях используются однопостовые сварочные генераторы, работающие по схемам, показанным на рис. 154. На рис. 154, а дана схема генератора с независимым возбуждением и размагничивающей последовательной обмоткой. Намагничивающая обмотка независимого возбуждения питается током от отдельного источника (сети переменного тока через полупроводниковый селеновый выпрямитель), а размагничивающая включена последовательно с обмоткой якоря так, что создаваемый ею магнитный поток Φ_p направлен навстречу магнитному потоку $\Phi_{нв}$ обмотки

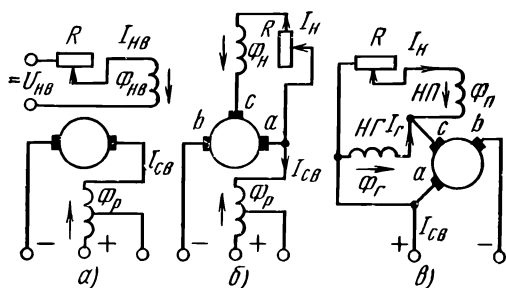


Рис. 154. Принципиальные электрические схемы сварочных генераторов:

а — с независимым возбуждением и размагничивающей последовательной обмоткой, б — с самовозбуждением, параллельной намагничивающей и последовательной размагничивающей обмотками, в — с расщепленными полюсами

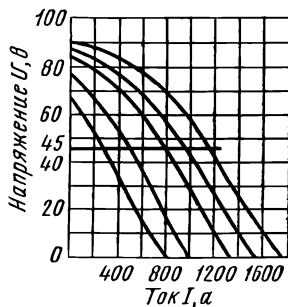


Рис. 155. Внешние характеристики генератора с независимым возбуждением и размагничивающей последовательной обмоткой

возбуждения. Ток $I_{нв}$ в обмотке возбуждения, а следовательно, и величину магнитного потока $\Phi_{нв}$ в ней можно плавно изменять с помощью реостата R . Последовательная размагничивающая обмотка обычно секционирована, что позволяет применять ступенчатое регулирование сварочного тока изменением числа действующих ампер-витков в обмотке. Напряжение холостого хода генератора определяется током в обмотке независимого возбуждения. При увеличении сварочного тока $I_{св}$ возрастает магнитный поток Φ_p в размагничивающей обмотке, который, действуя встречно потоку $\Phi_{нв}$ обмотки независимого возбуждения, уменьшает напряжение в сварочной цепи, создавая падающую внешнюю характеристику ге-

Технические данные однопостовых

Показатели	Преобра				
	ПСО-120	ПСО-300-3	ПСО-500	ПСО-800	ПС-300М-1
Тип генератора	ГСО-120	ГСО-300	ГСО-500	ГСО-800	ГС-300 М-1
Напряжение холостого хода, <i>в</i>	48—65	55—80	55—90	60—90	50—76
Номинальное напряжение, <i>в</i>	25	30	40	45	30—35
Номинальный сварочный ток при ПР-65 %, <i>а</i>	120	300	500	800	340
Пределы регулирования то- ка, <i>а</i>	30—60 60—120	75—180 180—320	125—300 250—600	200—800	80—380
Мощность электродвигателя, <i>квт</i>	4	14	28	55	14
Напряжение питающей сети, <i>в</i>	220/380	220/380	220/380	220/380	220/380
К. п. д. преобразователя, %	46	52	59	57	57
Коэффициент мощности ($\cos \varphi$) преобразователя	0,88	0,88	0,9	—	0,87
Вес, <i>кг</i>	155	400	540	1040	590

* Выпускаются преобразователи с такой же характеристикой марки ПС-300Т для работы в

** Состоят из сварочного генератора и электродвигателя, снабженных эластичной муфтой. вышенной влажности.

*** С жесткой внешней характеристикой. Предназначены для сварки в защитных газах.

**** Генератор преобразователя ПСУ-500 может работать: а) на крутопадающих внешних ха- под флюсом); б) на жестких внешних характеристиках (при автоматической и полуавтоматической распределительном устройстве, а также двух зажимов на доске зажимов генератора. Пределы ре- кой — 16—40 *в*. Выпускаются также универсальные преобразователи ПСУ-300 на напряжение — 17—

нератора (рис. 155). Изменяют внешние характеристики регулиро- ванием тока в обмотке независимого возбуждения и переключени- ем числа витков размагничивающей обмотки. По этой схеме рабо- тают сварочные генераторы преобразователей ПСО-120, ПСО-800. Для получения жесткой внешней характеристики последователь- ные размагничивающие обмотки переключаются так, чтобы они действовали согласованно с обмоткой независимого возбуждения. По такой схеме работают генераторы преобразователей ПСГ-350 и ПСГ-500.

На рис. 154, б дана схема генератора с самовозбуждени- ем, снабженного параллельно включенной намагничивающей Φ_n и последовательно включенной размагничивающей Φ_p -обмотками.

сварочных преобразователей

сварочные преобразователи							
ПСО-300-1*	САМ-300**	САМ-400**	АСУМ-400**	ПС-500	ПСГ-350***	ПСГ-500***	ПСУ-500****
ГСО-300 55—80	ГСО-300М 55—80	СГП-3-С 60—90	ГСУМ-400 105	ГС-500 60—90	ГСГ-350*** 15—35	ГСГ-500*** 15—40	— При падающей 25—40; При жесткой 15—40
30—35	30	40	70	40	30	35	40
340	300	400	400	500	350	500	500
65—200 160—340	75—320	120—300 300—600	120—500	120—300 300—600	50—350	50—500	При падающей 50—300; при жесткой 100—500
14 220/380 57	14 110/220 —	32 220/380 —	42 220/380 —	28 220/380 55	14 220/380 63	28 220/380 65	28 220/380 61—65
0,87 600	— 800	— 1300	— 875	0,86 940	0,88 400	0,86 500	0,9 540

тропических условиях.

Предназначены для подводной сварки и резки на судах морского и речного флота в условиях по

рактических условиях (при ручной дуговой сварке открытой дугой, автоматической и полуавтоматической сварке в защитных газах). Изменяется характеристика переключением пакетного переключателя на гулирования сварочного напряжения при падающей внешней характеристике 20—40 в, при жест 35 в и ток: при падающей характеристике 40—230 а, при жесткой 50—300 а.

Ток I_H намагничивающей обмотки создается якорем самого генератора, для чего служит третья щетка, с, расположенная на коллекторе посредине между основными щетками а и в.

Встречное включение обмоток Φ_H и Φ_p создает падающую внешнюю характеристику генератора. Сварочный ток плавно регулируется реостатом R , включенным в цепь обмотки самовозбуждения Φ_H . Для ступенчатого регулирования тока $I_{св}$ размагничивающая обмотка Φ_p секционирована. Генераторы с такой схемой наиболее распространены в промышленности и используются в сварочных преобразователях ПС-300, ПС-300М, ПС-300-1, ПСО-300, ПСО-500, ПС-500, САМ-400 и др.

На рис. 154, в показана схема генератора с расщепленны-

ми полюсами, являющегося разновидностью генератора с параллельной намагничивающей обмоткой. При увеличении сварочного тока $I_{св}$ напряжение на основных щетках a и b генератора уменьшается в результате взаимодействия магнитных потоков параллельно включенных обмоток возбуждения главных полюсов (поток Φ_r) и поперечных полюсов (поток $\Phi_{\perp}$) с обмоткой якоря, которая здесь действует как последовательно включенная размагничивающая обмотка, создавая падающую внешнюю характеристику генератора. Обмотка $HГ$ и $НП$ подключены к главной щетке a и дополнительной (третьей) щетке c . Ток I_r идет по обмотке $HГ$. Сварочный ток $I_{св}$ регулируют реостатом R , изменяя ток I_n в обмотке поперечных полюсов. Грубая регулировка сварочного тока осуществляется смещением щеток. Известно, что поперечный поток реакции якоря подмагничивает одну и размагничивает другую половину основного полюса. Для усиления размагничивающего действия реакции якоря и увеличения насыщения той части полюса, магнитный поток которой должен при нагрузке поддерживаться неизменным, обе части каждого полюса разделяют (расщепляют) на два полюса одинаковой полярности, располагая их по окружности якоря один за другим. Каждая соседняя пара одноименных полюсов образует один расщепленный полюс, откуда данная схема и получила свое название. По схеме с расщепленными полюсами работают генераторы преобразователей СУГ-2а, СУГ-2б, СМГ-2а и другие, выпускавшиеся нашей промышленностью и находящиеся еще в эксплуатации.

Основные технические данные однопостовых сварочных преобразователей приведены в табл. 3б.

§ 7. КОНСТРУКЦИЯ ОДНОПОСТОВЫХ СВАРОЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Наиболее распространенные в промышленности однопостовые сварочные преобразователи типов ПС, ПСО и ПСГ выполнены в однокорпусном исполнении. Краткое описание конструкции и общий вид однокорпусного преобразователя ПСО-500 были даны в главе II, § 2, рис. 18. Рассмотрим конструкцию еще двух типов передвижных преобразователей — ПС-300-1 и ПСГ-500-1.

Преобразователь ПС-300-1. Служит для питания током одного сварочного поста при ручной сварке, наплавке и резке открытой дугой металлическим электродом, а также при автоматической и полуавтоматической сварке под флюсом. Преобразователь рассчитан на ток от 65 до 340 а. Общий вид преобразователя ПС-300-1 показан на рис. 156, а на рис. 157 — расположение, схема соединения обмоток и внешние характеристики генератора ГСО-300, который комплектуется данный преобразователь.

Генератор ГСО-300 имеет две пары главных (N и S) и одну пару добавочных (S') полюсов (рис. 157, а). Намагничивающая параллельная (шунтовая) обмотка находится на двух диаметрально расположенных полюсах N , а размагничивающая последовательная (серийная) — на двух полюсах S . Падающая внешняя харак-

теристика генератора обеспечивается за счет размагничивающего действия, последовательной (серийной) обмотки. Кроме основных обмоток, имеются дополнительные, расположенные на добавочных полюсах S' .

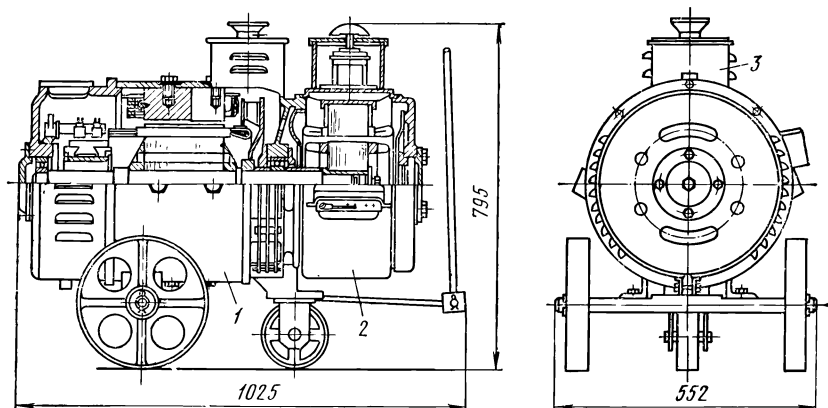


Рис. 156. Общий вид сварочного преобразователя ПС-300-1:
1 — сварочный генератор ГСО-300, 2 — асинхронный трехфазный электродвигатель, АВ-62-4, 3 — реостат

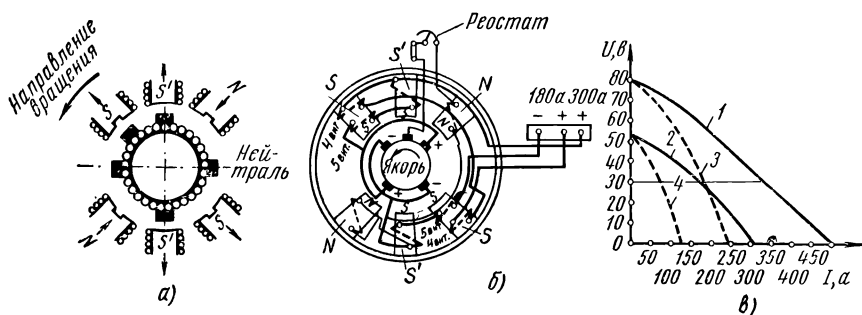


Рис. 157. Намагничивающие обмотки (а), схема соединений обмоток (б) и внешние характеристики (в) генератора ГСО-300:

1 и 3 — при выведенном сопротивлении реостата, 2 и 4 — при введенном сопротивлении реостата; сплошные линии — диапазон «больших токов», штриховые — диапазон «малых токов»

На коллекторе (рис. 157, б) между основными щетками (+) и (—) имеется дополнительная щетка, к которой присоединена намагничивающая обмотка возбуждения. Обмотка возбуждения питается током с напряжением, имеющимся на части обмотки якоря между щеткой (—) и дополнительной щеткой. Величина этого напряжения определяется результирующей величиной половины магнитного потока главного полюса в межжелезном пространстве и половиной поперечного потока реакции якоря. При увеличении

сварочного тока магнитный поток главных полюсов уменьшается вследствие размагничивающего действия последовательной (серийной) обмотки, а поток поперечной реакции якоря увеличивается. Напряжение между щеткой (—) и дополнительной щеткой изменяется в небольших пределах с изменением сварочного тока, что обеспечивается соответствующим расчетом генератора.

Генератор имеет крутопадающие характеристики (рис. 157, в) и два диапазона сварочных токов: 65—200 а — при подключении сварочного кабеля к среднему зажиму (+) с полным числом витков последовательной обмотки; 160—340 а — при подключении кабеля к правому зажиму (+) с частью витков последовательной обмотки. В цепь шунтовой обмотки возбуждения включен реостат типа РУ-36 сопротивлением 2,98 ом на токи 4,5—12 а, предназначенный для регулирования сварочного тока. Элементы сопротивления реостата изготовлены из круглой константановой проволоки диаметром 1,2 мм, имеющей сопротивление 0,42 ом/м. Главная шунтовая катушка имеет 330 витков из провода ПСД (с двойной стеклянной обмоткой) сечением 1,88 мм²; главная серийная катушка имеет 4—5 витков из голого медного провода 2,44×18 мм. Каждый дополнительный полюс имеет обмотку из 18 витков голого медного провода 2,44×18 мм. Сопротивление главной шунтовой катушки 1,27 ом, главной серийной — 0,0012—0,001 ом, дополнительных полюсов — 0,0040 ом.

В качестве главных щеток применяются щетки ЭГ4 размером 16×34×40 мм, дополнительных — ЭГ14 размером 7×20×35 мм.

Преобразователь ПСГ-500-1 (рис. 158). Предназначен для одnodуговой полуавтоматической и автоматической сварки плавящимся электродом в среде защитных газов. Преобразователь имеет однокорпусное исполнение и состоит из сварочного генератора I типа ГСГ-500-1 и смонтированного с ним на одном валу приводного асинхронного трехфазного электродвигателя 2 типа А-71-2 с короткозамкнутым ротором.

Сварочный генератор (рис. 159) имеет независимое возбуждение и жесткую внешнюю характеристику, что обеспечивается подмагничивающим действием последовательной (серийной) обмотки возбуждения. Обмотка независимого возбуждения питается от сети переменного тока через стабилизатор напряжения и селеновый выпрямитель. Обмотки полюсов, по которым идет сварочный ток, выполнены из алюминиевых шин, концы которых на выходе армированы медными накладками, соединенными с алюминием холодной сваркой. Напряжение на зажимах генератора плавно регулируется в пределах 16—40 в с помощью реостата Р, включенного в цепь обмотки возбуждения. Преобразователь включается в сеть пакетным выключателем ПК. Пределы регулирования сварочного тока 60—500 а.

Универсальные преобразователи ПСУ-300, ПСУ-500. В ряде случаев практики приходится производить как ручную сварку толстопокрытыми электродами, так и сварку в защитных газах. В первом случае требуются источники питания с падающей харак-

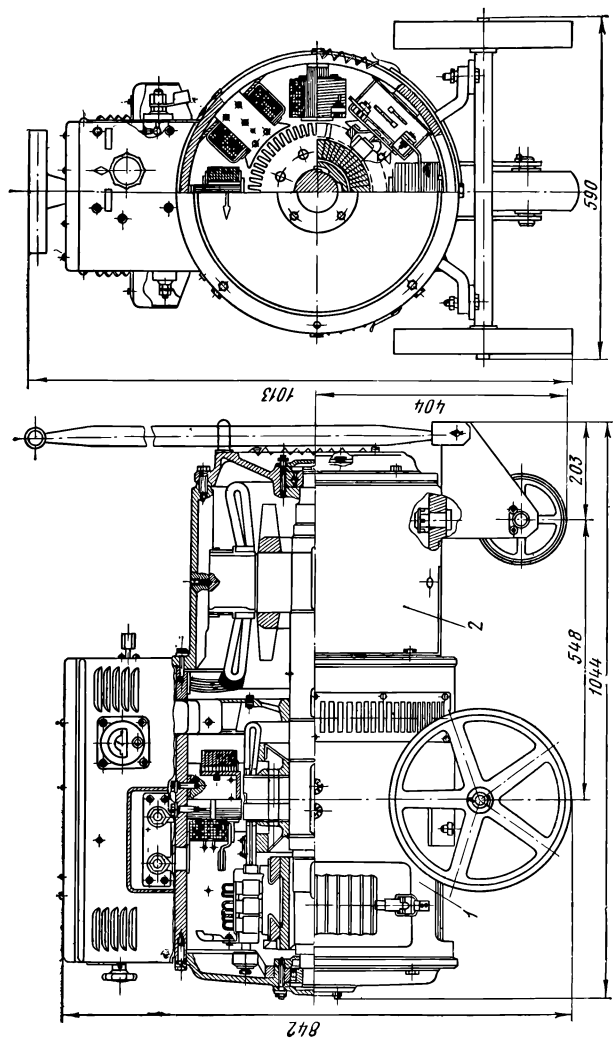
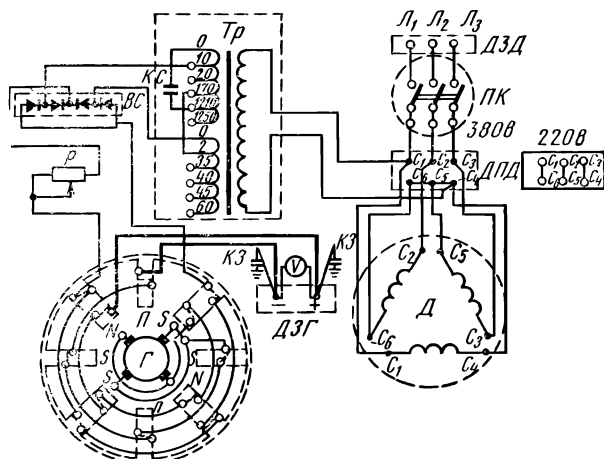


Рис 158 Общий вид сварочного преобразователя ПСГ-500-1

теристикой, во втором — с жесткой. В таких случаях удобнее пользоваться универсальными преобразователями ПСУ-300 или ПСУ-500, которые могут давать внешние характеристики как первого, так и второго типов. На рис. 160, а дана принципиальная электрическая схема универсального преобразователя ПСУ-300, а



Вид со стороны коллектора

Рис. 159. Принципиальная электрическая схема преобразователя ПСУ-500-1:

КЗ — конденсатор защитный, В — вольтметр, КС — конденсатор стабилизатора, ТР — трансформатор стабилизатора, Г — генератор сварочный, ДЗГ — доска зажимов генератора, Д — электродвигатель, ДЗД — доска зажимов электродвигателя, ДПД — доска переключений обмоток электродвигателя, ПК — пакетный выключатель, ВС — выпрямитель селеновый, Р — реостат обмотки возбуждения

связаны между собой через стабилизирующий трансформатор Тр, предназначенный для получения требуемых динамических свойств генератора. Величина сварочного тока регулируется реостатом-регулятором, установленным на передней стенке управляющего устройства. При увеличении сварочного тока сопротивление ПТ возрастает, т. е. обеспечивается падающая внешняя характеристика генератора. При соответствующем переключении цепей управления на доске переключений получают жесткую внешнюю характеристику. Технические данные преобразователей ПСУ-300 и ПСУ-500 приведены в табл. 36.

Выпускаются также преобразователи ПД-101 с дистанционным регулированием сварочного тока для ручной дуговой сварки; режим работы ПР — 60%, напряжение 25 в, ток 125 а, мощность двигателя 5,5 квт, напряжение 380/220 в, вес 186 кг.

Передвижные электросварочные агрегаты. Такие агрегаты используют при сварочных работах в тех местах, где нет постоянного источника электрической энергии (на строительстве, прокладке трубопроводов и др.). Агрегаты выпускают с двигателем внут-

на рис. 160, б его внешние характеристики. Сварочный генератор преобразователя четырехполюсный имеет одну обмотку возбуждения ОВ. Для получения нужных внешних характеристик, используется полупроводниковый триод ПТ, включенный в цепь обмотки возбуждения ОВ, и обратная связь по току нагрузки. Обмотка ОВ расположена на четырех главных полюсах и питается током от сети через выпрямитель В и стабилизатор напряжения СН. Сварочная цепь и цепь обмотки возбуждения

ренного сгорания автомобильного или тракторного типа. Генератор соединен с двигателем муфтой. В зависимости от мощности, типов генератора и двигателя выпускаются передвижные электро-сварочные агрегаты разных марок.

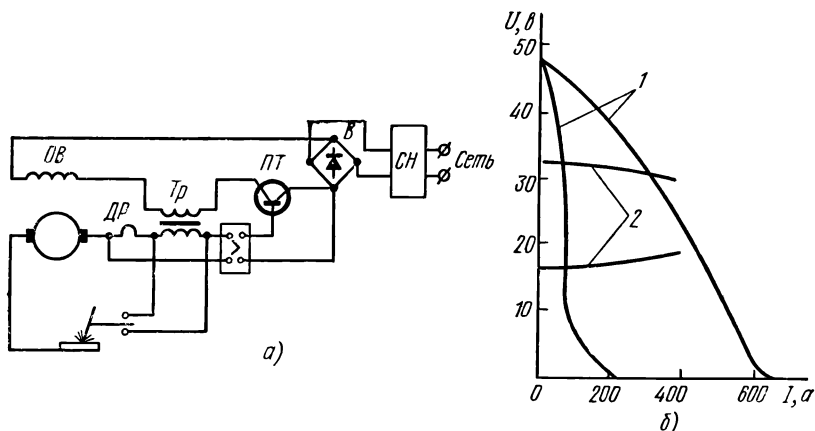


Рис. 160. Электрическая схема (а) и внешние характеристики (б) универсального сварочного преобразователя ПСУ-300

§ 8. МНОГОПОСТОВЫЕ СВАРОЧНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Общие сведения. Генераторы многопостовых преобразователей имеют постоянное напряжение, т. е. их внешняя характеристика является жесткой и расположена горизонтально (рис. 161, кривая I). Многопостовые преобразователи применяют для централизованного питания током нескольких сварочных постов. Напряжение на клеммах генератора должно быть достаточным для возбуждения дуги.

Для получения падающей характеристики сварочные дуги включают в цепь через балластные реостаты, создающие дополнительные сопротивления. Изменяя сопротивление реостата, можно регулировать сварочный ток.

Обозначим:

U_r — напряжение на зажимах генератора при разомкнутой сварочной цепи (напряжение холостого хода), в;

U_d — напряжение дуги, в;

U_p — падение напряжения в балластном реостате, в;

I_0 — сварочный ток, а;

R — сопротивление балластного реостата, ом.

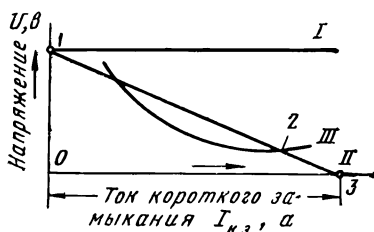


Рис. 161. Характеристики:
I — многопостового генератора, II — в комбинации с балластным реостатом, III — сварочной дуги

По закону Ома падение напряжения в балластном реостате равно $U_p = I_0 \cdot R$. Следовательно, напряжение дуги

$$U_d = U_r - U_p = U_r - I_0 \cdot R,$$

откуда

$$R = \frac{U_r - U_d}{I_0}.$$

При коротком замыкании $I_0 = I_{к.з}$ и напряжение дуги падает до нуля. В этом случае

$$U_d = 0 \quad \text{или} \quad U_r - I_{к.з} \cdot R = 0,$$

откуда имеем

$$I_{к.з} = \frac{U_r}{R}.$$

Таким образом, ток короткого замыкания $I_{к.з}$ определяется величиной сопротивления R балластного реостата.

Падающая характеристика, обусловленная включением в сварочную цепь реостата, изображена на рис. 161 прямой *II*. Она пересекает характеристику сварочной дуги *III* в точке 2, являющейся точкой устойчивого горения дуги. Точка 1 на рис. 161 соответствует холостой работе генератора, а точка 3 — моменту короткого замыкания, когда все напряжение, развиваемое генератором, идет на преодоление сопротивления реостата; величина тока короткого замыкания будет выражаться длиной отрезка 0—3.

При сварке металлическими и угольными электродами пользуются многопостовыми преобразователями с напряжением холостого хода генератора 60 в. При сварке только металлическими электродами можно применять преобразователь с напряжением генератора 40 в, поскольку для возбуждения дуги при использовании металлического электрода требуется меньшее напряжение, чем угольного.

Устройство многопостовых преобразователей. Многопостовой преобразователь состоит из генератора постоянного и электродвигателя переменного (или постоянного) тока. Преобразователь ПСМ-1000-1 имеет шестиполусный генератор с самовозбуждением и следующую техническую характеристику:

Мощность, <i>квт</i>	60	Вес, <i>кг</i>	1600
Напряжение, <i>в</i>	60	Количество постов, питаемых током при 200 <i>а</i>	9
Ток, <i>а</i>	1000		
Число оборотов в минуту	1470		

Генератор с электродвигателем смонтирован в общем корпусе. Схема обмоток генератора, включения сварочного преобразователя ПСМ-1000-1 и сварочных постов показана на рис. 162.

Напряжение, создаваемое генератором, можно регулировать шунтовым реостатом, включаемым в цепь обмотки возбуждения.

Генератор допускает параллельную работу с другими такими же генераторами. Для этого на клеммной доске генератора имеется

добавочный зажим, к которому подключается уравнильный провод, соединяющий два или несколько генераторов, работающих параллельно.

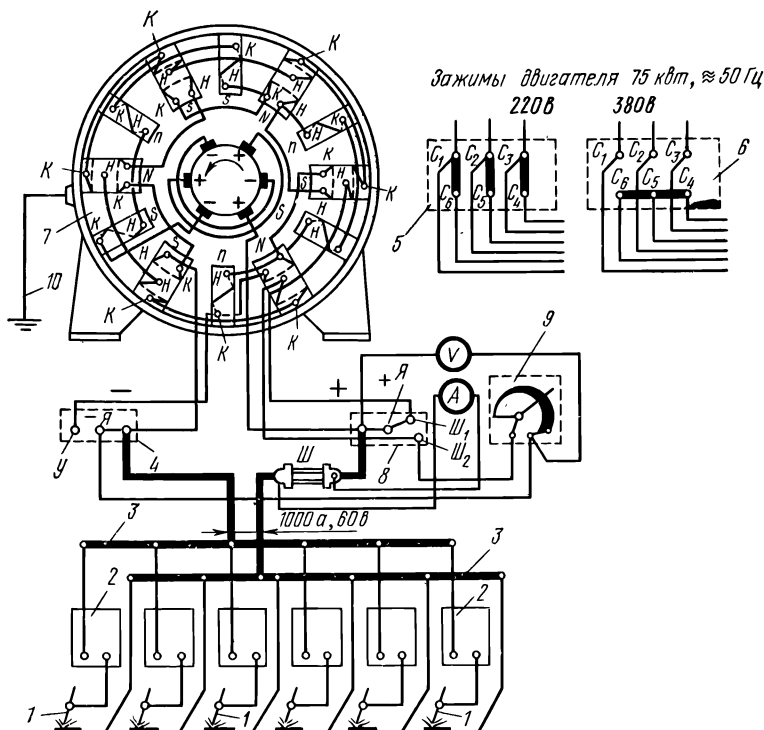


Рис. 162. Схема включения преобразователей ПСМ-1000-1:

1 — электроды, 2 — балластные реостаты, 3 — шины, 4 и 8 клеммные доски для подключения к шинам сварочной цепи, 5 и 6 — клеммные доски электродвигателя для подключения к сети переменного тока, 7 — сварочный генератор агрегата ПСМ 1000-1 (вид со стороны коллектора), 9 — шунтовый реостат для регулирования напряжения сварочного генератора, 10 — заземление станины; А — амперметр, V — вольтметр, Ш — шунт, S, N, s, n — полюса генератора, H — начало обмотки катушки, K — конец обмотки, Я — клемма якоря, у — клемма уравнильного провода, Ш₁, Ш₂ — клеммы шунтовой обмотки реостата

Количество сварочных постов, которые можно подключать к многопостовому агрегату, определяют по формуле

$$n = \frac{I}{I_0 \cdot \alpha},$$

где n — количество постов;

I — ток многопостового агрегата, указанный в его паспорте, а;

I_0 — наибольший ток, потребляемый одним сварочным постом, а;

α — коэффициент одновременности работы постов, принимаемый в расчетах равным $\alpha = 0,6—0,65$.

Например $I = 1000 \text{ а}$, $I_0 = 200 \text{ а}$, $\alpha = 0,6$, тогда имеем

$$n = \frac{1000}{200 \cdot 0,6} = 8,4; \text{ принимаем } n = 9.$$

Балластные реостаты. Балластный реостат (рис. 163) имеет несколько элементов сопротивления (катушек) из константановой* проволоки, намотанной на рамки. Регулируется сварочный

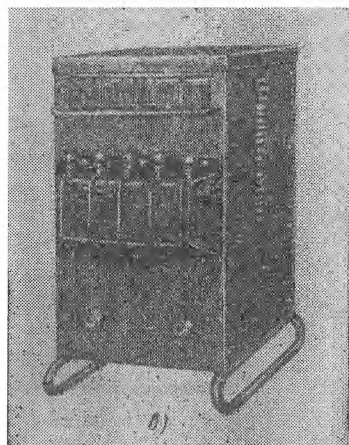
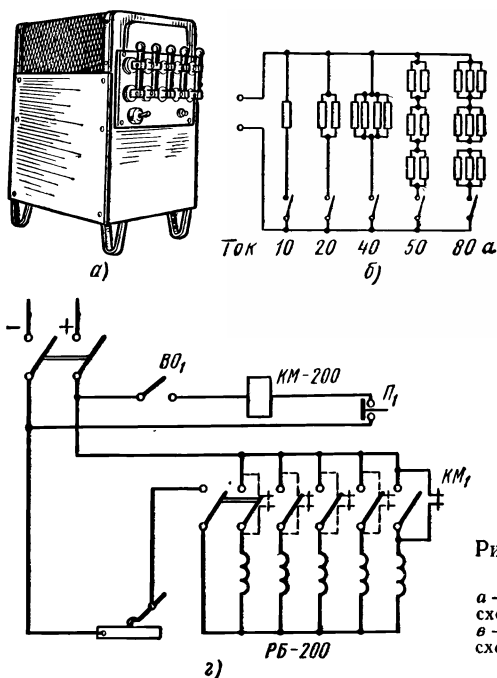


Рис. 163. Балластные реостаты РБ-200 и РБ-201:

а — внешний вид реостата РБ-200, б — схема сопротивлений реостата РБ-200, в — внешний вид реостата РБ-201, г — схема дистанционного регулирования тока

ток посредством пяти рубильников, обеспечивающих 20 ступеней тока от 10 до 200 а через каждые 10 а. Применяют также реостаты РБ-300, имеющие 20 ступеней регулирования от 15 до 300 а, через 15 а. Если нужно получить в дуге ток более 200 или 300 а, то для каждой дуги включают параллельно два балластных реостата. Тогда наибольший ток, пропускаемый реостатами, увеличивается в два раза.

Разработана и выпускается серия балластных реостатов типов РБ-201, РБ-301, РБ-501. В реостатах этой конструкции элементы сопротивлений выполнены в виде плоских спиралей из фехральной** проволоки. Технические данные реостатов следующие:

* Константан — сплав из 40% никеля, 0,5% марганца, остальные — медь; удельное сопротивление 0,45—0,51 ом·мм²/м.

** Фехраль — сплав из 13—14% хрома, 4—4,5% алюминия, остальное — железо; удельное сопротивление до 1,2 ом·мм²/м.

Номинальный сварочный ток, a . . .	200	300	500
Пределы регулирования тока, a . . .	10—200	10—300	10—500
Напряжение на зажимах реостата, b . .	30	30	30
Вес, $кг$	30	35	40

Регулирование сварочного тока ступенчатое, через каждые 10 а. Сварочные провода подключаются с помощью штекерных разъемов.

При выполнении монтажных работ по сварке металла переменной толщины и заварке кратеров возникает необходимость изменять величину тока. На Таганрогском заводе им. Димитрова применено устройство для дистанционного регулирования сварочного тока, схема которого дана на рис. 163, г. В зависимости от заданной величины тока одна из секций реостата подключается к размы-
кающему контакту

§ 9. ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ СВАРОЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Если для сварки нужен ток, превышающий номинальный ток одного преобразователя, можно включить на параллельную работу два или более сварочных преобразователя. При этом соединяют клеммы одинаковой полярности. Для параллельной работы можно включать преобразователи одинаковых систем с одинаковыми номинальными данными. Перед включением генерато-

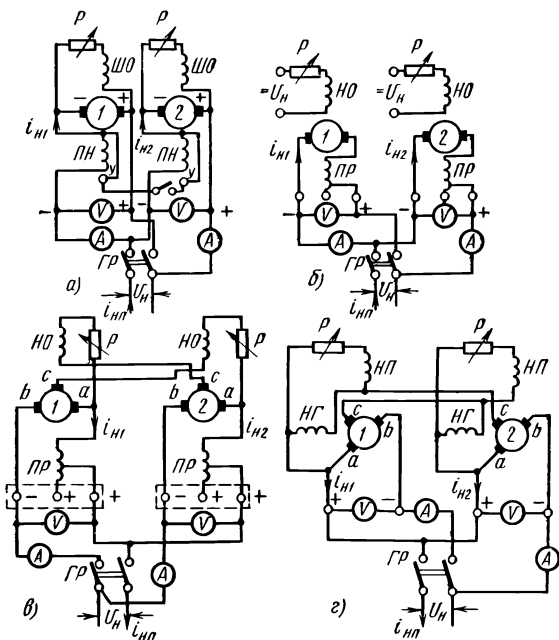


Рис. 164. Схемы параллельного включения сварочных генераторов:

а — многополюсных, *б* — однополюсных с независимым возбуждением и последовательной размагничивающей обмоткой, *в* — однополюсных с параллельной намагничивающей и последовательной размагничивающей обмотками, *г* — однополюсных с расщепленными полюсами; *ШО* — шунтовая обмотка, *ПН* — последовательная намагничивающая, *НО* — намагничивающая обмотка, *ПР* — последовательно размагничивающая, *НП* — намагничивающая поперечных полюсов, *НГ* — намагничивающая главных полюсов, *Р* — ротор, *ГР* — групповой рубильник, *V* — вольтметр, *A* — амперметр, i_{Σ} ,

i_{n2} — токи нагрузки отдельных генераторов, i_{np} — ток нагрузки при параллельном включении, V_n — напряжение холостого хода при параллельном включении

ров на параллельную работу их регулируют на одинаковое напряжение холостого хода.

Нужно следить за показаниями амперметра, так как при неправильном распределении нагрузки между генераторами напряжение одного из них будет выше другого, и ток пойдет в тот генератор, где напряжение ниже. Последний будет работать как электродвигатель и может размагнититься; в этом случае стрелка амперметра отклонится влево от нуля. При этом нужно немедленно выключить рубильник и снова правильно отрегулировать распределение нагрузок между генераторами.

На многопостовых преобразователях предусматриваются уравнивательные контакты, с помощью которых генераторы соединяются уравнительным проводом. При понижении напряжения на одной машине ток по уравнительному проводу идет в машину с более низким напряжением, подмагничивает полюса и повышает напряжение данного генератора, делая его равным напряжению другого генератора, включенного параллельно. Сечение уравнительного провода 10—16 мм². Схемы параллельного соединения многопостовых генераторов-преобразователей даны на рис. 164, а.

Сварочные однопостовые генераторы с независимым возбуждением и размагничивающей последовательной обмоткой (рис. 164, б) включают без уравнительного провода.

Генераторы однопостовые с намагничивающей параллельной и размагничивающей последовательной обмотками возбуждения (рис. 164, в), а также однопостовые генераторы с расщепленными полюсами (рис. 164, г) включают по схеме перекрестного питания намагничивающих обмоток, при которой обмотки возбуждения одного генератора получают питание от щеток второго генератора, работающего с ним параллельно.

Генераторы включают на параллельную работу рубильником ГР. Раздельный пуск каждого генератора для регулирования напряжения холостого хода и предварительной настройки режима производится при выключенном рубильнике ГР.

§ 10. ОБСЛУЖИВАНИЕ СВАРОЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Необходимо систематически очищать все части преобразователя от пыли и грязи. Следить, чтобы в коммуникациях тока не было обрывов, а изоляция обмоток не была бы пробита и в них не было бы короткого замыкания. Обмотки электродвигателя и генератора преобразователя не должны нагреваться во время работы до температуры выше 95°. Допускаемая температура нагрева стальных частей статора и контактных колец +100°С, подшипников качения +95°С, подшипников скольжения +80°С. Подшипники должны быть защищены от попадания в них пыли и грязи крышками.

Коллектор время от времени протирают тряпкой, смоченной в бензине; эта операция выполняется при неработающем генераторе. При правильной работе машины на коллекторе не должно быть следов нагара. Мелкое (бисерное) искрение щеток, не оставляющее следов нагара на коллекторе, не опасно. Если на коллекторе

появляются следы нагара, нужно выяснить причину этого явления и устранить ее, а коллектор шлифовать мелкозернистой пресованной пемзой или мелкой стеклянной бумагой, натянутой на деревянную колодку, имеющую форму поверхности коллектора. Шлифовку следует производить равномерно по всему коллектору. Шлифовать коллектор наждачной бумагой запрещается. Когда между пластинами начинает выступать слюда, то при работе щеток появляется искрение и шум. В этом случае нужно специальной пилкой осторожно выбрать слюду между пластинками на глубину около 1 мм, а затем мелким напильником снять образовавшиеся заусенцы и шлифовать коллектор на ходу при поднятых щетках.

Щеточный механизм следует регулярно осматривать. Поврежденную или изношенную щетку надо заменить новой и притереть ее к коллектору. Для этого под щетку подкладывают полоску мелкой стеклянной бумаги (стеклом к щетке), которую пропускают под щеткой в направлении вращения машины до тех пор, пока щетка не станет плотно прилегать к коллектору. Притирку производят при нормальном нажатии пружины щеткодержателя. После притирания щеток (как и после шлифовки коллектора), образовавшуюся пыль удаляют продувкой воздухом, а для окончательной пришлифовки щеток генератор должен поработать вхолостую.

Устанавливая новые щетки, нужно убедиться в том, что они выровнены, одновременно сходят с пластины и находят на новую; следует также проверить, передвигаются ли щетки в обойме свободно, без заедания, и не качаются ли в ней. Нижний край обойм должен находиться на расстоянии 2—3 мм от коллектора.

Неправильное положение траверсы может вызвать также сильное искрение щеток и даже обгорание коллектора.

Смазка в шарикоподшипниках с течением времени густеет и загрязняется. Поэтому ее следует менять один раз в 3—6 месяцев. После удаления загрязненной смазки надо тщательно промыть подшипники бензином из шприца, после чего заполнить свежей смазкой. При разборке подшипников необходимо следить, чтобы в них не попала пыль, песок и пр.

Изоляция машин вследствие попадания влаги может отсыреть, что уменьшает ее сопротивление. Это может случиться, если машина длительное время находилась в бездействии на открытом воздухе или в сыром неотапливаемом помещении. В таких случаях перед пуском машину следует просушить способом, указанным в заводской инструкции по обслуживанию преобразователя данного типа.

Таблица 37

Сечения медных проводов (мм^2) для подключения сварочных преобразователей к питающей сети*

Типы преобразователя	Напряжение сети, в	
	220	380
СУГ-2р-У; ПС-300М; ПСО-300; ПСГ-350; ПСУ-300; САМ-300	10	4
ПС-500; ПСО-500; ПСУ-500; ПСГ-500	16	10
САМ-400	25	16
АСУМ-400	35	16
ПСО-800	50	25

* Для алюминиевых проводов сечение берется на 40—50 % больше указанного в таблице.

Сечения проводов для подключения сварочных преобразователей к питающей сети выбираются по данным табл. 37.

§ 11. СВАРОЧНЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ

Как известно, полупроводниковый вентиль обладает свойством проводить ток только в одном направлении (прямом) и практически не проводить тока в обратном направлении. Это свойство полупроводников используется для выпрямления переменного сварочного тока.

Наибольшее применение в промышленности нашли селеновые и кремниевые выпрямительные вентили. Селеновые вентили более чувствительны к нагреву, чем кремниевые, и поэтому требуют усиленного охлаждения.

Принцип действия. В сварочных выпрямителях используются однофазные и трехфазные мостовые схемы двухполупериодного выпрямления. При однофазной мостовой схеме (рис. 165, а), вентили 1, 2, 3 и 4 включены в четыре плеча, образующие так называемый мост. В одну диагональ моста включают нагрузку H (дуга), питаемую выпрямленным током I ; напряжение на выходе равно U_{Σ} . Во вторую диагональ моста включают однофазный источник переменного тока напряжения $U \sim$. Справа показана кривая выпрямления токов и напряжений — частота пульсаций равна 100 гц, т. е. удвоенной частоте переменного тока.

При трехфазной мостовой схеме (рис. 165, б) вентили включают в шесть плечей трехфазного моста и

выпрямляют обе полуволны переменного тока в трех фазах. Пульсации выпрямленного тока и напряжения уменьшаются, а число их составляет шесть пульсаций за период, что соответствует частоте 300 гц.

Наибольшее применение в сварочных выпрямителях получила трехфазная мостовая схема (рис. 165, в), поскольку она обеспечивает большую устойчивость сварочной дуги, требует меньшего количества вентилях при одинаковых заданных значениях выпрямленного напряжения и тока, а также обеспечивает равномерную загрузку всех трех фаз силовой сети переменного тока и лучшее использование трансформатора, питающего выпрямитель.

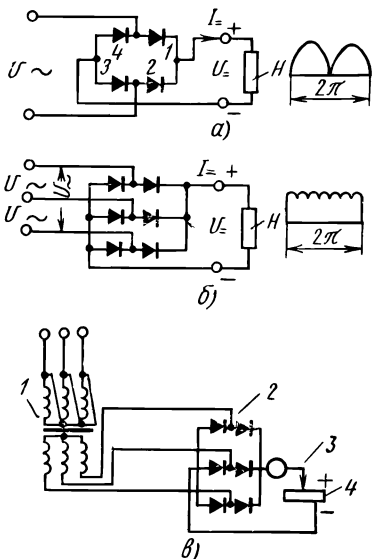


Рис. 165. Принципиальные типовые схемы выпрямителей:

а — однофазная мостовая; 1, 2, 3, 4 — вентили; б — трехфазная мостовая, в — электрическая схема сварочного выпрямителя: 1 — трансформатор, 2 — блок выпрямителей, 3 — электрод, 4 — изделие

Согласно ГОСТ 13821—68 однопостовые сварочные полупроводниковые выпрямители с крутопадающими внешними характеристиками для дуговой сварки должны отвечать следующим параметрам:

Номинальный сварочный ток, a	125	315	500	800	1000
Условное рабочее напряжение, b	25	32,6	40	44	44
Режим работы ПР, %	60	60	60	60	100
Пределы регулирования сварочного тока, a	25—125	60—315	100—500	200—800	800—1000

Требования ГОСТ 13821—68 не распространяются на специализированные сварочные выпрямители (для сварки сжатой дугой, сварки особо тонким материалом, с программным управлением и т. п.). Выпрямители на токи 500, 800 и 1000 a должны снабжаться устройством для дистанционного регулирования сварочного тока.

Выпрямители для плазменно-дуговой резки выпускаются в соответствии с ГОСТ 14935—69; они должны иметь крутопадающие внешние характеристики и следующие параметры:

Рабочий ток, a	400	300	1000
Условное рабочее напряжение, b	65; 130	130; 200; 275	200; 275; 350
Режим работы ПР, %	60	100	100
Напряжение холостого хода, b	90; 180	180; 300; 400	300; 400; 500
Пределы регулирования тока, a			
минимальный	100; 100	200; 200; 200	400; 400; 400
максимальный	400; 400	630; 630; 630	1000; 1000; 1000

Техническая характеристика и конструкция. Применяются выпрямители с падающей и жесткой внешними характеристиками в зависимости от требований процесса сварки (резки), в котором они используются в качестве источника питания. Технические данные выпрямителей приведены в табл. 38.

Сварочные выпрямители серии ВСС (рис. 166 и 167) состоят из понижающего трехфазного трансформатора, выпрямительного блока с вентилятором, пускорегулирующей и защитной аппаратуры, смонтированных в общем кожухе.

Понижающий трансформатор выполнен с увеличенным магнитным рассеянием, имеет падающую внешнюю характеристику и раздвижные катушки. Он может давать сварочный ток двух диапазонов за счет переключения обмоток, а именно: при включении первичной и вторичной обмоток трансформатора звездой Y — малые токи; при включении треугольником Δ — большие токи. В пределах каждого диапазона сварочный ток регулируют изменением расстояния между катушками нижней первичной (подвижной) и верхней вторичной (неподвижной) обмоток. Перемещение катушки нижней обмотки осуществляется вручную с помощью ходового винта и рукоятки на крышке выпрямителя.

Обмотки трансформатора выполнены из алюминиевого провода и выводные концы их армированы медными накладками, приварен-

Показатели	Сварочные						
	ВСКГ-30	ВД-101	ВД-301	ВД-303	ВС-400	ИПП-300П	ИПП-500П
Внешняя характеристика	Падающая				Жесткая		
Номинальный ток при ПР-60%, a	30 (при ПР-30%)	125	300	300	400	300	500
Пределы регулирования тока, a	1—30	20—125	45—310	50—300 ток вспом. дуги—40 a	55—400	40—320	—
Напряжение холостого хода, b	125	65—68	65—68	75—83	23—46	16—30	16,6—50
Рабочее (номинальное) напряжение, b	12—25	25	32	32	23—46	16—30	16,6—50
Напряжение питающей сети, b	380	220/380	220/380	220/380	220/380	380	380
Коэффициент полезного действия	—	0,62	0,72	—	0,8—0,9	0,75	0,78
Коэффициент мощности ($\cos \varphi$)	—	0,53	0,58	—	0,94	0,90	0,91
Вес, кг	—	165	215	225	300	280	440

Примечания:

1. ВСКГ-30 предназначен для сварки гонкостенных изделий неплавящимся электродом
2. ВД-101; ВД-301 предназначены для ручной дуговой сварки, резки и выем электродом
3. ВД-303 предназначен для плазменной сварки; может быть использован для
4. ВДМ-3001 состоит из двух ВДМ-1601, включенных параллельно со стороны
5. ВСУ-300; ВСУ-500—универсальные выпрямители, имеют падающие и жесткие характеристики
6. ИПП-500-1 предназначен для механизированной плазменно-дуговой резки
7. Многопостовые: ВКСМ-1000 на 6 постов; ВДМ-1601 на 9 постов; ВДМ-3001 на 12 постов
8. ВСЖ-302 (1287М) — для автоматической сварки плавящимся электродом

ными холодной сваркой. Выпрямительный блок выполнен по трехфазной мостовой схеме из селеновых пластин 100×400 мм. Для охлаждения выпрямительного блока и трансформатора служит вентилятор, приводимый во вращение электродвигателем.

Универсальные сварочные выпрямители типов ВСУ-300 и ВСУ-500 (табл. 38), кроме понижающего трансформатора и блока выпрямительных вентилях, имеют еще дроссель насыщения, позволяющий получать жесткие, пологопадающие

сварочных выпрямителей

выпрямители								
ВСЖ-301	ВСЖ-302	ВКСМ-1000	ВДМ-1601	ВСУ-300		ВСУ-500		ИПГ-500-1
300	315	1000	1600	Жесткая 300	Жесткая 300 Падающая 240	Жесткая 500	Жесткая 500 Падающая 350	Крутопадающая 500 (при ПР = 100%)
50—300	50—320	Номин. ток поста—300 а		50—330	40—260	100—550	50—380	100—600
20—50	18—40	70	70	40—60	60	50—68	60	300
17—32	9—35	60	60	40—60	60	50—68	60	200
380	220 и 380	380	380	220—380		220—380		380
0,76	—	0,88	0,88	—	—	—	—	0,80
0,78 240	— 220	0,89 550	0,89 750	—	— 300	—	— 440	0,70 2000

электродом в среде аргона и гелия.

наплавки, а также для сварки в защитных газах нержавеющей стали вольфрамо-

ручной сварки, резки и наплавки металлов постоянным током.

переменного тока. Для сварочных постов используются сварочные реостаты РБ-300. кие внешние характеристики, поэтому могут применяться как для ручной и авто-

электродом. Ток регулируют дросселем насыщения.

металла толщиной до 150 мм. Ток регулируют дросселем насыщения.

на 18 постов.

в углекислом и инертных газах.

и крутопадающие характеристики. Характеристику выпрямителя изменяют соответствующим переключением обмоток дросселя.

Для плазменной сварки выпускается выпрямитель ВД-303, обеспечивающий вспомогательную дугу в сварочной горелке (плазмотроне). Конструкция выпрямителя ВД-303 показана на рис. 168, электрическая схема — на рис. 169. Сварочный выпрямитель состоит из понижающего трехфазного трансформатора с подвижными катушками, выпрямительного блока с вентилятором, до-

бавочного сопротивления, пускорегулирующей и защитной аппаратуры.

Трансформатор имеет увеличенное магнитное рассеяние и дает падающие внешние характеристики, при широких пределах регулирования сварочного тока. Выпрямитель ВД-303 имеет два диапазона сварочного тока (см. схему на рис. 169). Внутри каждого

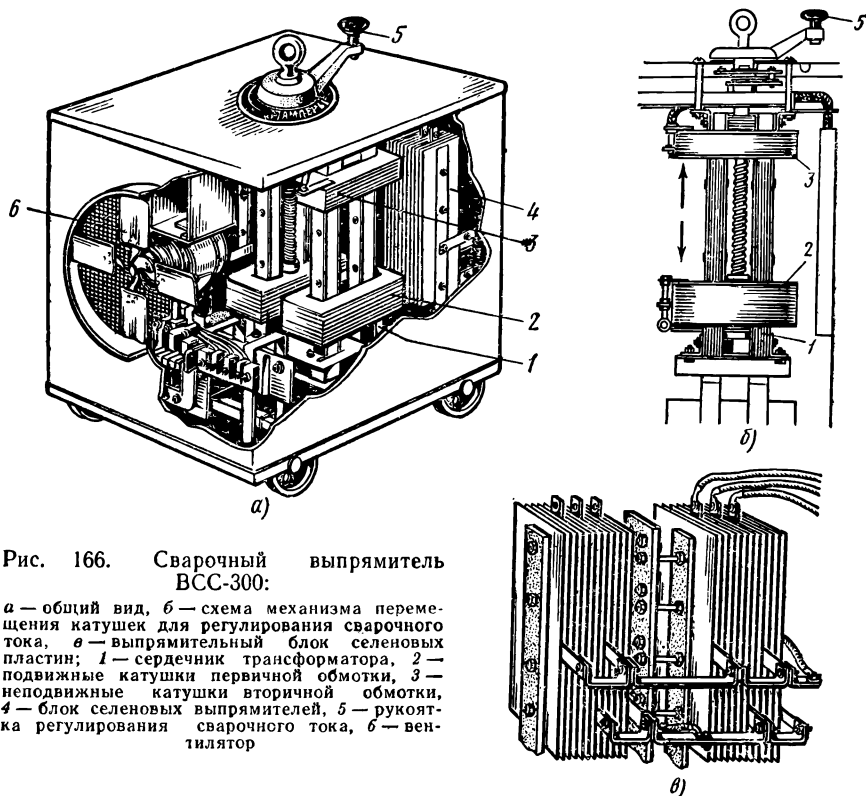
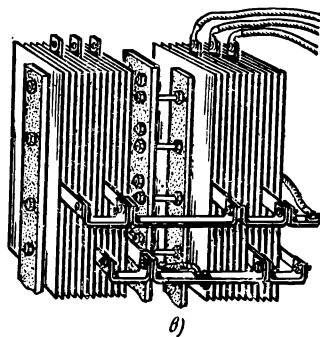


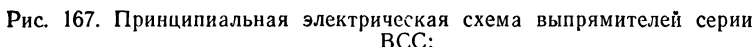
Рис. 166. Сварочный выпрямитель ВСС-300:

а — общий вид, *б* — схема механизма перемещения катушек для регулирования сварочного тока, *в* — выпрямительный блок селеновых пластин; 1 — сердечник трансформатора, 2 — подвижные катушки первичной обмотки, 3 — неподвижные катушки вторичной обмотки, 4 — блок селеновых выпрямителей, 5 — рукоятка регулирования сварочного тока, 6 — вентилятор



диапазона ток регулируется изменением расстояния между катушками первичной (нижние подвижные) и вторичной (верхние неподвижные) обмоток трансформатора. Выпрямительный блок собран из кремниевых вентилях по трехфазной мостовой схеме выпрямления (см. рис. 165). Питание вспомогательной дуги осуществляется через встроенное добавочное сопротивление. Пускорегулирующая и защитная аппаратура обеспечивает включение и выключение выпрямителя, защиту выпрямительного блока и трансформатора от действия токов высокой частоты осциллятора при возбуждении вспомогательной дуги, защиту от перегрева и отключение выпрямителя от сети при выходе из строя одного из вентилях выпрямительного блока. Выпрямитель снабжен амперметром

Выпрямитель В С Ж - 301. Выпрямители чувствительны к колебаниям напряжения питающей среды, что может отрицательно сказываться на процессе сварки. Поэтому они снабжаются



а — соединение обмоток звездой (диапазон малых токов), *б* — соединение обмоток треугольником (диапазон больших токов); *П₁, П₂* — зажимы борновой доски, *ПМ* — магнитный пускатель; *С₁, С₂, С₃, С₄, С₅* и т. д. — зажимы доски переключений диапазонов; *ДП* — доска переключений диапазонов; *ПВ* — пакетный выключатель, *РВ* — реле контроля вентиляции, *ВС* — выпрямительный блок, *Д* — электродвигатель вентиляции, *КЗ* — конденсаторы снижения радиопомех, *Тр* — трансформатор

Выпрямитель ВСЖ-301 имеет плавное регулирование напряжения и стабилизированные внешние характеристики; он предназначен для сварки в защитных газах. Выпрямитель имеет пять диапазонов плавного регулирования и с высокой точностью стабилизирует внешнюю характеристику при колебаниях 80—120% номинального напряжения сети. Для плавного регулирования напряжения используется магнитная коммутация части витков вторичной обмотки трансформатора путем изменения величины коэффи-

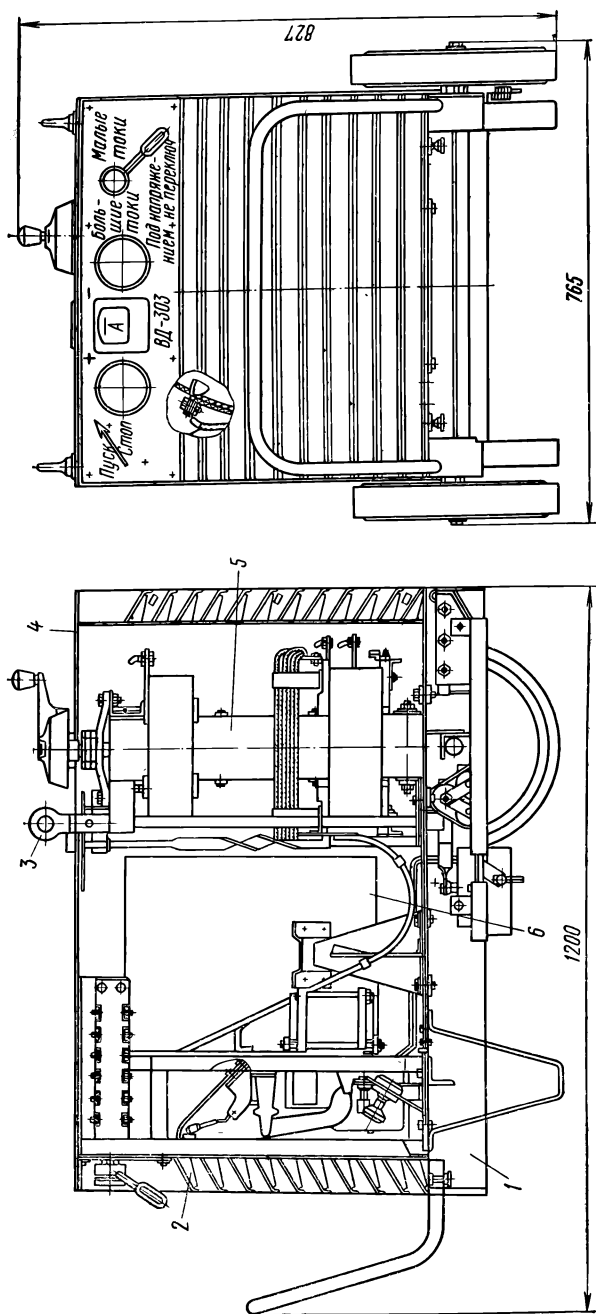


Рис. 168. Общий вид однофазного выпрямителя ВД-303 для плазменной сварки:

1 — тележка, 2 — вентиляционная решетка, 3 — рым-болт, 4 — кожух, 5 — кожух, 5 — трансформатор, 6 — блок выпрямительных вентилялей

циента трансформации. По своим техническим данным выпрямитель ВСЖ-301 превосходит выпрямители ВС-300 и ВДГ-301.

Выпрямитель сварочный переносный ВЖ-2М (А-1166М). Разработан ИЭС им. Е. О. Патона. Предназначен для питания полуавтоматов и автоматов при сварке голой проволокой и в защитных газах стыков труб диаметром от 20 до 100 мм в условиях сантехнических монтажных работ на строительных объек-

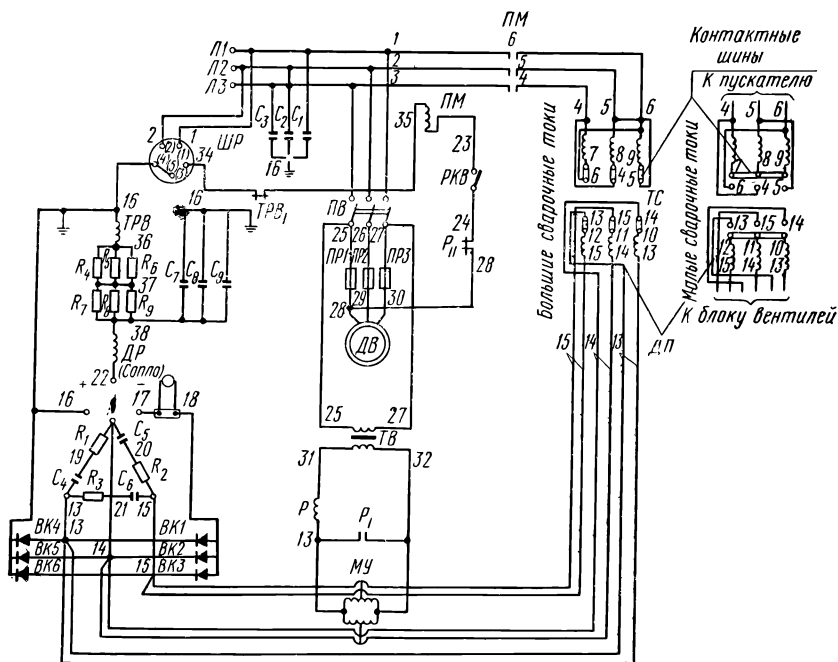


Рис. 169. Принципиальная электрическая схема выпрямителя ВД-303 для плазменной сварки:

$R_1 - R_3$ — сопротивления (ПЭВ-7,5), ПМ — магнитный пускатель (ПА-311), ПВ — пакетный выключатель (ПВ3-10), РКВ — реле контроля вентиляции, ДВ — двигатель вентилятора АОЛ 11-4, ВК1 — ВК6 — кремниевые вентили (ВК2-200-1.56), ТВ — трансформатор вспомогательный, $C_1 - C_3$ — конденсаторы защитные (КБГИ-600), ПР1 — ПР3 — предохранители (ПК-45-1 на 380 в, ПК-45-2 на 220 в), $P_1 - P_{11}$ — реле электромагнитное (МУК-К-123), МУ — магнитный усилитель; $C_4 - C_6$ — конденсаторы (МБПГ-2), ТРВ — тепловое реле (ТРВ-26), ДР — дроссель защиты, $C_7 - C_9$ — конденсаторы (КЗ), ШР — штепсельный разъем, $R_4 - R_9$ — сопротивления (ПЭ-150-1,6), ДП — доска переключений диапазонов

тах. Имеет следующую техническую характеристику: напряжение питающей сети 380 в; выпрямленное напряжение холостого хода 21—40 в; максимальный выпрямленный ток при $PR=25\%$ — 200 а, при $PR=100\%$ — 100 а; номинальная мощность 8,45 ква; пределы регулирования выпрямленного напряжения при токе 200 а — 11—29 в; коэффициент полезного действия 0,7; внешние характеристики пологопадающие; число ступеней регулирования — 9; вес 50 кг.

Многопостовые сварочные выпрямители ВКСМ-1000-1, ВДМ-1601 и ВДМ-3001. Они предназначены для ручной дуговой сварки и применяются для одновременного питания постоянным током, соответственно, 6, 9 и 18 постов при максимальном токе одного поста до 300 а и коэффициенте одновременности нагрузки не более 0,6. Выпрямители ВКСМ-1000-1 и ВДМ-1601 состоят из силового блока (трансформатор, блок кремниевых выпрямительных вентилей и вентилятор) и пускорегулирующей и защитной аппаратуры, расположенной в шкафу. Выпрямитель ВДМ-3001 состоит из двух выпрямителей ВДМ-1601, установленных на общей раме и предназначенных для совместной или раздельной работы. Включение в сеть осуществляется через воздушные автоматы и магнитные пускатели. Выпрямители имеют нулевую защиту, защиту от перегрузок и коротких замыканий. Регулирование сварочного тока производится ступенями в пределах 30—300 а с помощью балластных реостатов РБ-300. Однотипные сварочные выпрямители допускают параллельную работу на общую сварочную цепь.

Обслуживание сварочных выпрямителей. Обслуживают сварочные выпрямители в основном так же, как и сварочные трансформаторы. Особенно внимательно нужно следить за плотностью соединений контактов, отсутствием пробоев изоляции и замыканий обмоток катушек, состоянием выпрямительных вентилей и отсутствием в них пробоев, нормальной работой вентилятора системы охлаждения.

При замыкании в обмотках трансформатор нагревается и начинает сильно гудеть. При пробое одного из выпрямительных вентилей выпрямитель не дает напряжения. Использовать выпрямитель с бездействующим вентилятором охлаждения нельзя, так как это вызовет перегрев и пробой выпрямительных вентилей. Защитная аппаратура обеспечивает отклонение выпрямителя от сети при выходе из строя одного из вентилей выпрямительного блока, а также защиту от перегрева.

Обнаруженные неисправности выпрямителя должны устраняться в электроремонтной мастерской.

§ 12. ГЕНЕРАТОРЫ ИМПУЛЬСОВ. ТРАНЗИСТОРНЫЕ АППАРАТЫ

Генераторы импульсов служат для подачи тока в сварочную дугу в виде отдельных кратковременных импульсов. Этим обеспечивается точная дозировка выделяемого при сварке тепла и управления процессом плавления и переноса в ванну электродного металла, а также расплавлением кромок основного металла. При импульсно-дуговой сварке возрастает производительность, достигается экономия защитного газа, обеспечивается возможность сварки во всех пространственных положениях, расширяется диапазон применяемых сварочных токов, улучшается формирование шва, сокращается разбрызгивание, снижаются сварочные деформации, повышаются механические свойства сварных соедине-

ний. Обычно применяемая частота импульсов составляет 50 и 100 имп/сек.

Генератор прямоугольных импульсов выполнен на полупроводниковых триодах. Принципиальная схема генератора импульсов и включение его в сварочную цепь приведена на рис. 170, а. Генератор

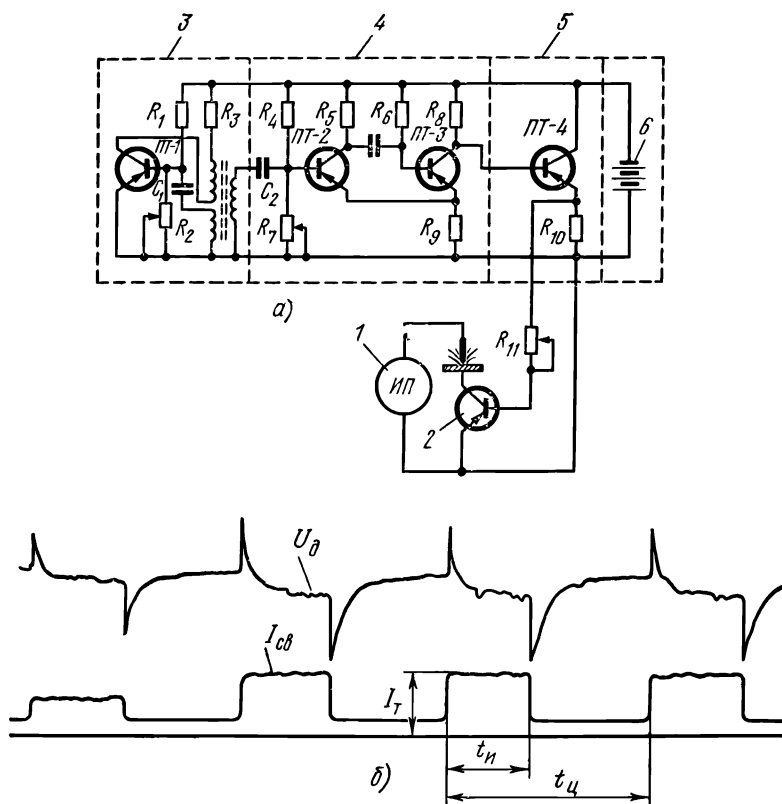


Рис. 170. Генератор импульсов:

а — принципиальная схема, б — осциллограммы тока ($I_{св}$) и напряжения (U_d) в дуге; 1 — источник питания дуги, 2 — управляющий триод, 3 — блокинг-генератор, 4 — ждущий мультивибратор, 5 — усилитель, 6 — источник постоянного напряжения; ПТ-1, ПТ-2, ПТ-3, ПТ-4 — полупроводниковые триоды; $R_1, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7, R_8, R_9, R_{10}$ — резисторы; R_2, R_7, R_{11} — потенциометры, C_1, C_2 — конденсаторы, ТР-1 — трансформатор

ратор импульсов состоит из блокинг-генератора 3, мультивибратора 4, усилителя мощности 5 и источника постоянного напряжения 6 для питания схемы управления. Длительность импульса (t_n) сварочного тока регулируется потенциометром R_7 , продолжительность периода (время цикла — t_c) — потенциометром R_2 , амплитуда тока I_T — потенциометром R_{10} . Дуга возбуждается без касания электродом изделия, с помощью маломощного источника повышенного напряжения и осциллятора.

В сварочную цепь генератор импульсов включается параллельно. Последовательно с источником питания дуги постоянного тока I в сварочную цепь включается полупроводниковый триод 2, который выполняет следующие функции: гарантирует бесконтактное прерывание тока и стабильную форму импульсов; в момент паузы пропускает ток, необходимый для поддержания горения дежурной дуги. Таким образом, триод является одновременно бесконтактным прерывателем, регулятором и стабилизатором сварочного тока.

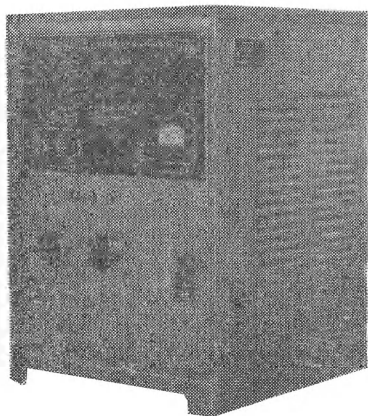


Рис. 171. Генератор импульсов тока
ГИД-1

При соответствующем подборе режима работы триода ток дуги, равный коллекторному току триода I_k , определяется базисным током I_0 и не зависит от напряжения источника и сопротивления сварочной цепи. Величина сварочного тока при этом не зависит от колебаний длины дуги и напряжения в сети. Изменяя малый по величине ток управления (базисный ток), можно практически безынерционно регулировать сварочный ток. Так как динамическое сопротивление триода больше статического, то устойчивость горения дуги при малых то-

ках повышается, что особенно важно при сварке металла малой толщины, где требуется малоамперная дуга.

Описанная схема разработана и применяется в полупроводниковых источниках питания типов АП, разработанных ИЭС им. Е. О. Патона.

Генератор импульсов ГИД-1 (рис. 171) предназначен для импульсно-дуговой сварки алюминия, меди, нержавеющей стали, углеродистых сталей плавящимся электродом в аргоне и других защитных газах. Сварка может производиться во всех пространственных положениях, при параллельном включении генератора импульсов с серийно выпускаемыми сварочными выпрямителями или преобразователями с жесткой (пологопадающей) внешней характеристикой. Генератор импульсов ГИД-1 состоит из импульсного трансформатора, дросселя, управляемых и неуправляемых кремниевых вентилях, пускорегулирующей и защитной аппаратуры. Регулировать амплитуду и длительность импульсов сварочного тока можно плавно и ступенчато; плавное регулирование осуществляется дистанционно. Техническая характеристика генератора импульсов ГИД-1 следующая: напряжение питающей сети 380 в, частота импульсов тока при нагрузке — 50 и 100 гц, пределы регулирования амплитуды (величины тока) импульса 450—1200 а, вес — 200 кг. Конструкция генератора разработана ВНИИЭСО и Институтом электросварки им. Е. О. Патона. Этим институтом разрабо-

таны также двухпостовые генераторы импульсов ГИ-ИДС-1, которые применяются для работы с выпрямителями ВС-300, ИПП-300, преобразователями ПСГ-500 и др. Используется при импульсно-дуговой сварке плавящимся электродом $\varnothing 1-3$ мм в аргоне или смеси аргона с кислородом изделий из алюминия и его сплавов (типа АД, АМг, АМц), нержавеющих и углеродистых сталей, сплавов на основе титана, меди и других металлов во всех пространственных положениях. Частота импульсов 50 и 100 гц. Позволяют питать импульсным током частотой 50 гц два независимых сварочных поста или две следующие одна за другой дуги.

Транзисторные аппараты АП-4, АП-5, и АП-6 для дуговой сварки. Аппараты АП-4, АП-5 и АП-6 (рис. 172) разработаны Институтом электросварки им. Е. О. Патона и предназначены для аргоно-дуговой сварки неплавящимся электродом тонкого металла на постоянном или импульсном токе прямой или обратной полярности. Пределы регулирования сварочного тока делают возможной сварку различных металлов и сплавов толщиной от десятков микрон до нескольких миллиметров.

Аппараты снабжены выносным пультом управления, электрогазоплапаном, ротаметром для определения расхода газа, приборами для контроля тока и напряжения дуги. Возбуждение дуги происходит легко, без касания электродов изделия, для чего применяется специальное поджигающее устройство, состоящее из осциллятора и источника малой мощности и повышенного напряжения. Аппарат снабжен специальным

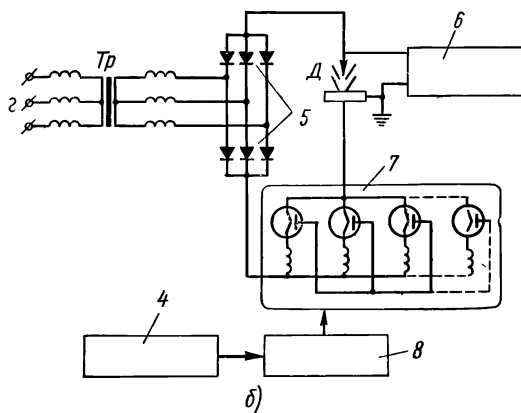
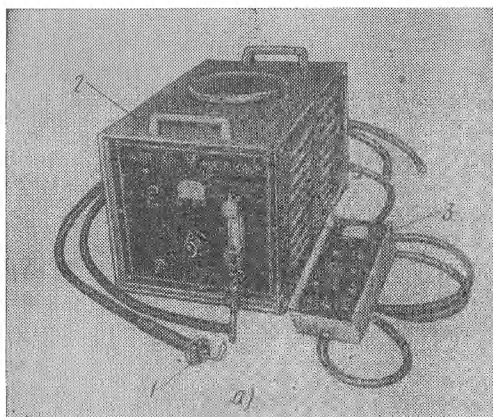


Рис. 172. Транзисторный аппарат типа АП для дуговой сварки:

а — внешний вид, б — принципиальная схема; 1 — горелка-электрододержатель, 2 — аппарат, 3 — пульт управления, 4 — генератор импульсов, 5 — кремниевые вентили, 6 — поджигающее устройство, 7 — транзисторы, 8 — пульт управления, Д — дуга, Тр — трансформатор

устройством для заварки кратера шва, имеющим регулятор времени для плавного снабжения величины сварочного тока. Для обеспечения надежной работы транзисторов и выпрямительных вентилей служит система охлаждения; в схеме предусмотрена также защита полупроводниковых устройств от перенапряжения.

В аппаратах АП применена стабилизация тока дуги и управление током с помощью полупроводниковых триодов (транзисторов), включенных в сварочную цепь последовательно с выпрямителем. Сварочный ток регулируется плавно и не зависит от колебаний напряжения питающей сети и дуги. Такая стабилизация величины тока обеспечивает высокое качество сварки и высокую устойчивость дуги на малых токах. Быстрое действие транзисторов дает прямоугольную форму пиков импульсного тока, для получения которого в цепь управления вводится генератор прямоугольных импульсов тока. Длительность дежурного тока и тока импульсов регулируется раздельно в пределах от 0,03 до 0,6 сек. Технические данные аппаратов следующие:

	АП-4	АП-5	АП-6
Номинальный сварочный ток при ПР-60 % и $t_{ц}=10$ мин, а . . .	30	100	300
Пределы регулирования тока, а	0,5—30	1,5—100	5—300
Напряжение холостого хода, в	40	40	40
Средняя потребляемая мощность, квт	0,6	2,5	6
Коэффициент полезного действия	—	0,5—0,7	—
Коэффициент мощности ($\cos \varphi$)	—	0,85	—
Количество транзисторов П-210 в блоке	10	20	50
Охлаждение	Воздушное принудительное	Водяное	Водяное
Питающая сеть	Однофазная 220 в	Трехфазная 380/220 или однофазная 220 в	Трехфазная 380/220 в

Источник питания А-1347 для импульсной микроплазменной сварки металлов толщиной 0,3—2 мм. Разработан ИЭС им. Е. О. Патона. Дает разнополярные импульсы тока при сварке сплавов алюминия и магния. Технические данные источника питания А-1347 следующие: напряжение питания 380 в; частота тока в сети 50 гц; потребляемая мощность 6 ква; ток основной дуги в импульсном режиме 15—150 а; длительность импульса тока при прямой полярности 0,02—0,3 сек; ток дуги обратной полярности 5—50 а; длительность импульса тока дуги обратной полярности 0,03—0,4 сек; ток дежурной дуги 3—5 а; расход газа: плазмообразующего (аргона) 0,2—0,5 л/мин; защитного (гелия) 1,5—3 л/мин; расходы воды 1,5—3 л/мин; вес 250 кг.

Конструкция источника позволяет плавно регулировать величину и длительность протекания тока прямой и обратной полярности, а также частоту смены полярности. Малоамперная дуга постоянно и переменного тока надежно возбуждается и горит устойчиво. Нагрев и плавление кромок осуществляется преимущественно им-

пульсами тока прямой полярности, а очистка поверхности сварочной ванны от окислов — импульсами тока обратной полярности (явление катодного распыления). Источник питания можно использовать также для сварки импульсным однополярным током сталей, меди, никеля, титана и других металлов и сплавов толщиной 0,2—2 мм. В комплект источника входят микроплазменные горелки ОБ-1160А для ручной и ОБ-1213 для автоматической сварки. В качестве электродов применяется вольфрам ВЛ10 (СТУ-45-ЦМ-1150-63) Ø1 и 1,5 мм; расход аргона и гелия контролируется ротаметрами.

Глава XXII

СВАРКА В УГЛЕКИСЛОМ ГАЗЕ

§ 1. ОСОБЕННОСТИ СВАРКИ В УГЛЕКИСЛОМ ГАЗЕ

Преимущества сварки в углекислом газе. Преимущество этого вида сварки перед сваркой под флюсом состоит в том, что сварщик может наблюдать за ходом процесса и горения дуги, которая не закрыта флюсом; не нужны приспособления для подачи и отсоса флюса, усложняющие сварочное оборудование; отпадает необходимость в последующей очистке швов от шлака и остатков флюса, что особенно важно при многослойной сварке.

Основными достоинствами способа сварки в углекислом газе являются:

1. Хорошее использование тепла сварочной дуги, вследствие чего обеспечивается высокая производительность сварки.

2. Высокое качество сварных швов.

3. Возможность сварки в различных пространственных положениях с применением аппаратуры для полуавтоматической и автоматической сварки.

4. Низкая стоимость защитного газа.

5. Возможность сварки металла малых толщин и сварки электрозаклепками.

6. Возможность сварки на весу без подкладки.

Процесс сварки отличается высокой производительностью, достигающей 18 кг/ч наплавленного металла. Скорость сварки достигает 60 м/ч. Производительность сварки в углекислом газе в 1,5—4 раза выше, чем производительность ручной сварки покрытыми электродами, и в 1,5 раза выше, чем при сварке под флюсом.

Стоимость наплавки 1 кг металла при сварке в углекислом газе в 2—2,5 раза меньше, чем при ручной сварке, и на 10—20% меньше, чем при автоматической сварке под флюсом.

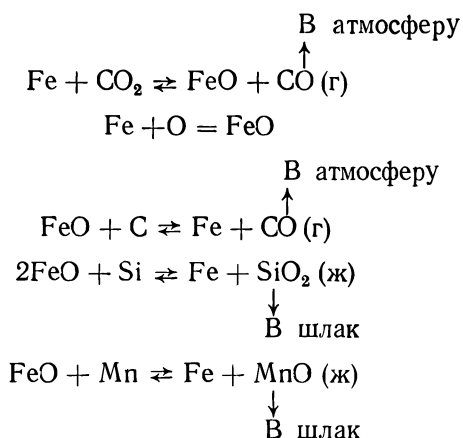
Наибольшее применение сварка в углекислом газе нашла в судостроении, в машиностроении, при сварке трубопроводов, в том числе магистральных, при выполнении монтажных работ, изготовлении котлов и аппаратуры из теплоустойчивых и легированных сталей, заварке дефектов стального литья, наплавке и др.

Металлургические процессы при сварке в углекислом газе. Реакции окисления и восстановления протекают достаточно интенсивно. При высокой температуре дуги молекулы углекислого газа расщепляются (диссоциируют) на СО и О по реакции $\text{CO}_2 \rightarrow \text{CO} + \text{O}$. Образующаяся СО в свою очередь диссоциирует на

С и О по реакции $\text{CO} \rightarrow \text{C} + \text{O}$. Атомарный кислород (О) обладает высокой химической активностью и способен окислять все элементы, входящие в состав проволоки и основного металла.

Исследования показали, что температура капель жидкого металла в зоне дуги составляет $2150\text{--}2350^\circ\text{C}$, а температура газа — 2900°C . Температуры же в сварочной ванне ниже и составляют: металла 1700°C и газа 2300°C . Как известно, чем выше температура, тем реакции окисления идут интенсивнее. Поэтому при сварке в углекислом газе в большей степени происходит выгорание (окисление) элементов, содержащихся в электродной проволоке, и в меньшей степени — элементов основного металла. При таком распределении температур большая часть углекислого газа (60%) расщепляется на окись углерода и кислород в зоне дуги и меньшая (15%) — в месте контакта с ванной.

При указанных условиях в зоне сварки протекают следующие реакции окисления элементов и восстановления их из окислов:



Выделение газообразной окиси углерода (СО) из жидкого металла вызывает «кипение» сварочной ванны и приводит к образованию пор. При сварке в углекислом газе пористость шва может возникнуть в результате: 1) недостатка элементов — раскислителей (кремния, марганца и др.) в проволоке; 2) присутствия ржавчины и окалины, попадающих с кромок металла и проволоки в ванну; 3) повышенного содержания влаги в углекислом газе; 4) попадания в зону сварки азота из воздуха при недостаточной защите дуги углекислым газом.

Для повышения количества марганца и кремния в металле шва, уменьшающихся в результате угара, и подавления реакции окисления углерода при сварке в углекислом газе применяют электродную проволоку с повышенным содержанием марганца и кремния. При сварке низко- и среднеуглеродистых сталей содержание в металле шва кремния более 0,2% и марганца более 0,4% предупреждает образование пор.

На степень окисления углерода, кремния и марганца при сварке в углекислом газе влияют: напряжение, величина и полярность сварочного тока, а также диаметр электродной проволоки. С повышением напряжения окисление увеличивается, а при возрастании сварочного тока и уменьшении диаметра проволоки (повышении плотности тока) — уменьшается. Сварка на постоянном токе обратной полярности дает меньшее окисление, чем на токе прямой полярности. При сварке проволокой диаметром 0,5—1,2 мм происходит значительно меньшее окисление элементов, чем при сварке проволокой диаметром 1,6—2 мм. Поэтому более тонкая проволока обеспечивает получение плотных беспористых швов.

При сварке на открытых площадках (на монтаже) при наличии ветра, сдувающего струю защитного газа, качество металла сварных швов может ухудшаться. Для уменьшения вредного влияния ветра при сварке применяют специальные меры защиты: увеличивают подачу защитного газа; сокращают зазор между соплом горелки и изделием; ослабляют силу ветра с помощью дополнительной веерной струи; используют ветроотбойные желоба и сетчатые колпаки.

Перенос металла и горение дуги в атмосферу углекислого газа отличаются некоторыми особенностями. Дуга в CO_2 характеризуется интенсивным свечением и погружением ее в жидкий металл ванны. Столб дуги сильно сжат вследствие охлаждения окружающих его слоев газа благодаря интенсивному отводу тепла, расходуемого на диссоциацию и ионизацию молекул газа. Дуга в атмосфере CO_2 горит достаточно устойчиво, однако менее стабильно, чем, например, в атмосфере аргона. Большая устойчивость дуги в CO_2 и меньшее разбрызгивание, а также мелкокапельный перенос металла достигается при сварке постоянным током на обратной полярности (катод — свариваемый металл). С повышением плотности тока коэффициент плавления проволоки возрастает. Мелкокапельный перенос и снижение разбрызгивания металла при сварке в углекислом газе обеспечиваются при плотностях тока 100—300 а/мм². При этом потери металла на разбрызгивание составляют от 7 до 15%.

§ 2. ПРИМЕНЯЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Сварочная проволока. В качестве электрода применяют проволоку марок Св-08ГС, Св-08Г2С, Св-12ГС и др. по ГОСТ 2246—70 в соответствии с маркой основного металла, имеющую повышенное содержание марганца и кремния. Диаметр проволоки берут в пределах 0,5—2,5 мм в зависимости от толщины свариваемого металла и типа сварочного полуавтомата. Поверхность проволоки должна быть чистой, не загрязненной смазкой, органическими антикоррозионными веществами, ржавчиной, окалиной и др., повышающим разбрызгивание металла и вызывающим пористость шва. Иногда проволоку подвергают травлению в 20%-ном растворе серной кислоты с последующей прокаткой в печи при 250—280°С в течение

2—2,5 ч. Это обеспечивает получение плотного наплавленного металла с минимальным содержанием водорода. Хорошие результаты дает сварка омедненной проволокой.

На Харьковском тракторосборочном заводе успешно применяют способ подготовки проволоки, предложенный Ю. И. Нихинсоном и Л. Ф. Тесленко, — травление 5—10 мин в 10—20%-ном водном растворе соляной кислоты, промывка в холодной воде и пассивирование в смеси водных растворов 5—15% нитрита натрия (NaNO_2) и 1% кальцинированной соды (Na_2CO_3) в течение 10—15 мин. После пассивирования проволока долго сохраняется. Кроме того, повышается стабильность горения дуги, уменьшается порообразование и расход углекислого газа.

Углекислый газ. Углекислый газ бесцветен, неядовит. При давлении 760 мм рт. ст. плотность углекислого газа $1,98 \text{ кг/м}^3$. При температуре 31°C и давлении $75,3 \text{ кг/см}^2$ углекислый газ сжижается. Давление сжижения уменьшается при понижении температуры. При минус $78,5^\circ\text{C}$ углекислый газ переходит в жидкость при атмосферном давлении (760 мм рт. ст.). Испарение 1 кг жидкой углекислоты дает 505 дм^3 углекислого газа (при 0° и 760 мм рт. ст.). Хранят и транспортируют углекислый газ в стальных баллонах под давлением 60—70 кгс/см^2 . Баллоны окрашены в черный цвет и имеют надпись желтого цвета «Углекислота». В стандартный баллон емкостью 40 дм^3 вмещается 25 кг жидкой углекислоты, которая при испарении дает $12\,625 \text{ дм}^3$ газа. Жидкая кислота занимает 60—80% объема баллона, остальной объем заполнен газом.

Углекислый газ, применяемый для сварки, должен быть сухим и иметь концентрацию не ниже 98% CO_2 , а для сварки ответственных конструкций — не менее 99% CO_2 . Пищевой углекислый газ содержит не менее 98,5% CO_2 и не более 0,1% свободной влаги. В нем может содержаться также вода, растворенная в сжиженном CO_2 . Если углекислый газ содержит влагу, то шов получается пористым, а наплавленный металл менее пластичным.

Поэтому в случае использования для сварки пищевого углекислого газа его необходимо подвергать предварительной осушке путем пропускания через патрон, заполненный обезвоженным медным купоросом, или через силикагелевый осушитель.

Первые порции углекислого газа, содержащие наибольшее количество примесей (преимущественно азота), выпускают наружу и затем начинают сварку. Отбор газа заканчивают при остаточном давлении его в баллоне около 4 кгс/см^2 , так как последние порции неосушенного газа содержат повышенное количество влаги.

При расходе газа свыше 20 $\text{дм}^3/\text{мин}$ возможно вымерзание влаги в каналах редуктора вследствие охлаждения газа, происходящего при понижении его давления в момент прохождения через клапан редуктора, и закупорка последнего льдом. Для предупреждения этого явления газ отбирают из нескольких баллонов, включенных параллельно, или предварительно подогревают газ перед редуктором. Для подогрева газа используют электрические подогреватели, питаемые током напряжением 36 в.

Для сварки специально выпускается сварочный углекислый газ по ГОСТ 8050—64, отвечающий следующим техническим требованиям:

	I сорт	II сорт
Содержание двуокиси углерода, % по объему, не менее	99,5	99,0
Содержание водяных паров в углекислом газе: при нормальных условиях (давлении 760 мм рт. ст., температуре 20°C), г/м³, не более	0,178	0,515
точка росы, °C, не выше	—34	—24

В отличие от пищевого и технического углекислого газа сварочный углекислый газ контролируется на содержание CO_2 и влаги путем отбора проб из вертикально стоящего баллона (из газовой фазы), при этом влажность определяется конденсационным гигрометром НИИГС.

Сварочным углекислым газом не разрешается наполнять баллоны из-под пищевого и технического газа. Баллоны должны иметь надпись « CO_2 сварочный».

При количестве сварочных постов более 20 целесообразно осуществлять централизованное питание их углекислым газом, подаваемым по трубопроводу от ramпы баллонов или от газификационной установки. При полуавтоматической сварке проволокой диаметром 1—1,4 мм и диаметре выходного отверстия сопла 15 мм для надежной защиты зоны горения дуги требуется 400—600 $\text{дм}^3/\text{ч}$ углекислого газа; если проволока диаметром 2 мм, а сопло диаметром 25 мм — 1200—1500 $\text{дм}^3/\text{ч}$. Увеличение расхода газа выше этих пределов не улучшает защиту ванны и дуги, но приводит к перерасходу газа, ухудшению процесса сварки и формированию металла шва. Практически при сварке проволокой 1—1,4 мм током 120—250 а расход газа можно принимать равным 1,2 кг/ч или 0,8 кг на 1 кг наплавленного металла. При сварке проволокой 2 мм расход газа составит 300 $\text{дм}^3/\text{ч}$ наплавленного металла. Для снижения расхода углекислого газа необходимо давление в магистрали поддерживать минимальным, порядка 0,4—0,6 кгс/см², соответственно количеству работающих постов, регулируя его так, чтобы расход газов на один пост не превышал указанных выше пределов. Сварочные посты следует оборудовать электромагнитными клапанами, позволяющими включать подачу газа через 2—3 сек после гашения дуги и вновь включать ее за 0,5—1 сек перед возбуждением дуги. Такие же клапаны целесообразно ставить и при питании газом из баллонов. Применение расходомеров для газа обязательно. Все эти мероприятия обеспечивают экономию углекислого газа при сварке.

§ 3. АППАРАТУРА И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СВАРКИ

Комплект оборудования для автоматической сварки в углекислом газе состоит из источника сварочного тока, сварочной горелки, механизма для подачи проволоки в зону дуги, устройства для перемещения горелки или изделия при сварке, баллона или группы

баллонов с углекислым газом и газовой аппаратуры (подогревателя, редуктора, расходомера, осушителя).

Давление газа понижают при помощи стандартных кислородных редукторов. Расход газа при сварке контролируют с помощью поплавковых указателей расхода (ротаметров). Применяются ротаметры типов РС-3, РС-5, ИРКС-6,5 и др. Целесообразно использовать также специальный редуктор ДЗР-1-57 с расходомером, позволяющим измерять расход углекислого газа в пределах от 235 до 2940 л/ч.

Схема установки для полуавтоматической сварки в углекислом газе изображена на рис. 173. Применяется ручная горелка — электрододержатель с охлаждением самим углекислым газом (при токе до 250—300 а) или водяным охлаждением при токе от 300 до 900 а).

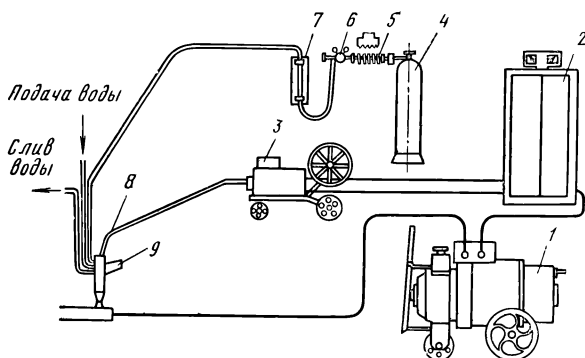


Рис. 173. Схема установки для сварки в углекислом газе:

1 — сварочный преобразователь, 2 — аппаратный шкаф, 3 — механизм подачи проволоки, 4 — баллон с углекислым газом, 5 — осушитель углекислого газа, 6 — редуктор, 7 — указатель расхода газа (ротаметр), 8 — гибкий кабель-шланг, 9 — сварочная горелка-электрододержатель

Сварка в углекислом газе выполняется на постоянном токе обратной полярности. В качестве источника тока при сварке проволокой диаметром 1,6—2,5 мм током более 200 а служат сварочные преобразователи типов ПСГ-350, ПСГ-500, ПСУ-500 и сварочные выпрямители с жесткой внешней характеристикой.

Для многопостовой сварки в углекислом газе применяют многопостовые преобразователи ПСМ-1000, включаемые по схеме рис. 174. Для стабилизации режима сварки в цепь каждого поста включается постовой дроссель. Регулирование напряжения дуги производится с помощью постовых сопротивлений, включенных перед дросселем каждого поста. Стабилизация и регулирование напряжения многопостового преобразователя осуществляется полупроводниковым регулятором напряжения.

При сварке необходимо поддерживать возможно более короткую дугу для того, чтобы уменьшить разбрызгивание металла и получить плотный беспористый шов. Сварка осуществляется при постоянной скорости подачи проволоки в дугу и саморегулировании длины дуги. Дуга имеет возрастающую вольт-амперную характеристику, поэтому она будет гореть более устойчиво и лучше саморегулируется в том случае, если источник питания имеет жесткую или возрастающую внешнюю характеристику. Возбуждение дуги

происходит при напряжении около 20 в и выше. Более устойчиво дуга горит при обратной полярности тока.

Для получения жесткой внешней характеристики у сварочных преобразователей ПС-500 обмотку возбуждения можно отключить от щеток и концы ее вывести на клеммную доску, подключив питающие обмотки от отдельного селенового выпрямителя.

Включение в сварочную цепь постоянного тока индуктивного сопротивления (стабилизатора), например, стандартного сварочного дросселя РСТЭ-24, уменьшает разбрызгивание металла в 2—

2,5 раза, повышает устойчивость горения дуги и допускает сварку металла 2—3 мм в различных пространственных положениях на малых токах проволокой диаметром 1,6—2 мм.

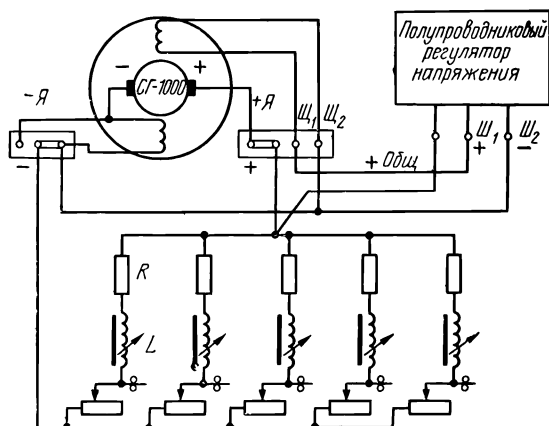


Рис. 174. Схема многопостовой сварки в углекислом газе:

R — постовое сопротивление, L — постовый дроссель

вод от электродвигателя и систему роликов для подачи проволоки через гибкий шланг в дугу (рис. 175). Держатель-горелка в таких полуавтоматах имеет небольшие габариты и вес. Для сварки алюминиевых сплавов, особенно при применении тонкой проволоки, способ подачи проволоки толканием недостаточно надежен, так как проволока легко изгибается и равномерность ее подачи нарушается. В таких случаях используют полуавтоматы с подачей проволоки способом протягивания. Механизм подачи проволоки располагается в самом держателе и снабжается специальным малогабаритным электродвигателем; это усложняет конструкцию держателя, увеличивает его габариты и вес. Такой принцип подачи применен, например, в полуавтомате ПШПА-10 (см. гл. XXIII).

На рис. 176 показан сварочный полуавтомат А-547-Р. Электрическая схема полуавтомата А-547-Р приведена на рис. 177. Все управления полуавтоматом А-547-Р питаются от цепи сварочного тока, высокое напряжение в аппаратном ящике отсутствует. При сварке очень коротких швов и толщине металла менее 1 мм, а также при соединении с большими зазорами применяется электрическая

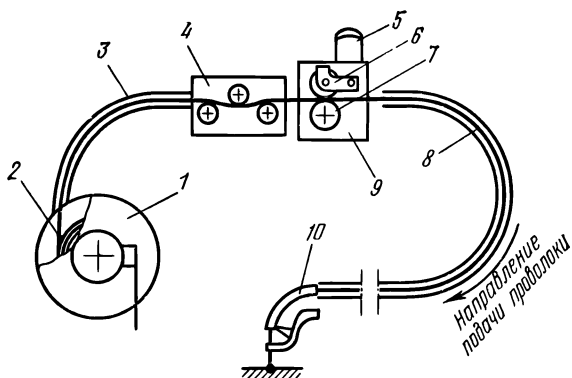


Рис. 175. Схема механизма подачи проволоки по способу «толкания»:

1 — катушка с тормозом, 2 — электродная проволока, 3 — направляющая, 4 — механизм правки, 5 — двигатель механизма подачи, 6 — прижимной ролик, 7 — ведущий ролик, 8 — гибкий шланг, 9 — редуктор механизма подачи, 10 — мундштук

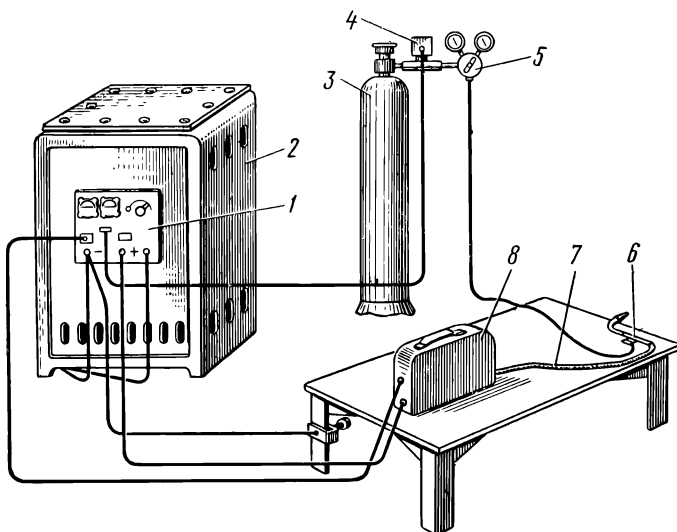


Рис. 176. Полуавтомат А-547-Р для сварки в углекислом газе проволокой 0,8—1,2 мм:

1 — распределительный щит, 2 — источник питания, 3 — баллон с углекислым газом, 4 — электроподогреватель газа, 5 — редуктор, 6 — горелка-держатель, 7 — гибкий шланг для подачи проволоки, 8 — чехол с подающим механизмом и катушкой для проволоки

схема, изображенная на рис. 177, б. Она отличается от схемы рис. 177, а тем, что вместо кнопки «Пуск» в цепь обмотки возбуждения двигателя включается ножной выключатель. (при простой сварке) или тумблер, установленный на щитке сварщика (для передвижного поста).

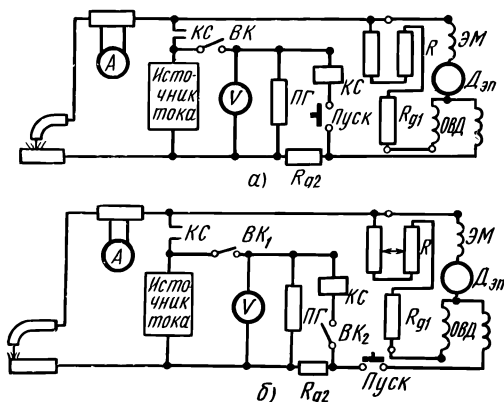


Рис. 177. Принципиальные электросхемы полуавтомата А-547-Р:

а — основная, б — видоизмененная, с разделным выключением подачи проволоки и сварочного тока; А — амперметр, V — вольтметр, КС — контактор силовой, ВК — выключатель, ПГ — подогреватель газа, R, R_{q1}, R_{q2} — сопротивления, Д_{эп} — двигатель подачи электродной проволоки, ОВД — обмотка возбуждения двигателя, ЭМ — электромагнитная муфта, ВК₁ и ВК₂ — выключатели

сварке) или тумблер, установленный на щитке сварщика (для передвижного поста).

Горелка - держатель облегченного типа полуавтомата А-547-Р показана на рис. 178. Для устойчивого процесса сварки проволокой 0,5—1,2 мм необходима постоянная скорость подачи проволоки и постоянный вылет конца электрода. Постоянство скорости подачи проволоки обеспечивается подающим роликом без канавки, с мелкой тупой насечкой. Положение проволоки на ролике фиксируется

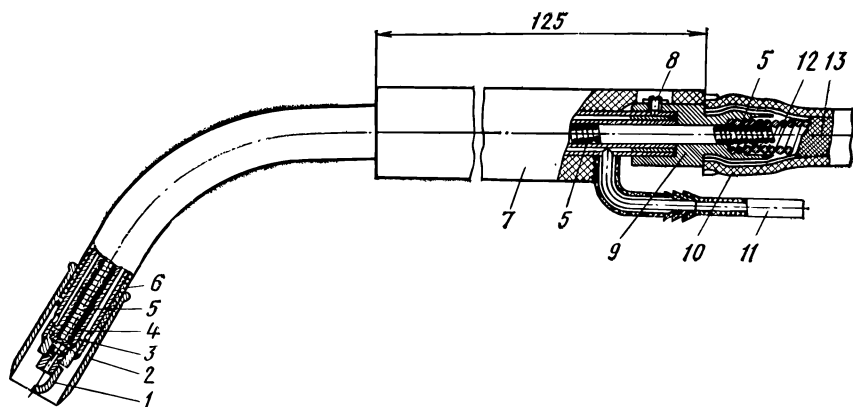


Рис. 178. Горелка-держатель полуавтомата А-547-Р:

1 — наконечник, 2 — сопло, 3 — отверстия для выхода газа, 4 — корпус, 5 — внутренняя проволочная спираль, 6 — резиновая изоляция шланга, 7 — рукоятка, 8 — стопор, 9 — конец шланга, 10 — резиновая изоляция шланга, 11 — газоподводящая трубка, 12 — наружная проволочная спираль, 13 — медная оплетка, являющаяся проводником тока

направляющей и приемной трубками. Расстояние между точкой подвода тока к проволоке и изделием (вылет) должно равняться:

Диаметр проволоки, мм 0,5 0,8 1,0 1,2 1,6 2,0 2,5
Вылет, мм 5—8 6—12 7—13 8—15 13—20 15—25 15—30

Если вылет больше указанных пределов, то нарушается процесс сварки и увеличивается разбрызгивание металла, а если меньше, то подгорает наконечник. Постоянство вылета и надежность контакта наконечника и проволоки в месте подвода тока создается применением контактных сапожков (рис. 179). В изогнутых наконечниках применяют один контактный сапожок (рис. 179, а), в пря-

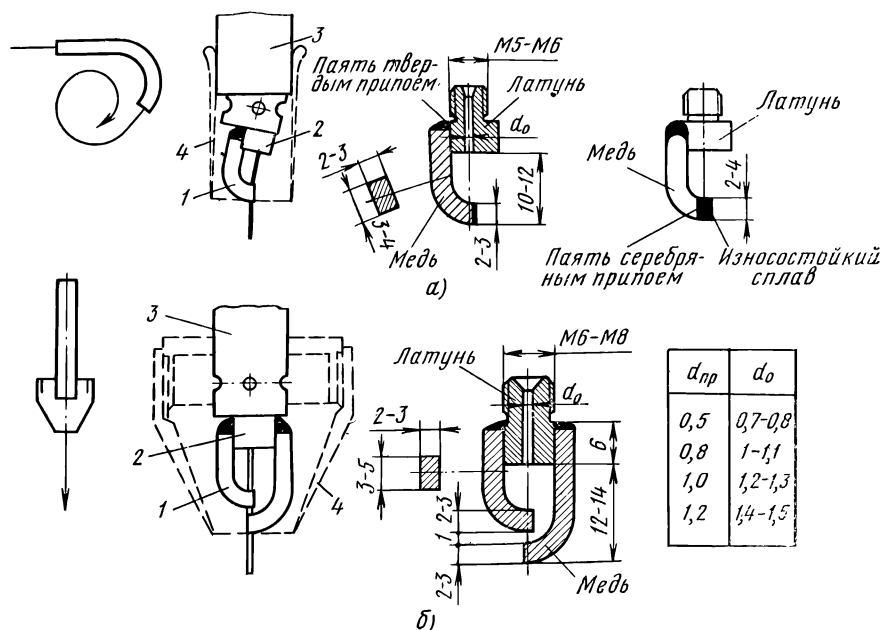


Рис. 179. Контакты держателя для изогнутых (а) и прямых (б) мундштуков при сварке проволокой 0,5—1,2 мм:

1 — контактный сапожок, 2 — наконечник, 3 — мундштук, 4 — сопло

мых — два (рис. 179, б). По мере выработки канавки в сапожках их подгибают. Для повышения стойкости сапожков на плоскость контакта серебряным припоем напаивают твердый вольфрамовый сплав.

Гибкий шланговый провод (рис. 180) имеет длину 1200 мм и с одного конца снабжен токосъемником, состоящим из направляющей трубки 11, прижимаемой накидной гайкой 10 к наконечнику 9, к которому присоединен многожильный медный провод 7. Весь токосъемник покрыт слоем резины 8. Газоэлектрическая горелка прикрепляется к другому концу шлангового провода с помощью штыкового затвора 1 и винта 2. Внутри шланга вставлена спираль 6 из стальной проволоки, придающая ему жесткость. Поверх шланга

на резиновую трубку 5 надеты резиновые наконечники 3, закрепленные стяжными хомутами 4.

Для сварки в углекислом газе можно использовать модернизированный полуавтомат ПШ-54, предназначенный для сварки под

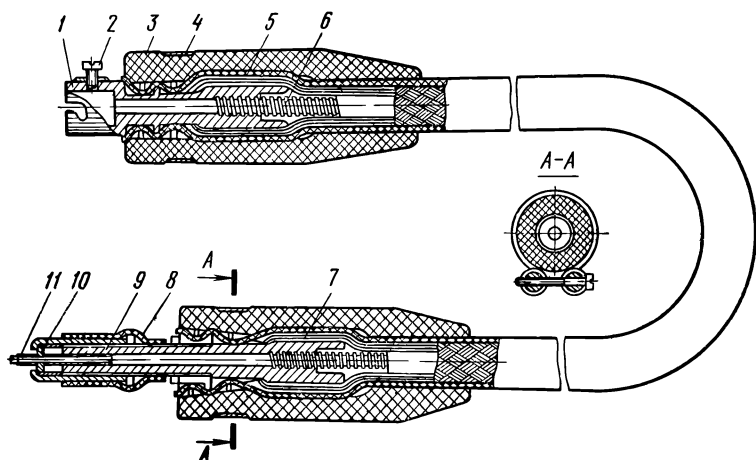


Рис. 180. Гибкий шланговый провод к полуавтомату А-547-Р

флюсом. Способ переделки автомата предложен А. И. Шумковым, Л. И. Казаковым и Э. В. Подшибякиным. На мундштук держателя устанавливают флюсоподающее или газоподающее устройство, а аппаратный ящик с помощью тумблера включают или на сварку в

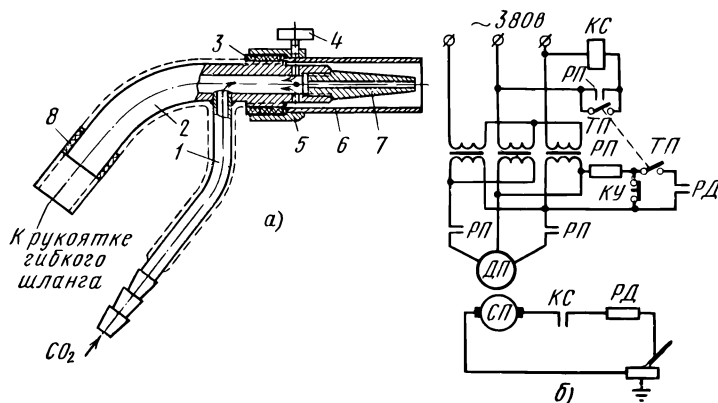


Рис. 181. Горелка и схема полуавтомата ПШ-54:

а — конструкция горелки. 1 — латунный штуцер для подвода CO_2 , 2 — мундштук, 3 — прессованное изолирующее кольцо из асбестового полотна с пропиткой жидким стеклом, 4 — стопорный винт, 5 — стальная накидная гайка, 6 — сопло из красной меди, 7 — наконечник, 8 — асбестовый шнур; б — принципиальная электрическая схема модернизированного полуавтомата ПШ-54

СО₂ или под флюсом. На рис. 181, *а* показана конструкция горелки, а на рис. 181, *б* — электрическая схема модернизированного полуавтомата ПШ-54. В схему аппаратного ящика введено дополнительное реле дуги *РД* и тумблер *ТП*. Включением двигателя *ДП* механизма подачи проволоки осуществлено не блок-контактами сварочного контактора *КС*, а свободными нормально открытыми контактами промежуточного реле *РД*. При сварке в углекислом газе тумблер *ТП* замыкает цепь катушки сварочного контактора *КС* и блокирующую цепь кнопки управления *КУ*. Двигатель подачи проволоки *ДП* при холостом ходе включается кнопкой управления *КУ*, как и при сварке под флюсом. При замыкании электрода на изделие срабатывает реле дуги *РД*, замыкаются нормально открытые контакты реле *РД* и проволока начинает подаваться в зону дуги. При сварке под флюсом контакты тумблера *ТП* разомкнуты и схема работает как обычно с помощью кнопки управления *КУ* на держателе.

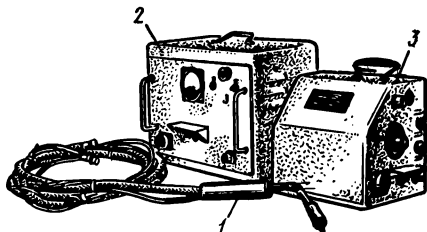


Рис. 182. Малогабаритный полуавтомат ПДПГ-300-5 для сварки в углекислом газе:

1 — горелка, 2 — аппаратный ящик, 3 — механизм подачи проволоки

В горелке вместо медного сопла 7 (рис. 181, *а*) можно применять насадку из стали, нижнюю кромку которой наплавляют медью. Наплавку можно производить до 10—12 раз по мере обгорания насадки.

На рис. 182 показан малогабаритный полуавтомат ПДПГ-300-5 конструкции завода «Электрик», предназначенный для монтажной сварки в углекислом газе. Вес механизма подачи его составляет 10 кг, вес горелки 0,3 кг, применяемые диаметры проволоки 0,8—1,2 мм, номинальный ток 300 а. Для сварки в условиях монтажа, с применением проволоки Ø 0,8—1,2 мм, током 315 а, при напряжении 16—24 в предназначена также шланговый полуавтомат А-1230М конструкции ИЭС им. Е. О. Патона.

За последние годы разработан ряд новых моделей полуавтоматов для сварки в углекислом газе. Технические характеристики некоторых из них приводятся ниже.

Тип	А-1035М	А-1197 (ПС-5)	ПДГ-301 и ПДГ-302
Конструкция	Институт электросварки им. Е. О. Патона	Завод «Электрик»	
Напряжение питающей сети, в	380 или 220	380	380 или 220
Сварочный ток при ПВ-60 %, а	450	500	60—300
Диаметр проволоки, мм сплошной	1,6—2	1,6—2	0,8—1,2 (ПДГ-301 и 303) 0,8—2 (ПДГ-302) 0,8—1,6 (ПДГ-304)
			395

порошковый	1,6—3	1,6—3,5	—
Скорость подачи проволоки, м/ч	58—582	92—926	180—720
Изменение скорости подачи	ступенчатое, 20 ступеней		

Универсальный шланговый полуавтомат А-1035М предназначен для сварки и наплавки в углекислом газе или открытой дугой, сплошной или порошковой проволокой, или под флюсом, стыковых швов стали толщиной до 10 мм и угловых швов с катетом до 12 мм. Он состоит из механизма подачи проволоки и кассеты для проволоки, смонтированных на общей тележке. При сварке в углекислом газе на тележке устанавливается также отсекатель газа. Кроме того, в комплект входят: шкаф управления, ручные держатели с набором сменных узлов, кассеты для проволоки, узлы газовой аппаратуры.

Полуавтомат А-1197 (ПС-5) является унифицированным и выполняется в четырех стационарных и четырех переносных вариантах (см. табл. 39). В зависимости от варианта исполнения полуавтомата сварку и наплавку можно производить в углекислом газе, под флюсом или открытой дугой. В комплект каждого варианта входят механизм подачи, шкаф управления, провода сварочные и цепей управления, инструмент.

Полуавтоматы ПДГ-301 и ПДГ-302 предназначены для сварки встык низкоуглеродистой стали толщиной свыше 1 мм в различных пространственных положениях и труднодоступных местах. Полуавтоматы исполнения ПДГ-303 и ПДГ-304 предназначены для дуговой

Таблица 39

Полуавтоматы группы ПС-5

Обозначение варианта		Назначение	Диаметр проволоки, мм	
стационарный	переносный		основное исполнение	специальное исполнение
ПС-5-Г1-1	ПС-5-Г2-1	Сварка и наплавка в CO ₂ проволокой сплошной или порошковой	1,6—2	1,6—2 2,3—3,5*
ПС-5-Г1-2	ПС-5-Г2-2	То же, в CO ₂ порошковой проволокой	2,3—3,5	2,3—3,5 1,6—2
ПС-5-ОФ-1	ПС-5-ОФ-2	То же, под флюсом или открытой дугой	1,6—2	1,6—2 2,3—3,5**
ПС-5-01	ПС-5-02	То же, открытой дугой порошковой проволокой	2,3—3,5	2,3—3,5 1,6—2

* Только порошковая проволока.

** Порошковая проволока для сварки открытой дугой.

сварки точками внахлестку листовой стали толщиной 2+2 и более мм (пределы тока; I ст. 120—300 а, II ст. 60—200 а); они могут быть также использованы как полуавтоматы ПДГ-301 и ПДГ-302. В полуавтоматах ПДГ-302 и ПДГ-304 механизм подачи проволоки заключен в переносном ранце. Каждый полуавтомат состоит из сварочной головки, переносного механизма подачи проволоки, шкафа управления, источника питания дуги, подогревателя и осушителя газа, редуктора и ротаметра. Полуавтоматы ПДГ-303 и ПДГ-304 имеют, кроме того, блок управления режимом точечной сварки.

§ 4. ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ

Техника сварки. При сварке в углекислом газе проволокой ϕ 0,8—1,2 мм допускается использовать основные типы сварных соединений и их конструктивные элементы по ГОСТ 5264—69, применяемые для ручной дуговой сварки. Существует также специальный ГОСТ 14771—69 на швы сварных соединений, который устанавливает основные типы и конструктивные элементы швов сварных соединений из сталей, свариваемых в защитных газах. В указанном ГОСТ предусматриваются швы для следующих видов сварки сталей: ИН — в инертных газах неплавящимся электродом, без присадочного металла; ИНп — то же, с присадочным металлом; ИП — в инертных газах и их смесях с активными газами плавящимся электродом; УП — в углекислом газе плавящимся электродами. На сварные соединения труб ГОСТ 14771—69 не распространяется.

В табл. 40 приводятся ориентировочные режимы сварки стыковых швов, а в табл. 41 — угловых швов углеродистых и низколегированных сталей в углекислом газе.

Кромки перед сваркой тщательно очищают от грязи, масла, ржавчины и кузнечной окалины, а также от шлаков, остающихся после кислородной резки. Прихватка в процессе сборки должна выполняться электродами с качественным покрытием или сваркой в углекислом газе.

Для повышения устойчивости горения дуги, уменьшения разбрызгивания, увеличения глубины провара и повышения производительности процесса следует сварку вести при высоких плотностях тока на электроде, т. е. применять при выбранном токе более тонкую проволоку. В зависимости от напряжения устанавливается длина дуги по плотности тока. Уменьшение или повышение напряжения по сравнению с пределами, указанными в таблицах, приводит к чрезмерному укорочению или удлинению дуги и нарушает процесс сварки (обрывается дуга, разбрызгивается металл, появляется пористость и т. д.). Величина напряжения имеет особенно важное значение при сварке тонкого металла (менее 2 мм).

Скорость подачи проволоки подбирают практически так, чтобы дуга горела устойчиво при данном токе и напряжении. Расход углекислого газа должен обеспечивать надежную защиту сварочной

Таблица 40

Подготовка кромки и ориентировочные режимы при сварке стыковых швов углеродистых и низколегированных сталей в углекислом газе

Толщина металла, мм	Эскизы	Число слоев	Диаметр проволоки, мм	Ток, а	Напряжение, в	Скорость сварки м/ч	Расход CO_2 , dm^3/min
0,6—1,0		1	0,5—0,8	50—60	18	20—25	6—7
0,6—1,0		1	0,5—0,8	50—60	18	25—25	6—7
1,2—2,0		1—2	0,8—1,0	70—110	18—20	18—24	10—12
3—5		1—2	1,6—2,0	160—200	27—29	20—22	14—16
6—8		2	2	280—300	28—30	25—30	16—18
6—8		1—2	2	280—300	28—30	18—22	16—18
8—12		2—3	2	280—300 380—400	28—30 30—32	16—20 18—22	18—20 18—20
12—18		2	2	380—400	30—32	16—20	18—22
20		2 4	2—2,5 2—2,5	440—460 420—440	30—32 30—32	16—20 16—20	18—22 18—22

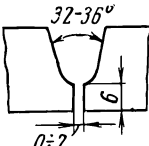
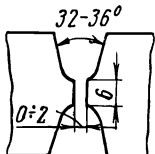
Толщина металла, мм	Эскизы	Число слоев	Диаметр проволоки, мм	Ток, а	Напряжение, в	Скорость сварки, м/ч	Расход CO_2 , $dm^3/мин$
25		10 и более	2—2,5	440—500	30—32	16—20	18—22
40 и более		10 и более	2—2,5 3	440—500 500—750	30—32 31—36	16—20 16—20	18—22 18—22

Таблица 41

Режимы сварки угловых швов из углеродистых и низколегированных сталей в среде углекислого газа

Толщина металла, мм	Диаметр проволоки, мм	Катет шва, мм	Число слоев	Ток, а	Напряжение, в	Скорость сварки м/ч	Расход газа, $cm^3/мин$
1,0	0,6	1,2—2,0	1	60	18	18—20	5—6
1,5—2,0	0,8	1,5—3,0	1	75	18—20	16—18	6—8
1,5—3,0	1,2	2,0—6,0	1	90—130	19—21	14—16	8—10
3,0—4,0	1,6	3,0—4,0	1	150—180	27—29	20—22	12—16
	1,6	5,0—6,0	1	260—280	27—29	20—25	16—17
	2,0	7,0—9,0	1—2	300—350	30—32	25—30	17—18
5 и более	2,0	11,0—14,0	3	300—350	30—32	25—30	17—18
	2,0	13,0—16,0	4—5	300—350	30—32	25—30	17—18

ванны от окружающего воздуха. В зависимости от этого условия определяется и наиболее целесообразное положение мундштука относительно поверхности сварочной ванны (угол наклона, расстояние). Расстояние между мундштуком и изделием при токе 60—150 а и напряжении 22 в обычно равно 7—14 мм, при токе 200—500 а и напряжении 30—32 в — 15—25 мм. Угол наклона электрода к вертикали должен составлять 15—20°.

Перед началом сварки включают подачу газа и регулируют его расход по расходомеру, продувая одновременно шланги и горелку-держатель от воздуха. Вылет электрода в начале сварки устанавливают равным 25—30 мм.

Перемещение электрода должно быть равномерным. В процессе сварки тонкого металла электрод перемещают только поступательно вдоль шва, при сварке более толстого металла концом электрода делают также и поперечные движения (рис. 183, а).

Сварщик может вести электрод слева направо (углом назад) или справа налево (углом вперед), или «на себя» при перпендикулярном расположении электрода по отношению к плоскости шва; возможен также наклон электрода вперед или назад в пределах $5-20^\circ$.

Диаметр сварочной ванны не должен превышать 30 мм. Широкие швы следует сваривать узкими валиками с большой скоростью. Сварка справа налево «углом вперед» уменьшает глубину проплавления основного металла и увеличивает ширину валика. Этот способ предпочтителен для тонкого металла или легированных сталей, склонных к образованию трещин в процессе сварки и остывания.

При сварке угловых швов тавровых соединений угол между электродом и вертикальной стенкой тавра берется равным $25-35^\circ$. Положение держателя и перемещение конца электрода показано на рис. 183, б.

Швы на плоскости, расположенной под углом более 60°

к горизонту, а также вертикальные швы при толщине металла менее 2 мм сваривают сверху вниз при положении электрода «углом назад», чтобы давление газов дуги препятствовало стеканию расплавленного металла. При этом целесообразно применять минимальные напряжения и ток. Металл толщиной более 2 мм можно сваривать вертикальными швами снизу вверх, наклоняя электрод «углом вперед».

Горизонтальные швы сваривают электродом, наклоненным вниз, без поперечных колебаний, при напряжении 17—18 в. Потолочные швы сваривают электродом в положении «углом назад», используя минимальные напряжения и ток, а также несколько увеличивая расход углекислого газа.

Металл толщиной 1,5—3 мм сваривают стыковыми швами «на весу» электродом, находящимся в вертикальном положении, перемещая его по оси шва. Более тонкий металл (0,8—1,2 мм) сварива-

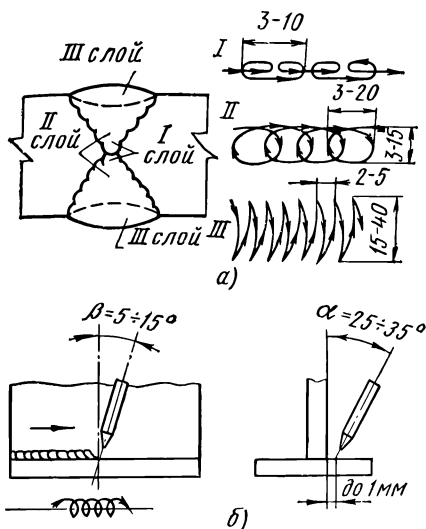


Рис. 183. Перемещение конца проволоки при сварке в углекислом газе: а — перемещение конца проволоки при сварке X-образного шва: I, II, III — первый, второй, третий слой; б — положение держателя и перемещение конца проволоки при сварке угловых швов

ют на медной или остающейся стальной подкладке в нижнем положении, либо в вертикальном положении без подкладки.

В углекислом газе полуавтоматическим способом проволокой 0,8 мм можно сваривать встык металл толщиной 1—15 мм при зазоре до 1,5—2 мм. Для предупреждения протекания металла сварщик должен периодически выключать подачу проволоки, не отводя горелку от ванны; в этом случае наплавленный металл остывает и не протекает через зазор, кроме того, исключается возможность сквозного проплавления основного металла. Так сваривают стыки труб.

Заканчивая сварку, кратер следует заполнить металлом, затем прекратить подачу проволоки и выключить ток, не отводя горелку и не прекращая подачу углекислого газа до затвердения металла ванны. Чтобы не произошло окисление металла, нельзя прекращать сварку, отрывая дугу и отводя держатель.

Особенности сварки различных сталей. Углеродистые и низколегированные конструкционные стали сваривают кремнемарганцевой проволокой Св-08ГС, Св-08Г2С, Св-12ГС. Проволоки Св-08ГС и Св-12ГС содержат недостаточно марганца, вследствие чего происходит выгорание не только марганца, но и кремния, и в первом слое многослойного шва может появиться пористость. Проволокой Св-08ГС и Св-12ГС можно сваривать тонкий металл и изделия небольшого размера с относительно короткими швами. Низколегированные стали, содержащие для повышения коррозионной стойкости хром и никель, сваривают проволокой Св-18ХГСА и Св-10ХГ2С (1% хрома).

Низколегированные стали типа хромансиль толщиной до 4 мм сваривают проволокой Св-18ХСА, Св-18ХМА и Св-10ГСМТ. Для более толстого металла применяют проволоку Св-08ХЗГ2СМ, содержащую до 0,10% углерода, 2—2,5% марганца, 0,45—0,75% кремния, 2,0—3,0% хрома, 0,3—0,5% молибдена и не более чем по 0,03% серы и фосфора.

Низколегированные теплоустойчивые молибденовые и хромомолибденовые стали 12ХМ, 15ХМА, 20ХМ, 20ХМА и др. сваривают проволокой Св-08ХГ2СМА, содержащей до 0,1% углерода, 0,6—0,9% кремния, 1,4—1,8% марганца, 0,8—1,1% хрома, 0,4—0,6% молибдена, не более 0,3% никеля и не более чем по 0,03% серы и фосфора.

Стали, содержащие хром (15ХМА, 20ХМА), сваривают с предварительным подогревом до 250—300°С и после сварки подвергают высокому (при 600—680°С) отпуску. Если теплоустойчивая сталь содержит ванадий (например, сталь 15ХМФ), то применяют проволоку Св-08ХГСМФ с 0,2—0,4% ванадия. Изделия из этой стали после сварки также подвергают термообработке.

При сварке низкоуглеродистых и низколегированных сталей также применяется смесь из углекислого газа и 20—30% кислорода. При использовании такой смеси повышается коэффициент наплавки, уменьшается разбрызгивание, наплавленный металл получается с низким содержанием водорода, уменьшается вероятность образо-

вания трещин при сварке, улучшается формирование шва, повышается производительность на 8—10%.

Например, этот способ используется при сварке стрел экскаваторов из стали 14Х2ГМР проволокой Св-10ХГСН2МЮ Ø 1,6 мм, током 350—370 а, напряжение дуги 28—30 в. Прихватка и сварка корня швов производится проволокой Св-08Г2С Ø 1,6 мм, током 240—260 в, напряжение дуги 26—28 в. Для стыковых швов толщиной 20 мм применяют предварительный подогрев до 100° С.

При сварке низкоуглеродистых сталей ВСт 3 и 09Г2 толщиной от 4 до 20 мм применяют проволоку Св-08Г2С. Снижается содержание кислорода, азота и водорода в металле шва, так как легирующие примеси интенсивно выгорают. Расход защитного газа 8—6 л/мин. Данный способ получил применение также при сварке судостроительных конструкций.

Высоколегированные аустенитные хромоникелевые нержавеющие стали (1Х18Н9Т и др.) сваривают в углекислом газе проволокой Св-06Х19Н9Т и Св-07Х18Н9ТЮ. Металл толщиной до 3 мм сваривают «на весу» или на медной подкладке. Режимы сварки приведены в табл. 42.

Таблица 42

Режимы сварки стали 1Х18Н9Т в углекислом газе

Толщина металла, мм	Диаметр проволоки, мм	Ток, а	Напряжение, в	Скорость сварки, м/ч	Вылет электрода, мм	Расход газа, дм³/мин
1,0	0,5	30—40	17	30—45	6	6
1,5	0,8	40—80	17—18	30—40	6	6—7
2,0	0,8—1,2	100—140	18—20	25—40	6—9	6—8
3,0	1,2	140—160	19—20,5	20—35	9—10	8—9
3,0	1,6	150—170	23—27	20—35	15	9—12

Дефекты стального литья (стали 25Л, 30Л и 35Л) заваривают проволокой 1,6—2 мм при токе 350—420 а, напряжении 28—32 в и расходе газа 15—20 дм³/мин. Сварку проволокой Св-08ГС выполняют узкими валиками по способу «горки» с длиной участков 150—200 мм.

Углекислый газ тяжелее воздуха и скапливается вблизи пола, поэтому необходима хорошая вентиляция рабочих помещений цеха и особенно — внутреннего пространства сосудов.

Сварка электрозаклепками. Данный способ сварки в углекислом газе находит широкое применение. Он используется при приварке ребер жесткости вертикальных стенок балок и других изделий. Сварка ведется без предварительного прокола отверстия в верхнем листе. Шаг заклепок: для работающих 50—100 мм, для связующих 80—150 мм. Ось заклепки располагают на 40—50 мм от края листа. Зазор между свариваемыми листами должен быть не более 1,6 мм. Для сварки используют проволоку Св-08Г2С (ГОСТ 2246—70), углекислый газ — чистотой не ниже 98,5% СО₂ (ГОСТ 8050—64), в качестве источника питания — преобразователи ПСГ-500, ПСО-500,

Режимы сварки электрозаклепками в углекислом газе

Толщина свариваемых листов, мм	Ток, а	Напряжение дуги, в	Время сварки, сек	Диаметр проволоки, мм	Скорость по- дачи прово- локи, м/мин	Расход углекисло- го газа, дм³/мин
5+5	490—520	38—40	3,5	8	2	10—15
6+6	490—520	38—40	4,5	8	2	10—15
5+S*	490—520	38—40	3,5	8	2	10—15
5+S**	490—540	38—40	4,5	8	2	10—15

* S ≥ 6 мм.

** S₁ ≥ 7 мм.

ПС-500 и др., или выпрямители, в качестве держателя — электрозаклепочник ЭЗГ-4 или УСА-2. Может применяться полуавтомат ПША-10 с встроенным механическим (РВЧ-1) или электронным (РВ-1) реле времени. Шкаф управления должен иметь стабилизатор напряжения С-0,5, обеспечивающий устойчивость режима сварки.

Сварка выполняется в нижнем положении, при наклоне свариваемого металла 10—15°. Для разметки заклепок рекомендуется пользоваться шаблоном. Режимы сварки даны в табл. 43.

Применяя специальные держатели типа пистолета, можно полуавтоматическим способом в углекислом газе приваривать шпильки в конструкциях корпусов судов, котлов, трубопроводов и других аппаратов и изделий. Место приварки защищено углекислым газом, а расплавление металла осуществляется дугой, возникающей между шпилькой и металлом, к которому данная шпилька приваривается (рис. 184).

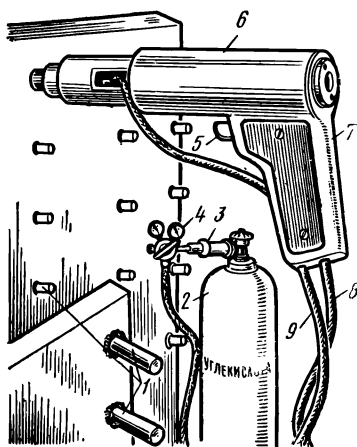


Рис. 184. Приварка шпилек в углекислом газе:

1 — шпильки, 2 — баллон с углекислым газом, 3 — осушитель, 4 — редуктор, 5 — рычаг включения тока и подачи газа, 6 — пистолет-держатель, 7 — рукоятка, 8 — шланг для газа, 9 — сварочный провод

§ 5. СВАРКА ПОРОШКОВОЙ И ГОЛОЙ ПРОВОЛОКОЙ

Полуавтоматическая сварка порошковой и голой проволокой имеет много общего с полуавтоматической сваркой под флюсом и в углекислом газе.

Сварка порошковой проволокой. Сварка порошковой проволокой выполняется полуавтоматами ПДШМ-500, ПШ-5У с использованием шлангового держателя типа ДШ-5, а также полуавтоматами А-765, А-1035М, А-1197 (ПС-5) и др.

Низкоуглеродистые стали сваривают постоянным током при обратной полярности. Для сварки во всех пространственных положениях применяют проволоку диаметром 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0 мм. Проволоку диаметром более 2 мм используют только для сварки в нижнем или слегка наклонном положениях.

Для сварки низколегированных сталей применяется порошковая проволока ПП-АН4 (ВТУ ИЭС 29—66) и ПП-АН8; сварка производится с защитой углекислым газом, наплавленный металл соответствует получаемому при электродах типу Э50А по ГОСТ 9467—60.

Котельные малоуглеродистые стали 15К сваривают порошковой проволокой ПП1-ДСК-346-1 диаметром 2—2,1 мм. Сварка производится в нижнем положении с наклоном шва до 10° в направлении снизу вверх. Режимы сварки малоуглеродистой стали 15К следующие:

Толщина свариваемого металла, мм .	4	10	50
Число проходов	4	2—3	5—5
			(шов двусторонний Х-образный)
Ток, а	180—200	450—500	600
Скорость подачи проволоки, м/ч . .	138	475	500

При сварке открытой дугой (без газовой защиты) порошковой проволокой шов часто получается пористым. Беспористый наплавленный металл образуется в сравнительно ограниченных пределах режима сварки.

Сварка голой легированной проволокой без защитной среды. Данный способ разработан Институтом электросварки им. Е. О. Патона и предназначен для механизированной сварки швов в нижнем, вертикальном и горизонтальном положениях, а также в труднодоступных местах. При обычной сварке стали открытой дугой кремний и марганец выгорают, а наплавленный металл обогащается кислородом и азотом. В данном же способе сварки состав проволоки подобран таким образом, чтобы, во-первых, компенсировать выгорание кремния и марганца в наплавленном металле путем повышения их содержания в проволоке, во-вторых, в проволоку вводят дополнительно алюминий, титан и редкие и редкоземельные элементы — церий, цирконий. Можно также наносить тонкое ионизирующее покрытие, содержащее соли цезия, натрия, калия и др. Присутствие перечисленных элементов в проволоке приводит к тому, что кислород в наплавленном металле переходит в шлаковые соединения округлой формы (силикаты и окислы марганца), азот же не может образовывать нитриды, а переходит в твердый раствор. Наличие в металле шва кислорода и азота в таких формах не

вызывает сколь-либо существенного снижения пластичности и вязкости металла шва.

Введение в проволоку незначительных количеств (0,3—0,45%) церия и циркония значительно повышает ударную вязкость литого металла, повышает его пластичность, обеспечивает высокую стабильность процесса сварки, уменьшает разбрызгивание и потери металла. Данный способ позволяет также вести сварку в углекислом газе на прямой полярности (вместо обычно применяемой обратной полярности), что на 30% повышает коэффициент наплавки и производительность процесса. Уменьшение глубины провара при сварке на прямой полярности при одновременном увеличении коэффициента наплавки позволяет резко повысить производительность при сварке тонкого металла.

Для данного способа разработаны проволоки марок ЭП245 и ЭП439, Св-20ГСТЮА и Св-15ГСТЮЦА (ГОСТ 2246—70). Проволока 20ГСТЮА содержит (%): углерода 0,17—0,23; кремния 0,60—0,90; марганца 0,90—1,20; хрома не более 0,30; никеля не более 0,40; титана 0,10—0,20; алюминия 0,20—0,50; церия 0,30—0,45; серы и фосфора не более 0,025 каждого. Проволока Св-15ГСТЮЦА содержит (%): углерода 0,12—0,18; кремния 0,45—0,85; марганца 0,60—1,00; титана 0,05—0,20; циркония 0,05—0,15; церия не менее 0,4; содержание алюминия, хрома, никеля, серы и фосфора то же, что и в проволоке Св-20ГСТЮА. Качество металла шва отвечает требованиям для электродов типа Э42 и Э50. Режимы сварки применяют следующие:

Диаметр проволоки, мм	Положение шва	Толщина металла, мм	Ток, а	Напряжение дуги, в
1	Нижнее	2—3	80—120	20—22
1,3	Нижнее, вертикальное и горизонтальное	3—6	120—150	20—22
1,6	Нижнее	7—16	140—200	22—25
1,6	Вертикальное и горизонтальное	7—16	140—160	20—22
2,0	Нижнее	10—16	160—200	25—28

Для питания током используются любые источники питания с падающей характеристикой, а для сварки — любые виды механизмов подачи и держатели для полуавтоматической сварки. Проволока ЭП-439 допускает сварку металла, покрытого ржавчиной, окалинной и следами масла.

Глава XXIII

СВАРКА В ИНЕРТНЫХ ГАЗАХ

§ 1. СУЩНОСТЬ СПОСОБА СВАРКИ В ИНЕРТНЫХ ГАЗАХ

В инертных газах — аргоне, гелии и их смесях сваривают нержавеющие стали, алюминий и его сплавы, магниевые сплавы, жароупорные и конструкционные сплавы, титан, никель, медь, латуни, кремнистые бронзы и др. Данный способ может применяться при сварке разнородных металлов и сплавов, например, хромансиля с нержавеющей сталью или жароупорной сталью, меди с латунью или сталью; он используется для наплавки одних металлов на другие (меди на нержавеющую сталь и пр.).

Наибольшее применение получили два способа сварки в инертных газах: неплавящимся электродом (в аргоне и гелии) и плавящимся электродом (в аргоне). Инертные газы не взаимодействуют с расплавленным металлом и его окислами; они только обеспечивают защиту дуги и расплавленного металла от соприкосновения с кислородом и азотом окружающего воздуха, создавая вокруг дуги и сварочной ванны среду из инертного газа.

Сварка в инертных газах имеет ряд преимуществ перед сваркой покрытыми электродами и сваркой под флюсом; основные из них: обеспечивается надежная защита расплавленного металла от действия кислорода и азота окружающего воздуха; дуга имеет высокую тепловую мощность, что повышает скорость и производительность сварки; возможность осуществления полной механизации и автоматизации процесса сварки; относительная простота техники сварки, позволяющая достаточно быстро обучать этому способу рабочих-сварщиков; возможность сварки многих трудносваривающихся металлов и сплавов, в том числе разнородных.

Способ сварки в инертных газах не заменяет другие способы сварки. Он применяется в тех случаях, когда сварка другими методами дает худшие результаты и не может быть использована.

При сварке в инертных газах применяется дуга, горящая между неплавящимся вольфрамовым электродом и свариваемым металлом.

§ 2. ПРИМЕНЯЕМЫЕ ГАЗЫ И ЭЛЕКТРОДЫ

Защитные газы. Требования к чистоте аргона и гелия определяются свойствами свариваемых металлов. Промышленностью выпускается для сварки аргон газообразный чистый по ГОСТ 10157—62 трех марок:

Марки А — для сварки и плавки активных и редких металлов (титана, циркония, ниобия) и сплавов на их основе, а также для сварки особо ответственных изделий из других материалов на заключительных этапах изготовления.

Марки Б — для плавки и сварки плавящимся и неплавящимся вольфрамовым электродом сплавов на основе алюминия и магния, а также других сплавов, чувствительных к примесям газов, растворимых в металле.

Марки В — для сварки и наплавки нержавеющей, хромоникелевых, жаропрочных сплавов, легированных сталей различных марок и чистого алюминия.

Требования к аргону приведены в табл. 44.

Таблица 44

Требования к аргону газообразному чистому (ГОСТ 10157—62)

Показатели	Нормы для марок		
	А	Б	В
Содержание аргона, %, не менее . .	99,99	99,96	99,90
Содержание кислорода, %, не более .	0,003	0,005	0,005
Содержание азота, %, не более . . .	0,01	0,04	0,10
Содержание влаги при давлении 760 мм рт. ст., г/м ³ , не более	0,03	0,03	0,03

ГОСТ 10157—62 разрешает также по согласованным техническим условиям поставку газообразного аргона в смеси с кислородом, водородом, гелием и азотом.

Гелий выпускается по МРТУ 51-04-23—64 двух марок:

Гелий технический I чистотой 99,6—99,7%, содержащий азота . . . 0,3—0,4 %
Гелий технический II чистотой 98,5—99,5 %, содержащий азота . . 0,5—1,5 %

Гелий и аргон поставляются в баллонах под давлением 150 ± 5 кгс/см². Баллоны для аргона окрашены в серый цвет. На верхней части баллона нанесена зеленая полоса и сделана черная надпись «Аргон чистый». Баллоны для гелия окрашивают в коричневый цвет; баллоны с гелием I надписи не имеют, с гелием II — имеют белую надпись «Гелий».

Если аргон содержит повышенное количество углекислого газа, влаги и кислорода, его можно подвергать дополнительной очистке, пропуская перед поступлением в горелку через очистительные колонки, заполненные 30%-ным раствором едкого калия (для очистки от СО₂), и кусками едкого калия (для осушки от влаги). Затем аргон пропускают через электропечь с медной стружкой, которая при температуре 650—700° С удерживает кислород. Расход аргона при сварке зависит от диаметра электрода и обычно составляет от 120 до 600 дм³/ч. При нормировании общего расхода аргона необходимо учитывать дополнительный расход (15%) на продувку газопроводов перед началом сварки, сварку контрольных образцов, подварку дефектов и пр. На прихватку расходуется около 20%, на защиту обратной стороны швов — 50% расхода аргона на сварку. Расход гелия берут на 30—40% больше расхода аргона.

Электроды. В качестве неплавящихся электродов используют вольфрамовые, реже угольные или графитированные. Температура плавления вольфрама $3350\text{—}3600^\circ\text{C}$ и он достаточно стоек при использовании в качестве электрода. Расход вольфрамовых электродов при токе 300 а равен примерно $0,5\text{ г/м шва}$. Разрушение вольфрамового электрода, когда он является анодом, происходит вследствие плавления, а когда он служит катодом — вследствие катодного распыления. Допускаемые плотности тока для вольфрамовых электродов при постоянном токе на прямой полярности равны $20\text{—}30\text{ а/мм}^2$. При переменном токе они должны быть примерно в 2 раза ниже, а при сварке на обратной полярности — в 3—8 раз ниже, чем при прямой полярности.

Применяются вольфрамовые прутки диаметром от 1 до 8 мм по ТУ ВМ 2-529—57. Более стойки прутки из вольфрама с добавкой тория (марки ВТ-5, ВТ-10 и ВТ-15 по ТУ МРТП НИО-021-612) или лантана (марки ВЛ-2 и ВЛ-10 по СТУ-45-ЦМ-1150—63). Лантанированные электроды допускают несколько пониженные режимы и меньше выделяют вредностей, чем торированные.

Торированные электроды целесообразно применять при автоматической сварке на постоянном токе прямой полярности, так как они более тугоплавки, допускают повышенные режимы сварки, сохраняют постоянную форму конца электрода, что особенно важно при механизированной сварке тонкого металла, обладают повышенной электронной эмиссией, что обеспечивает возбуждение дуги при меньшем напряжении холостого тока источника питания. При сварке на переменном токе торированные электроды особых преимуществ не имеют.

Угольные или графитированные электроды (см. гл. V, § 5) можно применять только при сварке нержавеющей и жароупорных сталей и нельзя использовать при сварке легких сплавов (алюминиевых и магниевых).

§ 3. АППАРАТУРА И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ РУЧНОЙ СВАРКИ НЕПЛАВЯЩИМСЯ ВОЛЬФРАМОВЫМ ЭЛЕКТРОДОМ

Для сварки применяют постоянный или переменный ток. При постоянном токе используют прямую полярность, так как при обратной полярности вольфрамовый электрод быстро расходуются и выходит из строя при нормальных режимах сварки. Поэтому для обратной полярности приходится использовать сильно пониженные режимы сварки, что в большинстве случаев нецелесообразно. Род тока выбирается по данным табл. 45.

Принципиальные схемы сварки на постоянном и переменном токе в инертных газах показаны на рис. 185. Балластный реостат служит для получения (в случае необходимости) малых токов, на которые не рассчитаны типовые сварочные преобразователи. При сварке на переменном токе балластный реостат служит для устранения или снижения составляющей постоянного тока (см. ниже). При использовании специально предназначенных для сварки в

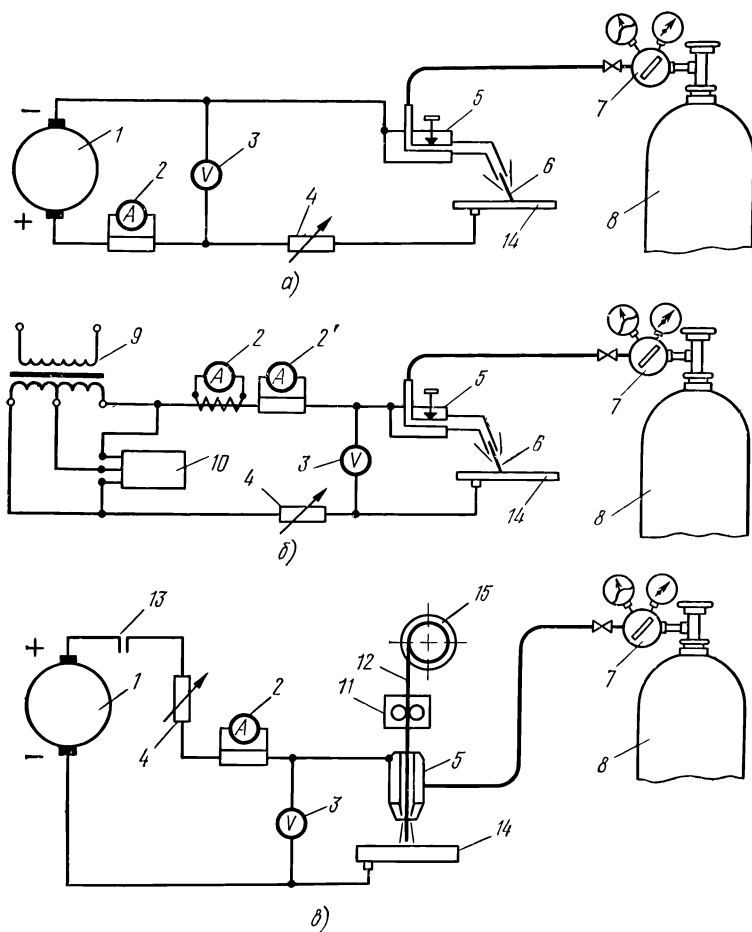


Рис. 185. Схемы сварки в инертных газах:

а — неплавящимся электродом на постоянном токе прямой полярности, *б* — то же, на переменном токе, *в* — плавящимся электродом на постоянном токе обратной полярности, 1 — сварочный преобразователь, 2 — амперметр переменного тока, 2' — то же, постоянного тока, 3 — вольтметр, 4 — балластный реостат, 5 — горелка, 6 — вольфрамовый электрод, 7 — редуктор-расходомер для инертного газа, 8 — баллон с аргонem (гелием), 9 — сварочный трансформатор, 10 — осциллятор, 11 — механизм протягивания проволоки, 12 — проволока (плавящийся электрод), 13 — контактор, 14 — свариваемый металл, 15 — катушка с проволокой

Род тока при аргоно-дуговой сварке вольфрамовым электродом

Основной металл	Переменный ток	Постоянный ток	
		прямая полярность	обратная полярность
Низкоуглеродистая сталь	+	+	—
Низко- и среднелегированные стали . .	+	+	—
Нержавеющие хромоникелевые стали . .	+	+	—
Жаропрочные хромоникелевые стали . .	+	+	—
Алюминий и его сплавы	+	—	—
Магниеые сплавы	+	—	—
Медь и медные сплавы	+	+	—
Титан и титановые сплавы	—	+	—
Цирконий, молибден, тантал и другие активные металлы	—	+	—
Серебро	+	+	—

Знаком «+» отмечен применяемый ток.

инертных газах источников питания (выпрямители ВСКГ-30, ВД-101, ВД-301 и др.) балластные реостаты не применяются.

На рис. 186 изображен сварочный пост для ручной аргоно-дуговой сварки вольфрамовым электродом на постоянном токе.

Для ручной и автоматической аргоно-дуговой сварки неплавящимся электродом на постоянном токе изделий из нержавеющей

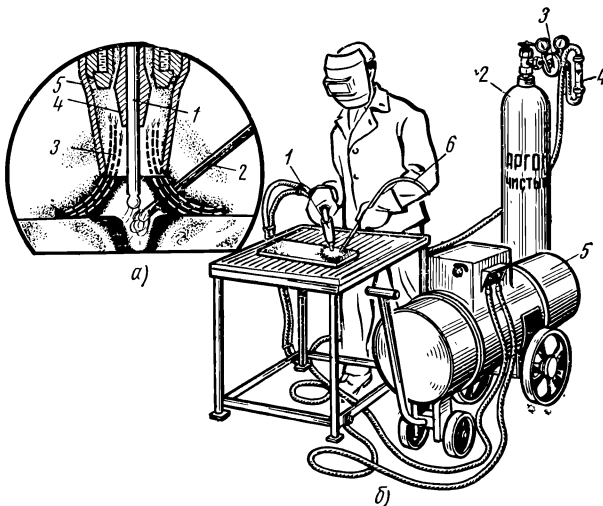


Рис. 186. Сварочный пост для сварки на постоянном токе вольфрамовым электродом:

а — схема устройства наконечника: 1 — вольфрамовый электрод, 2 — присадочный пруток, 3 — струя аргона, 4 — токоподводящий мундштук (цанга), 5 — наружный (газовый) мундштук; *б* — сварочный пост: 1 — горелка, 2 — баллон с аргоном, 3 — редуктор, 4 — ротаметр, 5 — сварочный преобразователь, 6 — присадочный пруток

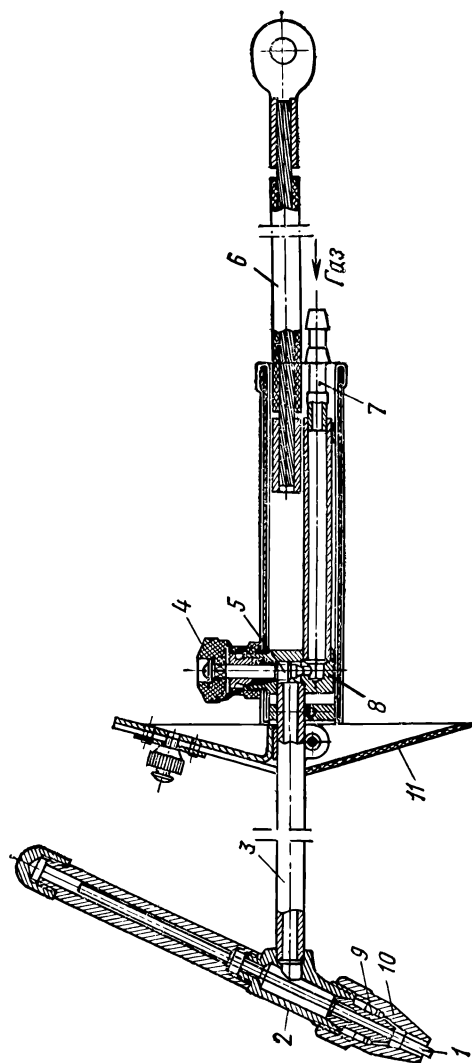


Рис. 187. Горелка для ручной аргоно-дуговой сварки вольфрамовым электродом

сталей, алюминия, меди и цветных сплавов малых толщин (0,2—2,5 мм) заводом «Электрик» выпускается установка типа УДГ-101. Технические данные установки следующие: первичное напряжение 380 или 220 в; вторичное напряжение холостого хода 65 в; вторичное напряжение под нагрузкой 12 в; сварочный ток при ПР=60%—50 а; максимальный сварочный ток при ПР=25%—80 а; пределы регулирования тока 2—80 а; вес 310 кг.

Для сварки неплавящимся вольфрамом электродом на переменном токе алюминия и его сплавов предназначены установки УДАР-300 и УДАР-500; в качестве источника питания для них служат сварочные трансформаторы СТЭ-24 и СТЭ-34 с дросселем насыщения ДН.

Горелки (электрододержатели) (рис. 187) для аргоно-дуговой сварки одновременно подводят к электроду ток и струю аргона. Горелка состоит из корпуса 8 с вентилем 5, трубки 3, сопла 10 и головки 2. Аргон поступает по шлангу, надеваемому на ниппель 7, и через вентиль 5 идет по трубке в головку. Выходя через сопло 10, аргон обтекает конец электрода 1, закрепленного в цанге 9. Горелка имеет сменные цанги для крепления электродов диаметром 2,3 и 4 мм. Ток подводится по гибкому кабелю 6 и поступает к электроду через зажимы цанги 9. Расход аргона регулируется вентилем 5, имеющим маховичок 4. Щиток 11 из листовой фибры служит для защиты руки сварщика от тепла дуги.

Для достаточной защиты дуги и сварочной ванны струей аргона должно быть обеспечено соблюдение следующих соотношений диаметров электрода и отверстия сопла:

Диаметр электрода, мм	1,5—2	2,5—3	4	6
Диаметр выходного отверстия сопла, мм	5—7	7—9	9—12	12—14
Расход аргона, $\text{дм}^3/\text{мин}$	2—3	4—5	6—8	10—12

Применяют горелки ГРАД-200, рассчитанные на ток силой 250 а и диаметры электрода 2÷4 мм, ГРАД-400— на 400 а и диаметр электрода 3÷5 мм и ГРАД-3 — на 450 а, диаметры электрода 1,5; 2,2; 3; 4 и 6 мм.

Для токов более 200 а используют горелки с водяным охлаждением: АР-10, рассчитанные на 200 и 400 а, АР-7Б — на 450 а и АР-9 — на 350 а.

Для сварки цветных металлов и легированных сталей толщиной до 2,5 мм, током 50—150 а, вольфрамовым электродом диаметром 1,5; 2 и 3 мм применяются облегченные электрододержатели ЭЗР-3-66 весом 2,9 кг (с кабелем) конструкции ВНИИАвтогенмаша (рис. 188).

Корпус электрододержателя изолирован жаростойкой пластмассой НП-2. Наконечники изготовлены из прозрачного кристаллокорунда или кварцевого стекла, что облегчает ведение сварки. Рукоятка выполнена из карболита К-17, пригодного для высококачественной изоляции, необходимой при пользовании осциллятором при сварке. Охлаждение — естественное воздушное.

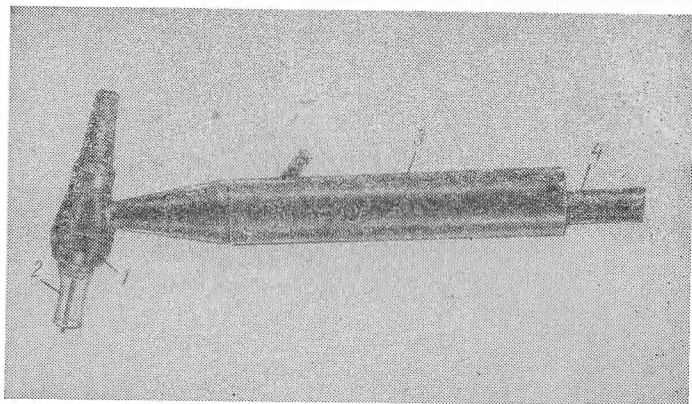


Рис. 188. Электродержатель ЭЗР-3-66 для аргоно-дуговой сварки:

1 — корпус, 2 — сменный наконечник, 3 — рукоятка с устройством включения подачи газа, 4 — газотокосподводящий кабель

§ 4. АППАРАТУРА И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКИ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ

Для полуавтоматической сварки в среде аргона и гелия, алюминия, магния и их сплавов, нержавеющей сталей плавящимся электродом применяют специальные установки. По принципу действия они аналогичны тем, которые используются для полуавтоматической сварки в углекислом газе. На рис. 189 показана сварка алюминиевого сосуда плавящимся электродом из алюминиевой проволоки полуавтоматом ПШПА-10. Сварка выполняется горелкой-держателем 5, снабженной малогабаритным электродвигателем, который приводит в движение механизм подачи проволоки из катушки 4. Так как проволока из алюминия мягкая, то в данном случае используется способ «протягивания» ее через горелку в отличие от установки для сварки стали под флюсом и в углекислом газе, где более упругая стальная проволока подается в держатель механизмом подачи по способу «толкания».

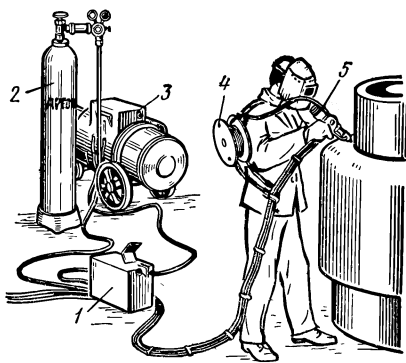


Рис. 189. Сварка алюминиевого сосуда полуавтоматом ПШПА-10:

1 — переносный шкаф управления, 2 — баллон с аргоном, 3 — сварочный преобразователь, 4 — катушка с проволокой, 5 — горелка-держатель

Схема сварочной горелки и шкафа управления установки ПШПА-10 показана на рис. 190. Технические данные установок

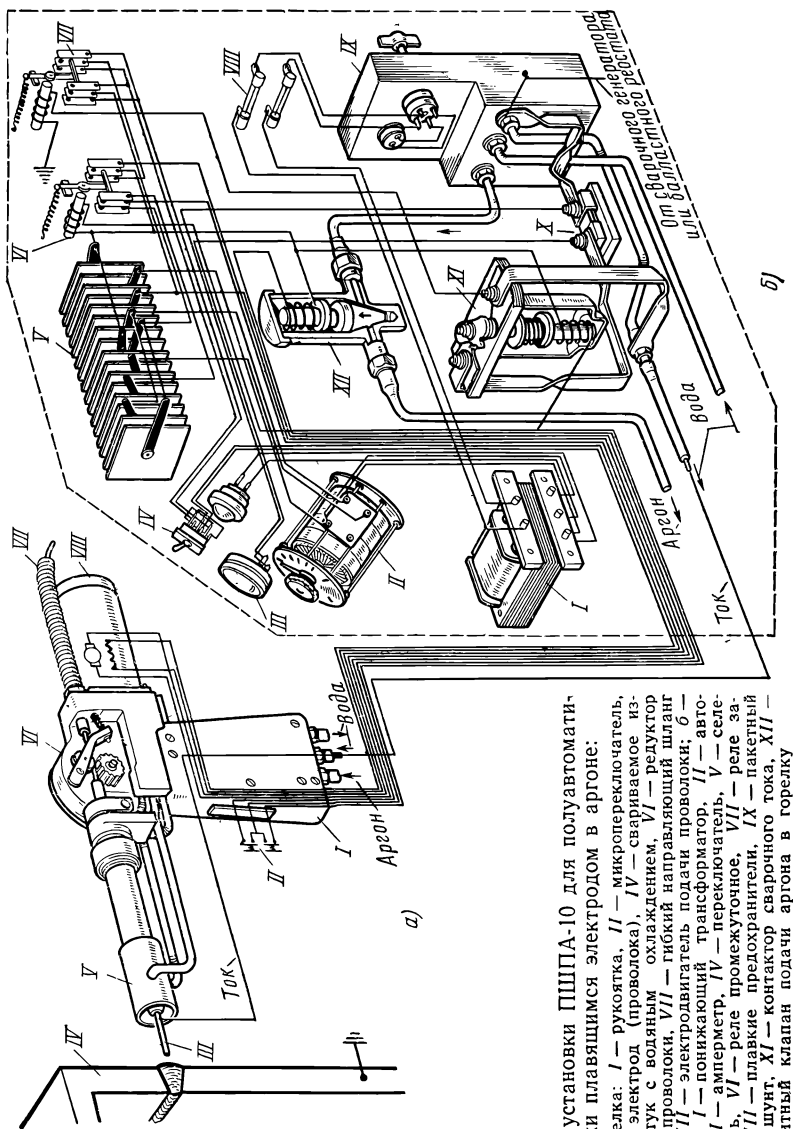


Рис. 190. Схема установки ПШПА-10 для полуавтоматической сварки плавящимся электродом в аргоне:

а — сварочная горелка: *I* — рукоятка, *II* — микропереключатель, *III* — плавящийся электрод (проволока), *IV* — свариваемое изделие, *V* — мундштук с водяным охлаждением, *VI* — редуктор механизма подачи проволоки, *VII* — гибкий направляющий шланг для проволоки, *VIII* — электропроводитель подачи проволоки; *б* — шкаф управления: *I* — понижающий трансформатор, *II* — автоматный выпрямитель, *III* — амперметр, *IV* — переключатель, *V* — селективный дуги, *VII* — реле промежуточное, *VIII* — пакетный выключатель, *X* — шунт, *XI* — контактор сварочного тока, *XII* — электромагнитный клапан подачи аргона в горелку

для полуавтоматической сварки в аргоне плавящимся электродом приведены в табл. 46.

Таблица 46

Технические данные полуавтоматов для сварки постоянным током плавящимся электродом в аргоне

Тип полуавтомата	Номинальный ток, а	Диаметр проволоки, мм	Скорость подачи проволоки, м/мин	Напряжение сети, в	Расход аргона, дм ³ /ч
ПДПГ-300	500	0,8—2,0	1,5—16	220/380	600—1500
ПДША-500*	500	1,5—2,5	—	220/380	300—1000
ПШПА-10	300	1,0—2,0	2,5—10,8	220/380	300—600
ПШПА-11	300	1,6—2,5	1,7—11,7	220/380	300—800

* Скорость подачи проволоки регулируется автоматически, в зависимости от напряжения дуги.

В качестве источников питания при сварке плавящимся электродом применяют сварочные преобразователи и выпрямители с жесткой или возрастающей внешней характеристикой, рассчитанные на соответствующий номинальный сварочный ток.

Существуют также конструкции горелок типа «пистолет» для сварки точками плавящимся электродом в аргоне (алюминиевых сплавов, нержавеющей стали и других металлов), а также для приварки шпилек.

§ 5. ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ

Сварка тонколистовой нержавеющей и жаропрочной аустенитной стали. Типы соединений, применяемых при сварке тонколистовой стали, показаны на рис. 19Г. Конструктивные элементы швов предусматриваются ГОСТ 14771—69 «Швы сварных соединений. Электродуговая сварка в защитных газах». Перед сваркой поверхность кромок должна зачищаться до блеска стальной щеткой, а затем промываться растворителем (дихлорэтаном, ацетоном, авиабензином) для удаления жира, следы которого вызывают пористость шва и снижают устойчивость дуги.

Перед сваркой детали соединяют прихватками через 50—75 мм. При тонком металле прихватки накладывают с обратной стороны шва. При ручной и механизированной сварке нержавеющей стали обычно применяют вольфрамовые электроды, допускающие повышенную плотность тока, вследствие чего увеличивается производительность сварки. При сварке плавящимся электродом используется проволока того же состава, что и свариваемый металл.

Сварку ведут справа налево. Дуга возбуждается при касании электродом графитовой или медной пластинки, после чего электрод отводят, поддерживая длину дуги 1,5—2 мм и переводя ее на свариваемый металл. Угол между присадочным прутом и свариваемым металлом не должен превышать 15—20°; угол между прутом

и электродом — 90° ; угол наклона вольфрамового электрода к металлу — $75\text{--}80^\circ$. Пруток лучше укладывать на линию шва. В этом случае струя аргона надежнее защищает плавящийся металл прутка и изделия. Присадочный металл вводится в ванну равномерно и перемещается по шву впереди горелки. Поперечные движения прутком и электродом делать нельзя, так как при этом в зону сварки может попасть кислород из воздуха и окислить металл шва.

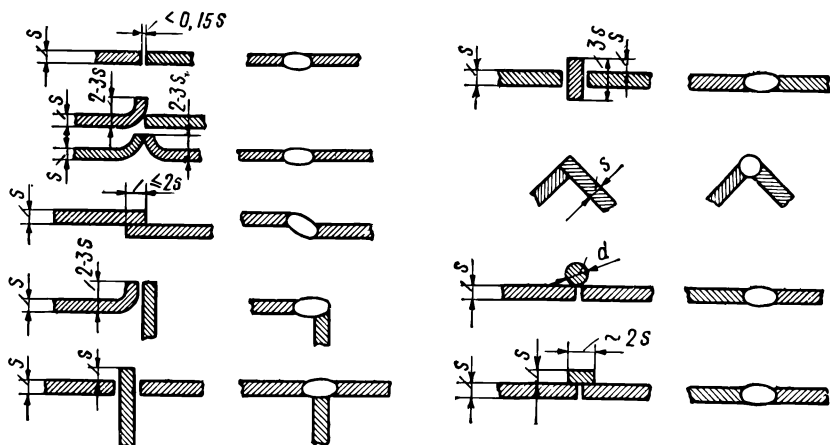


Рис. 191. Типы соединений, применяемых при аргоно-дуговой сварке тонколистового металла:

d — диаметр проволоки, S — толщина листа

При сварке без присадочного металла электрод держат под углом 90° к листу. В целях уменьшения расхода вольфрамовых электродов нельзя прекращать подачу аргона сразу после окончания сварки; это нужно делать спустя $1\text{--}1,5$ мин, когда конец электрода уже охладится.

Ручная сварка нержавеющей и жаропрочных аустенитных сталей вольфрамовым электродом в среде аргона производится на постоянном токе прямой полярности; сварка может производиться и на переменном токе с использованием осциллятора. Сталь толщиной более 3 мм сваривают плавящимся электродом из проволоки нержавеющей стали на постоянном токе обратной полярности.

Оrientировочные* режимы ручной сварки вольфрамовым электродом тонкой нержавеющей и жаропрочной стали в аргоне приведены в табл. 47. Для сварки швов на вертикальной плоскости ток снижают на $10\text{--}15\%$, для потолочных швов — на 20% против величин, указанных в табл. 47.

* Фактические режимы следует подбирать в каждом отдельном случае опытным путем в зависимости от формы соединений, размеров изделий и условий сварки (на весу, на подкладках, в приспособлениях и пр.).

**Режимы ручной сварки нержавеющей и жаропрочной
аустенитной стали в аргоне**

Вид соединения	Толщина свариваемого металла, мм	Род тока	Ток, а	Напряже- ние, в	Скорость сварки, см/мин	Расход арга- на, см ³ /мин
Встык	1,0	Переменный	35—75	12—16	15—33	2,5—3,0
»	1,0	Постоянный прямой полярнос- ти	30—60	11—15	12—28	2,5—3,0
»	1,5	Переменный	45—85	12—16	14—31	2,5—3,0
»	1,5	Постоянный прямой поляр- ности	40—75	11—15	9—19	2,5—3,0
»	4,0	То же	85—130	12—15	—	10,0
Внахлестку	1,0	Переменный	40—60	12—16	10—13	2,5—3,0
Втавр	1,5	»	40—60	14—17	7,2—8,7	2,0—2,5
Угловое	1,5	Постоянный	45	11—15	32	2,5—3,0

Примечание. Для толщин 1—1,5 мм диаметр вольфрамового электрода 2 мм, диаметр присадочной проволоки 1,6 мм; для толщин 4 мм диаметр электрода 4 мм, диаметр присадочной проволоки 2,5—3 мм.

Обратную сторону шва защищают от воздействия воздуха медными и стальными подкладками. Во время сварки струю аргона подводят под нижнюю поверхность кромок свариваемых листов, для чего в подкладке вдоль линии шва выбирается канавка.

Сварка легких сплавов неплавящимся вольфрамовым электродом. При сварке легких сплавов небольшой толщины применяют такие же типы соединений, как и при сварке тонколистовой нержавеющей стали. Типы и конструктивные элементы сварных соединений, применяемых при дуговой сварке в аргоне алюминия и алюминиевых деформируемых термически неупрочняемых сплавов при толщине кромок свариваемых деталей от 0,8 до 60 мм включительно, регламентированы ГОСТ 14806—69.

Перед сваркой кромок листов на ширине 25—30 мм очищают шабером или щеткой из тонкой проволоки. Кромки деталей из алюминиевых сплавов можно очищать травлением в растворе хромовой кислоты. Перед травлением кромки обезжиривают растворителем или теплым раствором каустика. Затем промывают горячей водой и тщательно протирают. Сварка должна производиться не позже чем через 8 ч после травления, иначе поверхность листов вновь покроется слоем окислов. При ручной сварке деталей толщиной до 5 мм скос кромок не производится. При толщинах от 5 до 50 мм применяется односторонний скос (прямолинейный или криволинейный) одной или двух кромок. При толщинах от 12 до 40 мм делают прямолинейный или криволинейный двусторонний скос двух кромок. Для автоматической сварки пределы толщин для раз-

личных видов подготовки кромок несколько иные, чем для ручной, и указаны в ГОСТ 14806—69.

При сварке алюминиевых и магниевых сплавов особенно вредной является примесь влаги в аргоне, которую удаляют тщательной осушкой газа и баллонов перед наполнением их аргоном.

Присадочным материалом служит проволока из того же сплава, что и свариваемый. Для сварки термообработываемых алюминиевых сплавов используют алюминиевую проволоку Св-АК-5, содержащую до 5% кремния.

Сварку выполняют в приспособлении, зажимающем свариваемые листы в нужном положении. Листы укладывают на подкладку из нержавеющей стали, имеющую вдоль линии шва канавку, обеспечивающую формирование обратной стороны шва.

Присадочный прутки во время сварки держат под углом 10—30°, а электрод — 70—80° к плоскости сварки. Поперечные колебания электродом и присадочным прутком не производят. Сварка ведется с максимально возможной скоростью, при которой происходит нормальное сплавление присадочного металла с кромками. При сварке легких сплавов вольфрамовым электродом применяют переменный ток и осциллятор. Режимы сварки алюминиевых сплавов на переменном токе приведены в табл. 48.

В целях получения плотных швов, свободных от пор и окисных пленок, И. М. Терентьев, Ф. Е. Баруткин и Г. С. Коновалов рекомендуют применять повышенные режимы сварки вольфрамовым электродом алюминиевых сплавов АМг-6, АМц и ВАД-1, а именно:

Толщина металла, мм	2,5	3	4	5	6	7
Скорость сварки, м/ч	32	32	31	30	30	30
Погонная энергия сварки, кал/см	500—570	545—600	690—760	780—800	820—880	860—920
Ширина шва, мм, не более	10	10	11	12	12,5	14

При этих режимах проникающее и возмущающее действие дуги обеспечивает более полное разрушение окисной пленки. Расход аргона для всех толщин 12 л/мин, ток переменный.

Сварка легких сплавов плавящимся электродом. Сварку плавящимся электродом из проволоки того же сплава, что и свариваемый, ведут на постоянном токе обратной полярности. Плавящимся электродом в аргоне можно выполнять многослойную сварку изделия из алюминия и его сплавов толщиной до 100 мм а также заваривать дефекты литья из алюминия, магния и их сплавов.

Для алюминиевых сплавов АМг-5В и АМг-6 толщиной от 20 до 100 мм В. И. Дятлов и Ю. А. Деминский разработали режим сварки в аргоне дугой большой мощности и проволокой большого диаметра (4 мм). В этом случае обеспечивается струйный перенос металла в дуге, являющийся оптимальным.

Импульсно-дуговая сварка. Импульсно-дуговая сварка алюминиевых сплавов в аргоне дает более плотные швы с меньшим количеством включений окислов и повышает производительность и увеличивает глубину проплавления по сравнению с обычным спо-

Режимы сварки алюминиевых сплавов вольфрамовым электродом на переменном токе

Марка сплавов	Толщина металла, мм	Диаметр вольфрамового электрода, мм	Встык без присадочной проволоки				Встык с присадочной проволокой			
			Аргон		Гелий		Аргон		Гелий	
			Ток, а	Расход газа, $\text{дм}^3/\text{мин}$	Ток, а	Расход газа, $\text{дм}^3/\text{мин}$	Ток, а	Расход газа, $\text{дм}^3/\text{мин}$	Ток, а	Расход газа, $\text{дм}^3/\text{мин}$
АД	1	1,5—2	50—65	4—5	40—45	5—7	65—85	4—5	45—55	5—7
АД	1,5	2	70—90	7—8	50—60	8—10	80—100	7—8	55—65	8—10
АМг	2	3	90—110	7—8	60—70	8—10	90—110	7—8	60—70	8—10
АМц	3	3—4	110—120	8—9	70—80	10—12	100—120	8—9	70—80	10—12
АМг6Т	1	2	—	—	—	—	65—90	5—6	55—65	6—8
АМг6Т	1,5	3	—	—	—	—	70—90	7—8	55—70	8—10
АМг6Т	2	2—3	—	—	—	—	90—120	7—8	60—90	8—10
АМг6Т	3	4	—	—	—	—	170—200	8—9	100—150	10—12

Примечание. Напряжение дуги при сварке: в аргоне 10—15 в, в гелий 12—16 в. Длина дуги 1,5—3 мм.

соединением сварки этих сплавов в аргоне плавящимся электродом. Применяют постоянный ток обратной полярности. Сварку металла толщиной до 8 мм производят в нижнем положении. Возможна сварка металла толщиной до 14 мм в вертикальном и потолочном положении.

Былет электрода для проволоки ϕ 1,6 мм берется 10—12 мм, для ϕ 2 мм — 12—15 мм. При импульсно-дуговой сварке алюминия снижается нижний предел тока устойчивого горения дуги, равный для проволоки ϕ 1,6 мм — 30 а, а при ϕ 2 мм — 50 а. Для обычного способа сварки алюминия в аргоне этот предел тока составляет 110—120 а для проволоки ϕ 1,6 мм.

Сварка меди. Медь сваривают вольфрамовым электродом на постоянном токе прямой полярности или на переменном токе с применением осциллятора. В качестве инертного газа при сварке меди М-1 и М-2 вместо аргона можно применять гелий или азот.

Присадочные прутки могут быть из сплавов: хромистой меди, содержащей 1—1,2% хрома, остальное — медь; кремнемарганцовистой меди (эвердур) КМц-3-1, содержащей 1—1,5% марганца, 2,75—3,5% кремния, остальное — медь; меди марки МНЖКТ-5-1-0,2-0,2. Для гелие-дуговой сварки меди толщиной 2—3 мм применяют режим: ток 100—165 а, скорость сварки 22—24 м/ч, расход гелия 550—600 дм³/ч, диаметр вольфрамового электрода 2—2,5 мм, диаметр присадочной проволоки 2,5—3 мм, диаметр отверстия мундштука 6 мм.

Если в качестве защитного газа используют азот, то для получения требуемых механических свойств наплавленного металла применяют присадочный прутки из медной проволоки, покрытой флюсом. В состав флюса вводят раскислители (фосфор, кремний и марганец) в виде ферросплавов: феррофосфора, ферросилиция и ферромарганца, флюс можно наносить не на проволоку, а насыпать в канавку подкладки, расположенную под швом.

Медь марки М-3 содержит больше примесей, чем медь марок М-1 и М-2, и потому сваривается хуже — шов получается хрупким. Исследования Г. А. Асиновской и И. С. Шапиро показали, что медь М-3 толщиной до 3 мм целесообразно сваривать аргоно-дуговым способом на переменном токе, а в качестве присадочного прутка использовать бронзу Бр. КМц-3-1.

Сварка бронзы. Бронза Бр. ОЦС-4-4-2,5 (олова 3,5%; цинка 3,5%, свинца 2,2%, медь — остальное) обладает высокой прочностью ($\sigma_{\text{в}} = 30 \text{ кгс/мм}^2$), хорошей пластичностью, упругостью и сопротивлением усталости и износу, вследствие чего находит широкое применение в промышленности. Аргоно-дуговую сварку выполняют вольфрамовым электродом диаметром 3,5 мм. Бронзу толщиной 1,4—2,5 мм сваривают без присадочного материала на постоянном токе прямой полярности или на переменном токе с осциллятором. Применяют аргон марки В. Швы сваривают встык на медной подкладке без зазора. Режимы см. в табл. 49.

Лучшую механическую прочность обеспечивает сварка бронзы в отожженном состоянии — временное сопротивление разрыву

Режимы аргоно-дуговой сварки бронзы Бр.ОЦС-4-4-2,5

Толщина, мм	Ток, а	Напряжение дуги, в	Скорость сварки, м/ч	Расход аргона, дм ³ /мин
1,4	120—130	20—22	28—30	6—8
1,8	150—160	18—20	24—26	8—10
2,5	180—200	16—18	20—22	10—12

сварного соединения 27—29 кгс/мм², относительное удлинение 18—22%, разрушение происходит по шву. При сварке металла толщиной свыше 1,8 мм могут образоваться единичные поры в переходной зоне от основного металла к сварному шву. Это обусловлено присутствием в металле растворенного водорода, поступающего из защитного газа, и за счет диффузии водорода, поступающего из основного металла в шов. Источником водорода может являться влага, присутствующая в аргоне и на поверхности свариваемого металла, а также водород, поглощенный бронзой при ее отжиге в газе, содержащем в своем составе 10—12% водорода.

Сварка титана. Сварку титана производят постоянным током прямой полярности. В качестве защитного газа применяют аргон марки А или гелий. Газ подается также и на обратную сторону шва. При сварке применяют медные подкладки и прижимы. В качестве электродов используют прутки из лантанированного вольфрама по СТУ 45 ЦМ-1150—63.

Кроме обратной стороны шва необходимо обеспечивать защиту инертным газом всех участков металла, нагреваемых при сварке до температуры свыше 400°С, от воздействия окружающего воздуха. Сварку следует вести по возможности без перерывов. При возобновлении сварки новый шов следует начинать на расстоянии 15—20 мм от конца предыдущего шва на его поверхности. В случае обрыва дуги горелку задерживают на 4—5 сек для защиты нагретого металла от контакта с воздухом. Ориентировочные режимы ручной аргоно-дуговой сварки неплавящимся электродом технического титана марок ВТ1-0, ВТ1-00, ОТ4-0, ОТ4-1, ОТ4 следующие:

Толщина, мм	Диаметр электрода, мм	Диаметр присадочной проволоки, мм	Ток, а	Расход аргона, л/мин		
				защита дуги	защита обратной стороны шва	сто-
0,5—1	1,5—2	1—1,5	25—60	8—10	2—3	
2	2—2,5	1,5—2	80—100	8—10	2—4	
4	2,5—3	1,5—3	120—160	12—16	2—4	
8—10	2,5—3	2—3	160—180	12—16	2—4	
12	3—4	2—4	180—220	12—16	2—4	
18—20	4—5	3—4	200—240	12—16	4—6	

Напряжение дуги: при толщине 0,5—1 мм — 8—10 в; при 2 мм — 10—14 в; при 4—20 мм — 10—16 в. В качестве присадки применяют проволоку ВТ1-00с или ВТ1-00. Вылет электрода из мундштука горелки 8—15 мм.

При сварке сплава титана марки ВТ15 состава: алюминия 2,5—3%, молибдена 7,4—7,9%, хрома 9,7—10,7%, циркония до 1%, остальное — титан; для толщин до 3,5 мм применяют аргоно-дуговую сварку неплавящимся электродом и аргоно-дуговую сварку с флюсом АНТ-19А. При бóльших толщинах лучшие результаты дает сварка электронным лучом. Скорость сварки 14—18 м/ч. Необходима предварительная закалка и старение основного металла по режиму: от 800°С, 10 мин в воду; старение при 480°С 25 ч на воздухе или 550°С, 4 ч в воде. Получаются соединения, равнопрочные основному металлу.

Для сварки в защитных инертных газах титана и его сплавов лучшие результаты получаются при использовании импульсно-дуговой сварки с применением специальных источников питания дуги импульсным током, описанных в главе XXI. Для тонкого металла рекомендуется использовать импульсную микроплазменную сварку (см. гл. XV, § 6).

Глава XXIV

ОСОБЕННОСТИ СВАРКИ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ КОНСТРУКЦИЙ

§ 1. РЕШЕТЧАТЫЕ И БАЛОЧНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Решетчатые и балочные конструкции применяют в строительстве при возведении ферм зданий и мостов, опор, линий электропередач, конструкций тепловых и гидравлических электростанций и других сооружений, а также в машиностроении при изготовлении

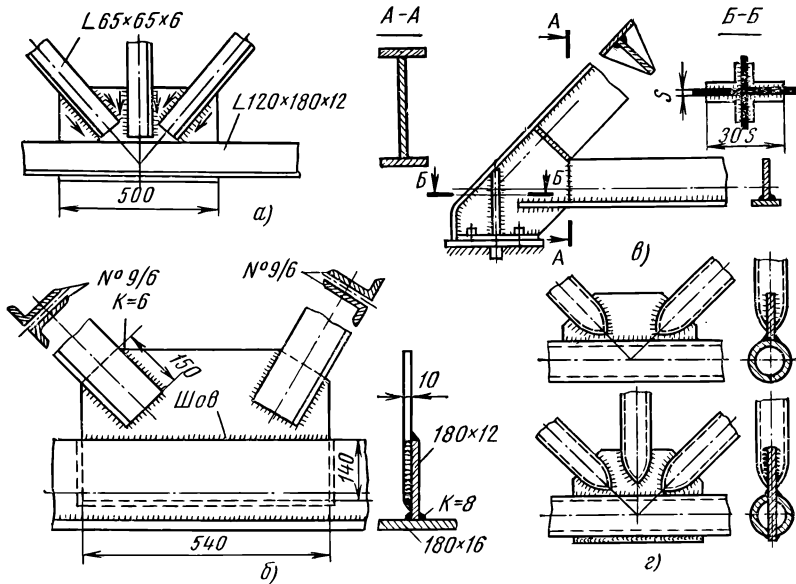


Рис. 192. Узлы решетчатых стропильных ферм:

а — с косынками, б — с накладками, в — опорный узел, г — трубчатое соединение

подъемных кранов, вагонов, тепловозов, автомобилей, сельхозмашин, фундаментных рам и прочих изделий. На рис. 192 в качестве примера показаны узлы решетчатых стропильных ферм. В этих конструкциях наибольшее распространение получили стержни из одного или двух уголков (рис. 192, а и б). Применяют также сварные тавровые соединения (рис. 192, в) и фермы из труб (рис. 192, г). Конструкции данного вида характеризуются наличием

ем большого количества коротких, прямолинейных стыковых или угловых швов, выполняемых ручной или полуавтоматической сваркой. Используется ручная сварка покрытыми электродами или полуавтоматическая сварка в углекислом газе.

Собирают и сваривают фермы по разметке, по копиру и в кондукторах, на стендах и стеллажах, обеспечивающих точность геометрических размеров и пересечения осей соединяемых элементов в одной точке — центре тяжести сечения данного угла. Допускаемое отклонение осей — не более 5 мм. Фермы из узлов сваривают последовательно от середины к опорам. Сначала выполняют стыковые соединения, в узлах сваривают сначала лобовые, а затем фланговые швы. В таких конструкциях трудоемкость основных сборочно - сварочных работ составляет 80—85% от общей трудоемкости изготовления конструкции, остальные 15—20% попадают на долю вспомогательных операций — разметки, правки, строжки и пр.

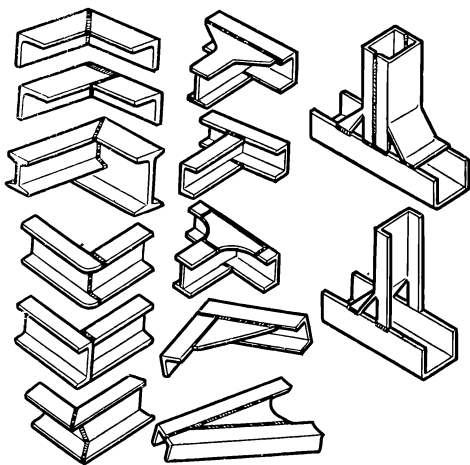


Рис. 193. Сопряжения рамных и балочных узлов из проката, штампованных и гнутых элементов

Для изготовления рамных пространственных конструкций в машиностроении и строительстве используют прокат — уголки, швеллеры, двутавры и штампованные элементы. Типы сопряжений элементов таких конструкций показаны на рис. 193. Сварку выполняют на сварочных плитах и стендах или в кондукторах. Сначала сваривают основные узлы, а затем — раму в целом, сварку начинают с середины рамы и ведут к краям.

Балки со сплошным сечением стенки изготавливают из листового металла. Применяют балки двутаврового и коробчатого сечения. Широко распространены сварные коробчатые балки из гнутых листовых элементов.

В условиях единичного и мелкосерийного производства балки собирают по разметке, применяя ручную и полуавтоматическую сварку. При массовом и крупносерийном производстве сборку производят в кондукторах, а сварку ведут на специальных установках автоматическим способом под флюсом и в углекислом газе с использованием кантователей.

На рис. 194, а показаны способы выполнения сварных стыков двутавровых балок. Дополнительные накладки на стыке используют в том случае, когда стык расположен в наиболее нагруженной части балки.

На рис. 194, а показаны способы выполнения сварных стыков двутавровых балок. Дополнительные накладки на стыке используют в том случае, когда стык расположен в наиболее нагруженной части балки.

Сварные балки и колонны со сплошными стенками сначала собирают без ребер жесткости. На рис. 194, б показан цифрами 1, 2, 3 и 4 порядок сварки поясных швов балки. При переходе из положения I, II, III и IV балку поворачивают на 90° кантователем. Каждый последующий шов сваривают в направлении, обратном направлению сварки предыдущего шва. Ребра жесткости приваривают ручной дуговой или полуавтоматической сваркой одновременно с двух сторон два сварщика в направлении от середины к краям балки.

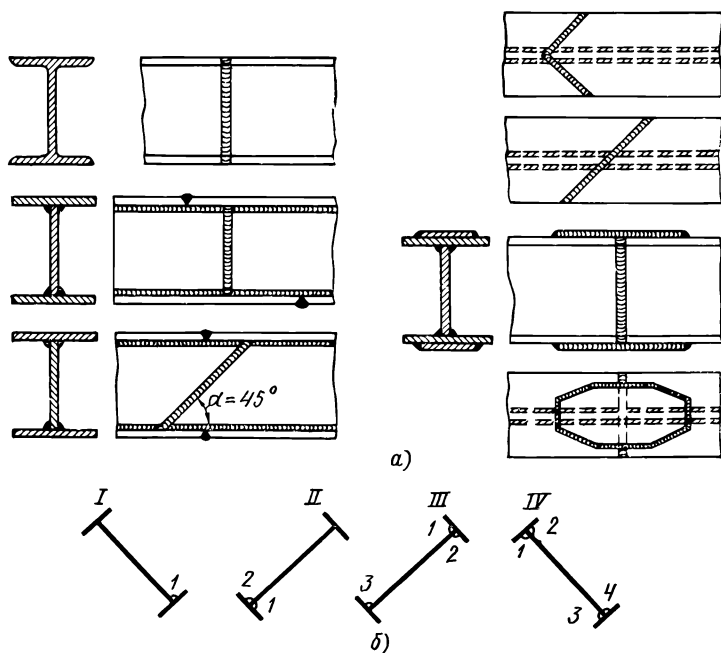


Рис. 194. Сварные стыки двутавровых балок (а) и схема последовательных положений балки при сварке поясных швов (б).

При монтаже балок в первую очередь сваривают стыковые, а во вторую — валиковые швы. Порядок сварки монтажных стыков прокатных балок показан на рис. 195, а. Сначала сваривают вертикальный шов 1, а затем швы поясов 2 и 3.

Стыковые швы поясных листов могут быть совмещены (рис. 195, б) или раздвинуты (рис. 195, в). Сначала сваривают стыки вертикальной стенки 1, затем стыки поясов 2 и 3. Продольные швы обычно не доводят до концов балки на 400—500 мм и заканчивают на месте монтажа швами 4, свариваемыми в последнюю очередь.

В строительной практике в качестве основных элементов для сооружения стоек, колонн, опор и других подобных конструкций

иногда применяют трубы. Для сопряжения концов труб диаметром до 300 мм используют дополнительные детали, повышающие прочность стыка и конструкции в целом (рис. 196). Наиболее надежно соединение встык на остающемся подкладном кольце (рис. 196, а). При таком соединении необходимо обеспечить равномерный зазор и притупление кромок для полного провара кромок и подкладного кольца. Рекомендуются стыки с прокладкой — торцовым листом (рис. 196, б и в). Трубы

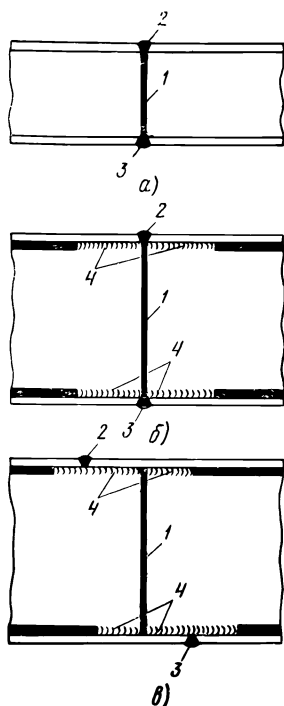


Рис. 195. Порядок сварки монтажных стыков балок:
а — прокатанных, б и в — сварных

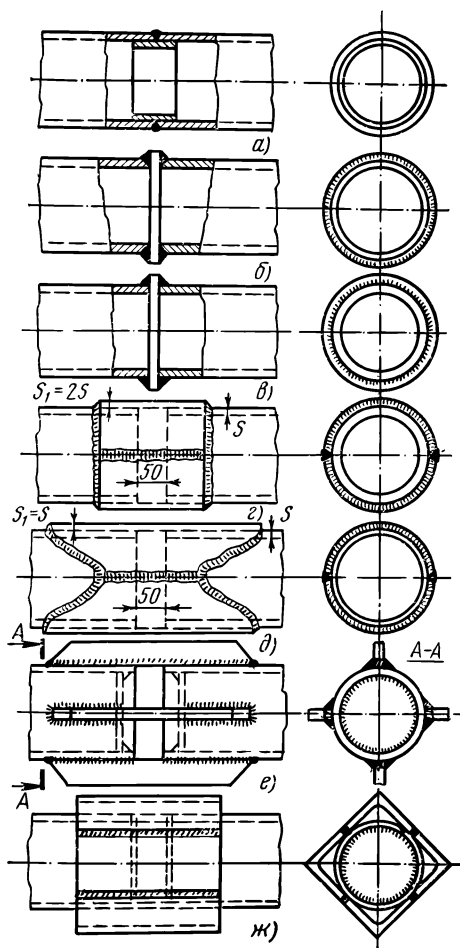


Рис. 196. Типы стыковых соединений трубчатых конструкций:
S — толщина стенки трубы, S₁ — толщина стенки муфты

к торцовому листу приваривают угловым швом (рис. 196, в), а у более ответственных узлов полностью проваривают всю толщину стенки трубы (рис. 196, б), что надежнее. Муфты (рис. 196, г) применяют при сварке в монтажных условиях, когда точная подгонка

концов труб затруднена. Муфты с фигурным вырезом (рис. 196, *д*) используют только для труб диаметром более 250 мм. Соединения с накладками из полос (рис. 196, *е*) и уголков (рис. 196, *ж*) не рекомендуются, так как они имеют невысокую прочность.

§ 2. РЕЗЕРВУАРЫ ИЗ ЛИСТОВОГО ПРОКАТА, НЕ РАБОТАЮЩИЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

К этой группе относятся резервуары и сосуды для хранения жидкостей и газгольдеры для газа низкого давления (менее 0,7 кгс/см²). Близкими к ним по технологическим приемам сварки являются газопроводы большого диаметра, кожухи различного рода химической аппаратуры и прочие изделия данного типа. Их собирают из листов толщиной до 10—12 мм, свариваемых друг с другом встык или внахлестку. При монтаже швы приходится сваривать в разнообразных положениях: нижнем, вертикальном, горизонтальном и потолочном. От швов требуется прочность и плотность.

Типичными для данной группы являются вертикальные резервуары для нефтепродуктов, состоящие из днища, цилиндрической части и крыши. Резервуары строят емкостью до 30—50 тыс. м³. Цилиндрическую часть резервуара изготовляют из поясов, высота которых определяется шириной листов и равна 1400—1500 мм. Вертикальные швы сваривают встык, горизонтальные — встык или внахлестку. Ширина нахлестки должна равняться четырехкратной толщине листа, но не менее 20 мм. Листы крыши укладывают на решетчатые фермы и балки, располагаемые по радиусам и скрепляемые поперечными прогонами.

При изготовлении резервуаров широко используют наиболее передовые способы сварки — автоматическую и полуавтоматическую под флюсом и в углекислом газе. Ручная и полуавтоматическая сварка применяется при сборочно-монтажных работах. При строительстве резервуаров получили распространение современные методы организации работ, например рулонный метод изготовления крупных резервуаров, разработанный сотрудниками Института электросварки им. Е. О. Патона. По этому способу стенки, днище и кровлю резервуара изготовляют одновременно на заводе из отдельных листов с применением автоматической сварки. Готовые полотнища свертывают в рулоны (рис. 197, *а*) и в таком виде транспортируют на место установки резервуара. Корпус резервуара емкостью 5000 м³, диаметром 23 м и высотой 12 м сворачивается в восьмислойный рулон диаметром 2,8 м, весом 40 т.

С помощью кранов рулоны устанавливают на днище (рис. 197, *б*), с помощью лебедок и тракторов их разворачивают, после чего резервуар сваривают. Фермы кровли монтируют в процессе разворачивания рулона. Такой способ сокращает стоимость и сроки сборки и сварки резервуаров, позволяет механизировать основные операции по их сооружению, а также улучшает качество резервуаров.

Плотность швов проверяют с помощью керосина, воздухом, вакуумной камерой или аммиаком, а после окончания изготовления — испытанием резервуара на прочность и плотность заполнением водой и выдержкой под заливом в течение 24 ч. Особо ответственные швы подвергают просвечиванию γ -лучами.

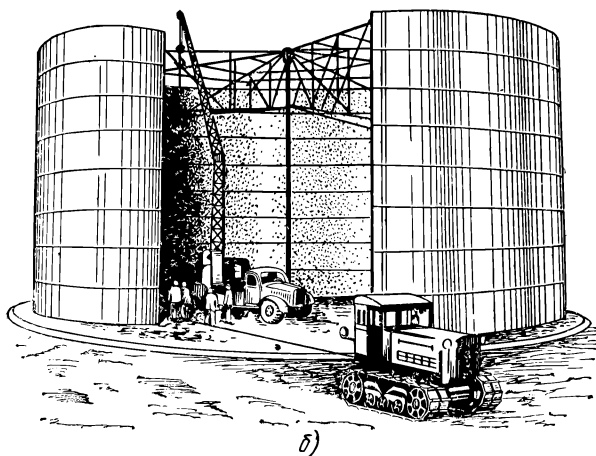
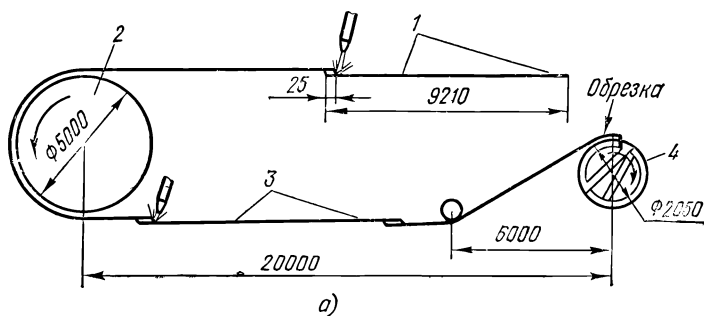


Рис. 197. Рулонный способ сооружения цилиндрических резервуаров:

а — свертыwanie сваренных полос в рулон, *б* — развертывание корпуса и монтаж ферм кровли нефтерезервуара; 1 — участок предварительного сваривания, 2 — кантовочный барабан, 3 — участок сварки швов с обратной стороны, 4 — разборный барабан

§ 3. СОСУДЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

К этой категории относятся сосуды, в которых рабочее давление превышает атмосферное более чем на $0,7 \text{ кгс/см}^2$, например, паровые котлы, резервуары для сжатых газов, химическая аппаратура, цистерны для сжиженных газов и др.

Правила Госгортехнадзора устанавливают вид и марку материала, применяемого для изготовления таких сосудов. В зависи-

мости от рабочей среды и условий используются углеродистые, низко- и высоколегированные стали и цветные металлы — медь и ее сплавы, алюминий и его сплавы и др. Применяются (в химическом и нефтяном машиностроении) двух-трехслойные стали с основным слоем из углеродистой или низколегированной стали и облицовочным слоем толщиной 0,5—5 мм из хромистой, хромоникелевой и других высоколегированных сталей. Цистерны для хранения и перевозки жидкого кислорода и азота (при температуре до минус 200°C) изготавливают из алюминиевого сплава АМг. Качество сварных швов должно быть высоким и регламентируется правилами Госгортехнадзора. К сварке этих сосудов допускаются сварщики, сдавшие специальные испытания в соответствии с правилами Госгортехнадзора и получившие удостоверение на право сварки сосудов, работающих под давлением.

Применяемые электроды и основной металл должны иметь сертификаты*, удостоверяющие их качество.

Механические свойства сварных соединений сосудов, работающих под давлением, проверяют путем испытания образцов, вырезанных из пробных пластин, сваренных одновременно с основным изделием. Механические свойства сварных соединений должны удовлетворять требованиям правил Госгортехнадзора.

После сварки изделия подвергают испытанию на прочность и плотность гидравлическим давлением (см. гл. XXV).

Элементы сосудов, работающие при температуре стенки выше 450°C и независимо от температуры стенки — при давлении выше 50 кгс/см², а также сосуды, изготовленные из легированной стали, воспринимающей закалку на воздухе или склонной к образованию межкристаллитных трещин, подвергаются еще металлографическим исследованиям (исследуют сварные образцы, вырезанные из контрольных пластин или стыков), если эти испытания предусмотрены ТУ на изготовление.

Кроме вышеуказанных испытаний, сварные швы подвергают ультразвуковому контролю по ГОСТ 14782—69 и инструкции для ультразвукового контроля сварных швов, утвержденной министерством, а также просвечиванию рентгеновскими или гамма-лучами по ГОСТ 7512—69.

Большинство сосудов, работающих под давлением, изготавливают сваркой под флюсом и в углекислом газе, а толстостенные сосуды — электрошлаковой сваркой.

Ручной дуговой и полуавтоматической сваркой, как правило, выполняют только короткие швы в местах прихваток, приварки патрубков, опор, люков и др. Производится предварительная подварка корня швов, выполняемых автоматической сваркой, если это предусмотрено конструкцией изделия.

Для хранения сжатых газов и жидкостей на химических и нефтеперерабатывающих заводах широко применяют шарообразные резервуары, сваренные из лепестков двойкой кривизны. Для шаро-

* Сертификат — паспорт, свидетельство о качестве.

вого резервуара емкостью 600 м^3 , диаметром $10,5 \text{ м}$ толщина стенки составляет 22 мм в верхнем и 24 мм — в нижнем полушариях. Изготавливают резервуары из низкоуглеродистых или низколегированных сталей с применением автоматической сварки и поворотных стенов или манипуляторов. Лепестки выполняют штамповкой в

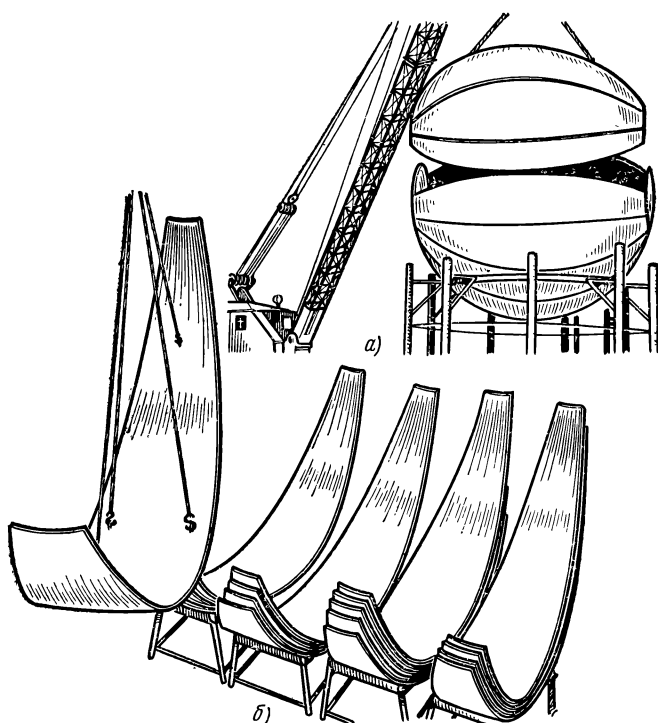


Рис. 198. Шаровой резервуар:
а — сборка и сварка, б — заготовленные «лепестки»

горячем или в холодном (метод Г. С. Сабирова) состоянии. Резервуар испытывается гидравлически на давление в $1,5$ раза превышающее рабочее.

Собирают резервуары из отдельных укрупненных элементов, предварительно сваренных на заводе (рис. 198).

§ 4. ТРУБОПРОВОДЫ

Сооружаемые трубопроводы можно условно разбить на две группы: трубопроводы, свариваемые из листовой стали, и трубопроводы, свариваемые из готовых труб. Сварка трубопроводов первой группы имеет много общего со сваркой резервуарных конструкций из листового металла. Эти трубопроводы сваривают про-

дольными и поперечными швами из обечаек, которые предварительно вальцуют из листов. Если трубопроводы работают под давлением, не превышающим $0,7 \text{ кгс/см}^2$, они не подлежат действию правил Госгортехнадзора. Иногда для увеличения жесткости газопровода с наружной стороны его привариваются ребра из углового, таврового или швеллерного проката.

Трубопроводы второй группы, свариваемые из готовых труб, используют для пара, газа, воды и различных жидкостей. Они работают обычно под повышенным давлением. В трубопроводах нефтехимических установок рабочее давление достигает $500—700 \text{ кгс/см}^2$. В магистральных трубопроводах давление составляет $60—70 \text{ кгс/см}^2$. У таких трубопроводов приходится сваривать только поперечные швы встык.

Стыки трубопроводов на давление свыше $0,7 \text{ кгс/см}^2$ могут выполняться только сварщиками, выдержавшими соответствующие испытания и имеющими удостоверения на право сварки трубопроводов, работающих под давлением.

При сварке стыков трубопроводов применяют различные методы сварки. Выбор метода сварки производится организацией, проектирующей трубопровод, исходя из назначения и условий эксплуатации трубопровода, материала и размеров применяемых труб, требований соответствующих норм, правил и стандартов.

Основные типы и конструктивные элементы швов сварных соединений стальных трубопроводов регламентированы ГОСТ 16037—70. Для трубопроводов из меди и медно-никелевых сплавов основные типы соединений и конструктивные элементы сварных швов установлены ГОСТ 16038—70.

Допускаемое смещение концов труб при сборке под сварку составляет:

Толщина стенки, мм	3—4	5—6	7—8	9—14	15 и более
Смещение, не более мм	1	1,5	2	2,5	3

Согласно ГОСТ 16037—70 при сварке труб применяют следующую подготовку кромок:

	Газовая сварка	Ручная элект- родуговая
Толщина стенки трубы, мм:		
без скоса	1—3	2—4
с односторонним скосом под углом $30^\circ \pm 3^\circ$	4—7	3—20
Зазор между кромками, мм,		
при толщине стенки, мм:		
1—1,6	0,5	—
2—3	1	0,5
3—8	—	1
8—20	—	2

Величина зазора должна обеспечивать возможность полного провара корня шва.

Электроды для дуговой сварки трубопроводов, подлежащих приемке Госгортехнадзора, должны обеспечивать получение наплавленного металла с временным сопротивлением и пределом текучести не ниже нижнего нормативного предела у основного металла.

Для трубопроводов горячей воды и пара показатели пластичности металла сварных труб соединений должны по правилам Госгортехнадзора отвечать следующим минимальным нормам:

Угол загиба, град:

	для дуговой сварки	для газовой сварки
Углеродистая сталь	100	70
Молибденовая	60—80	50
Хромомолибденовая и хромованадиймолибденовая	40—50	30
	Ударная вязкость, кгс/см ²	
Аустенитная сталь	100	—
Для всех сталей, кроме аустенитного класса	5	—
Аустенитная сталь	7	—

У заводских трубопроводов, сваренных из легированных сталей, количество стыков, подвергаемых просвечиванию, составляет (в % от числа стыков, сваренных каждым сварщиком): при первой проверке 5—10 %, при второй проверке — 10—25 %.

У трубопроводов перегретого пара и горячей воды I и II категории* металлографическим исследованиям подвергаются шлифы образцов, вырезанных из сварных стыков. Для труб из углеродистых и низколегированных сталей вырезают по одному шлифу, для труб из аустенитной стали — по четыре шлифа.

Трубопроводы газовых сетей (наружных) для жилых, общественных и производственных зданий, работающие под давлением до 12 кгс/см², сваривают в соответствии с требованиями, которые содержат «Строительные нормы и правила (СНиП) III-Г. 7—66». В них предусмотрены подготовка труб, сварка, качество сварных соединений, методы испытаний и другие показатели, обеспечивающие надежность и долговечность сваренных трубопроводов.

При сварке трубопроводов газовых сетей собирают при помощи наружных центраторов и закрепляют прихватками длиной 30—40 мм для поворотных и 50—60 мм для неповоротных стыков; высота швов прихватки берется равной 40—50 % толщины стенки трубы. При толщине стенок до 6 мм ручная дуговая сварка со скосом кромок 30° должна выполняться не менее, чем в два слоя; при толщине стенки от 6 до 11 мм — не менее, чем в три слоя и при толщине стенок от 11 до 14 мм — не менее, чем в четыре слоя. Ручная газовая сварка выполняется только в один слой.

* К I категории относятся трубопроводы перегретого пара с температурой выше 350°С и горячей воды — выше 184°С; ко II категории — трубопроводы перегретого пара с давлением до 39 кгс/см² и температурой до 350°С, и горячей воды с температурой от 80 до 184°С.

Сварка труб при температурах окружающего воздуха ниже минус 30°C может выполняться только с предварительным подогревом стыка и прилегающей к нему зоны шириной 200—250 мм до температуры плюс 150—200°C. Высота усиления шва должна быть от 1 до 3 мм, но не более 40% толщины стенки с плавным переходом к основному металлу, без подрезов. Ширина шва не должна превышать более чем в 2,5 раза толщину стенки трубы.

Готовые участки газопровода подлежат испытанию на прочность и плотность воздухом при давлении, установленном техническими условиями на сварку данного газопровода. Надземные газопроводы с давлением свыше 3 кгс/см² испытывают на прочность водой.

В зимнее время, а также при больших диаметрах труб, допускается замена гидравлического испытания воздушным с соблюдением мер безопасности на случай разрыва трубы.

Техника сварки стыков трубопроводов зависит в первую очередь от диаметра трубы и толщины ее стенки. Порядок выполнения швов для поворотных и неповоротных стыков различен.

Порядок ручной дуговой сварки поворотных стыков труб диаметром свыше 200 мм показан на рис. 199. Окружность стыка размечаются на четыре части: А—В; В—В; В—Г; Г—А. Стык соединяется тремя прихватками 1 (рис. 199, а). Электродом диаметром 4 мм при токе 120—150 а проваривают участки А—В и Г—В узким валиком в направлении снизу вверх (рис. 199, б), а затем, повернув трубу на 90°, участки Г—А и В—Г (рис. 199, в). После этого электродом диаметром 5 мм при токе 200—250 а накладывают второй и третий слои (рис. 199, г и д).

На рис. 200 показана схема сварки неповоротных стыков труб диаметром 250—500 мм. Цифрами указана последовательность наложения участков швов. Первый слой накладывают тремя участками: от П к А, от Б к А и от П к Б. Такой порядок обеспечивает работу сварщика и снижает усадочные напряжения. Вторым слоем накладывают от К к Т с левой и от К к Т с правой стороны стыка в направлении снизу вверх. Если сварка выполняется в три слоя, то третий слой накладывают в два приема так же, как и второй, но только сварку начинают в точке П и заканчивают в точке М. Первый слой и потолочные участки остальных слоев сваривают элект-

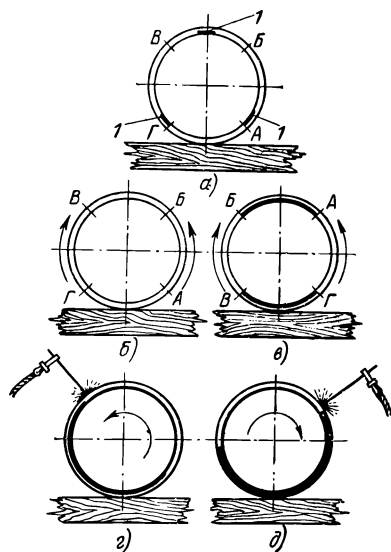


Рис. 199. Порядок сварки стыков труб с поворотом

родами УОНИ-13/45, УОНИ-13/55 или СМ-11 диаметром 4 мм, остальные участки — электродами диаметром 5 и 6 мм.

В указанном на рис. 200, а порядке можно вести сварку стыка сверху вниз, применяя электроды с газозащитным покрытием ВСЦ-1, дающие мало шлака. Электроды ВСЦ-1 содержат в покрытии до 25% целлюлозы и разработаны И. Н. Варновицким,

Ф. А. Заско и А. Г. Мазелем специально для сварки первого шва стыков магистральных трубопроводов. Сварку ведут короткой дугой электродом диаметром 4 мм, перемещая его прямолинейно и с небольшим заполнением разделки шва за один проход. Сварщик опирает электрод о кромки стыка со значительным усилием. Дуга образует внутри трубы факел, по звуку горения которого сварщик легко определяет степень провара. Скорость сварки при прямой полярности 30 м/ч, при обратной 25 м/ч, ток 185 а, глубина проплавления 2—3,5 мм. Трубы должны быть собраны с большой точностью: при толщине стенки 5—8 мм между кромками допускается зазор 1—1,5 мм, притупление 1,5—2 мм, угол раскрытия кромок 70°.

Применяют также комбинированный способ сварки: два первых слоя сваривают сверху вниз электродами ВСЦ-1

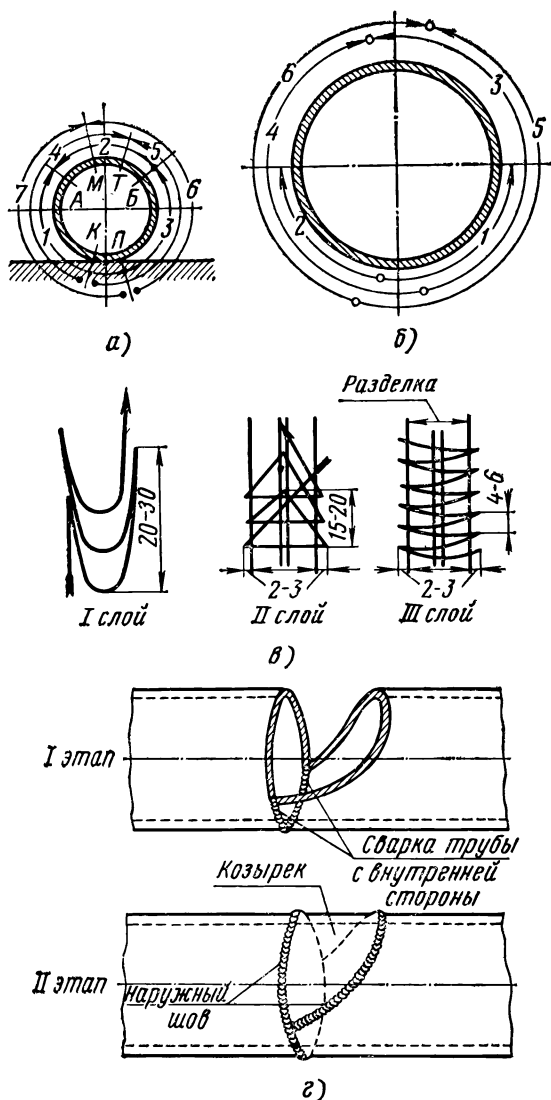


Рис. 200. Способы сварки неповоротных стыков труб

и УОНИ-13/45, а последующие слои — снизу вверх электродами УОНИ-13/55.

У труб диаметром более 500 мм шов делят на 6—8 участков и сначала сваривают снизу вверх боковые участки с обеих сторон стыка, затем нижние участки в потолочном положении и замыкают стык сваркой навстречу друг другу верхних участков.

На рис. 200, б и в показан способ сварки неповоротных стыков труб диаметром 720 мм по методу сварщика-скоростни-

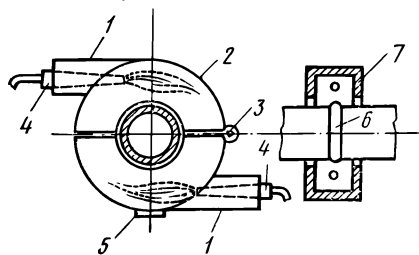


Рис. 201. Схема нагревателя стыков труб:

1 — патрубки для крепления горелок, 2 — кожух, 3 — шарнир, 4 — горелки, 5 — люк для термодатчиков, 6 — нагреваемый шов, 7 — листовой асбест

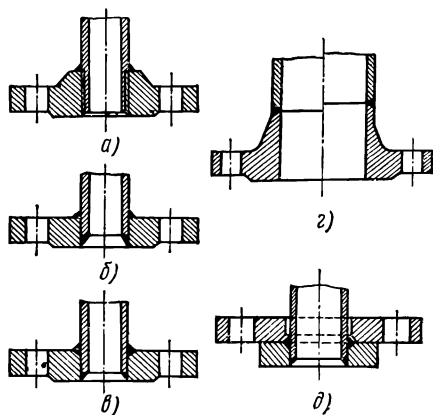


Рис. 202. Способы приварки фланцев труб:

а — с шейкой на резьбе, б и в — плоские приварные, без скоса и со скосом кромки под сварку, г — приварные встык, д — свободные на приваренном кольце

ка т. Горшкова. Сварка выполняется электродами УОНИ-13/55:

первый слой — диаметром 3 мм при токе 165 а; второй слой — диаметром 4 мм при токе 220—240 а; третий слой — диаметром 4 мм при токе 160—180 а. На рис. 200, б показан порядок наложения слоев, а на рис. 200, в — схемы движения конца электрода при сварке. Кружками отмечены точки начала и окончания шва, а стрелками — направление сварки.

Бывают случаи, когда при монтаже и ремонте труб нельзя сваривать стык ни с поворотом, ни в потолочном положении. Тогда применяют сварку с козырьком, как это показано на рис. 200, г. Нижняя часть стыкового шва выполняется с внутренней, а верхняя с наружной стороны.

Местный нагрев и термообработку стыковых кольцевых швов трубопроводов в условиях монтажа выполняют при помощи специального приспособления. Кожух приспособления (рис. 201) сделан из стали и выложен внутри листовым асбестом; диаметр кожуха на 180—120 мм больше диаметра трубы. Пламя горелки или форсунки направлено по касательной к трубе. Продукты сгорания выходят через зазор в 5—7 мм между трубой и кромкой кожуха. В случае использования четырех горелок можно в заводских условиях прогревать швы толщиной до 90 мм, и при двух горелках — швы труб с толщиной стенки до 14—20 мм.

Способы приварки фланцев различных типов к трубам показаны на рис. 202.

При сооружении магистральных трубопроводов большой протяженности малопроизводительная ручная сварка постепенно заменяется современными механизированными способами: автоматической сваркой под флюсом, стыковой контактной сваркой, полуавтоматической и автоматической сваркой в углекислом газе.

§ 5. СУДОСТРОИТЕЛЬНЫЕ И МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Судостроительные конструкции. Сварные корпуса судов состоят из каркаса с ребрами жесткости и обшивки корпуса (рис. 203). Судовые конструкции изготавливаются из тонколистового металла и прокатных профилей разнообразных видов, в том числе специальных, применяемых только в судостроении. Основным материалом является сталь углеродистая Ст2с — Ст4с, марганцовистая 09Г2с и низколегированные стали, разработанные для судостроения. Используются двух- и трех-

слойные стали. В настоящее время ряд элементов конструкций судов, а также суда в целом изготавливают из алюминиевых сплавов. Сварные конструкции судов характеризуются наличием большого количества швов различного очертания, длины и сечений. Преимущественно используются угловые швы (80—90%) и стыковые (10—20%). Весь корпус судна разбивается на секции и другие элементы, которые свариваются в цеховых условиях. Затем из этих частей собирают судно на стапелях. Сварка выполняется преимущественно полуавто-

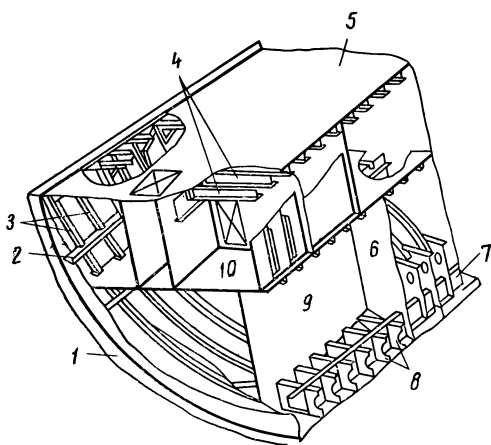


Рис. 203. Конструкция корпуса судна:

1 — наружная обшивка, 2 — бортовой стрингер, 3 — шпангоуты, 4 — бимсы, 5 — настил верхней палубы, 6 — поперечная перегородка, 7 — вертикальный киль, 8 — флоры, 9 — продольная перегородка, 10 — нижняя палуба

матами и автоматами под флюсом (до 80%), а также в углекислом газе. Швы, в зависимости от их назначения, должны быть прочными и плотнопрочными. Широко используются также прерывистые швы, сваренные электрозаклепками.

Машиностроительные конструкции. Конструкции, изготовленные сваркой, используются в энергетическом, металлургическом, транспортном, химическом и нефтяном машиностроении, станкостроении, сельхозмашиностроении и других производствах. По виду применяемых заготовок эти конструкции бывают: прокатно-свар-

ные, штампо-сварные, лито-сварные, ковано-сварные и комбинированные.

В качестве примера машиностроительной конструкции на рис. 204, а показана сварная станина горизонтально-протяжного

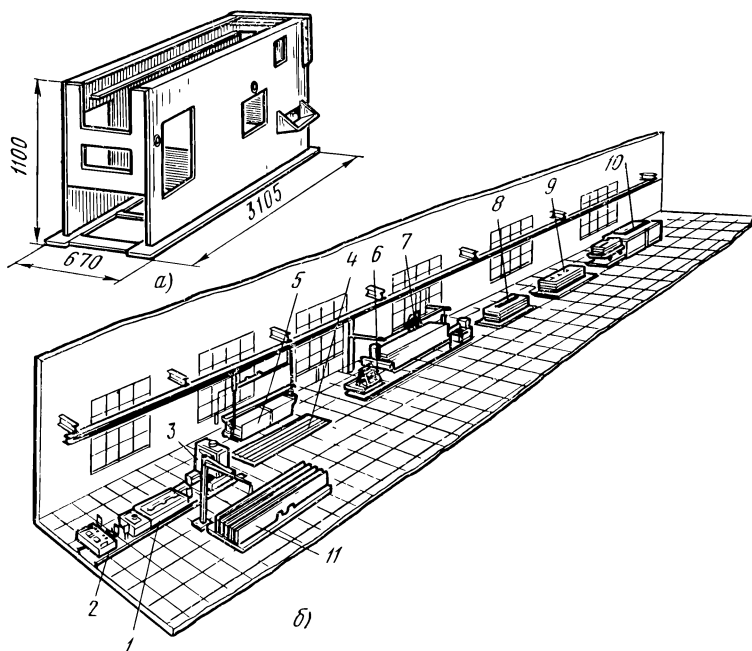


Рис. 204. Сварная станина протяжного станка (а) и поточно-механизированная линия сборки и сварки станин (б):

1 — стенд, 2 — передвижная тележка, 3 — порталная самоходная тележка, 4 — плита, 5 — подвесной кантователь, 6 — двухстоечный кантователь, 7 — сварочная установка, 8 — стенд слесарной обработки и контроля, 9 — место для грунтовки, 10 — сушильная камера, 11 — стеллаж для заготовок

станка весом 1450 кг, а на рис. 204, б — поточная механизированная линия для сварки этих станин. Замена литых станин сварными снизила их трудоемкость на 35—40% и почти в два раза увеличила съем продукции с 1 м² производственной площади цеха.

Глава XXV

ДЕФЕКТЫ И КОНТРОЛЬ СВАРНЫХ ШВОВ

§ 1. ОСНОВНЫЕ ДЕФЕКТЫ СВАРНЫХ ШВОВ И ИХ ПРИЧИНЫ

Дефектами сварных швов называются различные отклонения от требований чертежа и технических условий, ухудшающие качество сварного соединения: его механические свойства, сплошность, герметичность и пр. Причинами дефектов могут являться неудовлетворительная свариваемость металла, плохое качество электродов, покрытий и флюсов, неправильные технология и режим сварки, недостаточная квалификация сварщика и др. По месту расположения в шве дефекты могут быть *внешними* и *внутренними*.

Внешние дефекты. Отклонения по ширине и высоте шва в. Причинами дефекта являются:

- 1) неудовлетворительная подготовка и подгонка кромок, вследствие чего расстояния между ними получаются различными и уширения приходится заполнять наплавленным металлом;
- 2) неравномерное перемещение электрода, горелки и проволоки, вследствие чего высота и ширина шва изменяются по длине;
- 3) несоблюдение установленного режима сварки.

Швы с подобным дефектом имеют плохой внешний вид; неравномерное распределение и усадка наплавленного металла шва могут вызвать деформации и напряжения. Выявляется дефект наружным осмотром и проверкой шва шаблоном; отклонения могут устраняться зачисткой с подваркой шва и срубанием излишка металла.

Наружные трещины (рис. 205, а, б), продольные и поперечные, могут быть в наплавленном и основном металле; в последнем случае они обычно расположены около шва в зоне термического влияния. Причинами образования трещин являются: напряжения, возникшие вследствие неравномерного нагрева и охлаждения, изменения структуры металла при сварке, повышенное содержание серы, фосфора, влияние водорода и пр.

Появлению трещин способствуют такие дефекты, как поры, непровары, включение шлака и т. п. Трещины появляются также при кристаллизации металла в процессе сварки. Возможность образования трещин тем больше, чем хуже сваривается данный металл. Участки швов с трещинами полностью вырубает или удаляют поверхностной кислородной (или воздушно-дуговой) резкой и заваривают вновь. Стыки трубопроводов, имеющие дефекты протяженностью более $\frac{1}{3}$ длины окружности трубы, должны полностью вырезаться и трубы свариваться вновь.

Подрезы — уменьшение толщины основного металла в месте перехода к наплавленному (рис. 205, в, г.). Этот дефект возникает при сварке излишне большим током или горелкой большой мощности. В месте подреза прочность сварного соединения понижается, так как подрезы служат местом концентрации напряжений. Подрезы устраняют дополнительной зачисткой и заваркой.

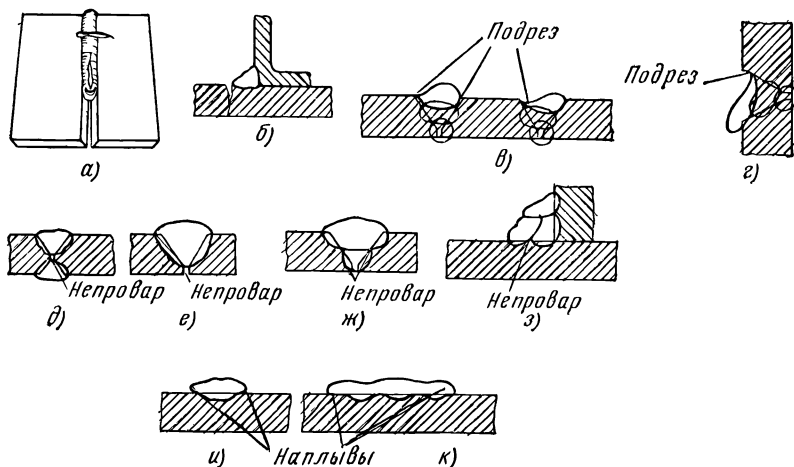


Рис. 205. Дефекты сварных швов:

а, б — наружные трещины, в, г — подрезы, д, е — непровар корня, ж, з — непровар кромок, и, к — наплывы

Незаплавленные углубления (кратеры), остатки шлака и неровная поверхность шва являются следствием недостаточной квалификации сварщика или небрежного выполнения сварки. Швы с большим количеством таких дефектов обладают пониженной прочностью, поэтому дефектные участки следует вырубать или вырезать до основного металла и заваривают вновь.

Наплывы (рис. 205, и, к) образуются при слишком быстром плавлении электрода и натекании жидкого металла на недостаточно нагретую поверхность основного металла. Наплывы могут быть расположены в отдельных местах или иметь большую протяженность и сопровождаться непроваром основного металла. Наплывы необходимо срубить или вырезать и проверять, нет ли в этом месте непровара.

Внутренние дефекты. Поры образуются вследствие поглощения расплавленного металлом водорода, окиси углерода и др., которые не успевают выделиться при застывании металла и остаются в нем в виде газовых пузырьков. Основной причиной появления пор является влажность электродного покрытия или неправильная регулировка пламени горелки. Поры могут появляться также в ре-

зультате несоответствия химического состава присадочного и основного металла, наличия окалины и ржавчины на свариваемых кромках, выкрашивания каплеобразных включений металла и шлаков.

Шлаковые включения и окислы ослабляют сечение шва. Они образуются при сварке длинной дугой и окислительным пламенем.

Одиночные шлаковые включения и поры обычно не снижают механических свойств соединения. Цепочки и особенно скопления пор и шлаковых выключений приводят к концентрации напряжений в данном месте и резкому снижению пластичности, вязкости и прочности наплавленного металла. В сварных швах ответственных конструкций допускаются лишь отдельные поры и шлаковые включения, а также небольшие скопления пор в количестве 5—6 шт. на 1 см^2 сечения шва, глубиной не более 10—15% толщины металла.

Непровар корня шва (рис. 205, *д, е*) выражается в несплавлении наплавленного и основного металла в корне шва. Непровар резко снижает прочность шва и соединение становится ненадежным. В местах непровара концентрируются напряжения, которые еще более понижают сопротивляемость шва внешним нагрузкам, особенно ударным. При динамических нагрузках, а также в изделиях ответственного назначения наличие непроваров недопустимо.

Причинами непровара являются: недостаточный ток или малая мощность горелки; слишком быстрое перемещение электрода и горелки; попадание в шов пленки окислов или слоя шлака; неудовлетворительная зачистка кромок. Непровар появляется, если прогрев металла в корне шва затруднен, вследствие того, что кромки скошены под слишком малым углом или велико притупление кромок и отсутствует зазор между ними. Если по техническим условиям данное изделие не должно иметь непровар, то места швов, где имеется непровар, вырубает или удаляют поверхностной резкой, после чего шов в этом месте заваривают вновь.

Непровар кромок (рис. 205, *ж, з*) образуется: при сварке громким недостаточной величины или пламенем малой мощности; при слишком быстром перемещении электрода или пламени вдоль свариваемого металла. В этих случаях наплавленный металл падает на нерасплавленную поверхность основного металла; в результате этого сила сцепления между основным и наплавленным металлом будет столь незначительна, что валик шва может отделиться от кромок.

В изломе непровара всегда заметен, так как проходит темной полосой на границе между наплавленным и основным металлом. Обнаружить непровар кромок можно просвечиванием шва рентгеновскими или гамма-лучами, а также ультразвуковым и магнитным методами контроля. Дефектный участок шва удаляют вырубкой или поверхностной резкой и повторной заваркой.

Внутренние трещины возникают по тем же причинам, что и наружные. Продольные внутренние трещины часто образу-

ются также в корне шва. Обнаружить внутренние трещины можно теми же способами контроля, что и непровар. Участки шва с трещинами удаляют и заваривают.

При перегреве металл имеет крупнозернистое строение. Чем крупнее зерна, тем меньше поверхность их сцепления и ниже прочность и пластичность металла. Перегретый металл плохо сопротивляется ударным нагрузкам. Этот дефект можно исправить соответствующей термической обработкой.

Пережог характеризуется наличием в структуре металла шва окисленных зерен, обладающих малым взаимным сцеплением. Пережженный металл хрупок и не поддается исправлению. Пережог возникает при избытке кислорода в пламени*.

Пережженные участки шва полностью удаляют поверхностной резкой и заваривают вновь.

§ 2. СПОСОБЫ КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ ШВОВ И ИЗДЕЛИЙ

На всех стадиях производства сварных конструкций должен производиться систематический пооперационный контроль до сварки, в процессе сварки и после ее окончания. Перед сваркой проверяются: правильность сборки соединений и изделия в целом. Особое внимание следует обращать на правильность подготовки кромок, величину зазоров, совпадение кромок, очистку кромок и прилегающих к ним участков основного металла; следует проверить размер и качество прихваток, а также соблюдение герметических размеров изделия.

В процессе сварки контролируются соблюдение установленного режима сварки и технологических указаний по сварке, данных в чертежах и технических условиях.

После сварки производится контроль качества изделия: внешним осмотром; испытаниями на прочность и герметичность; механическими испытаниями образцов, сваренных одновременно с изделием и предназначенных для контроля прочности и пластичности сварных соединений; металлографическими испытаниями макро- и микроструктуры; физическими методами исследования качества сварки — просвечиванием рентгеновскими и гамма-лучами, ультразвуком, люминесцентным способом, магнитным и цветным методом и др. При сварке изделий из коррозионно-устойчивых сталей производится контроль сваренных образцов на межкристаллитную коррозию. В табл. 50 приведен перечень методов контроля, используемых для проверки качества различных сварных конструкций.

Наружный осмотр и проверка размеров шва (ГОСТ 3242—69). Пользуясь лупой с 10—20-кратным увеличением, можно заметить мелкие волосяные трещины и поры. Если предполагают наличие трещин, то исследуемый участок металла зачищают личным напильником, наждачной бумагой, промывают спиртом и травят 10%-ным

* Если избыток кислорода обусловлен требованиями процесса сварки (например, при сварке латуни), то он не приводит к пережогу металла.

Методы контроля сварных конструкций

№№ п/п	Метод контроля	Виды конструкций
1	Наружный осмотр и проверка размеров швов	100% всех швов во всех конструкциях
2	Выборочный контроль швов ультразвуковым дефектоскопом	Все виды конструкций, если они не попадают в число указанных в п. 5 настоящей таблицы
3	Испытание на плотность керосином, воздухом, вакуум-камерой и аммиаком	Резервуары, баки, цистерны, трубопроводы и другие подобные конструкции из металла толщиной до 16 мм включительно, швы которых должны быть герметичны
4	Испытание на прочность и плотность пневматическим, гидравлическим или газовым давлением	Резервуары, цистерны и другие сосуды, работающие под давлением. Величина давления и условия испытания указываются в технических условиях
5	Контроль ультразвуковой, рентгено- и гамма-просвечивание, магнитографический и другие физические методы контроля	Все ответственные конструкции, типы которых, а также нормы и методы контроля предусматриваются действующими правилами для отдельных видов сооружений, техническими условиями и чертежами
6	Испытания механических свойств металла пробных или контрольных образцов	То же
7	Осмотр макрошлифов на торцах сварных швов	»

раствором азотной кислоты до появления матовой поверхности. После осмотра металл зачищают наждачной бумагой и протирают денатурированным спиртом для удаления кислоты.

Подготовку кромок швов проверяют шаблонами или универсальными измерителями (см. гл. VIII).

Испытание механических свойств наплавленного металла и сварного соединения. Для этих испытаний (ГОСТ 6996—66) одновременно со швом сваривают пробные пластины из того же металла и на тех же режимах. Из пластин изготавливают образцы установленной ГОСТ 6996—66 формы и размеров. Образцы подвергают испытаниям в лаборатории для определения механических свойств наплавленного металла или сварного соединения: временного сопротивления при разрыве, относительного удлинения, ударной вязкости, твердости.

Исследование макро-и микроструктуры. Макроструктуру стали, видимую невооруженным глазом, получают на отшлифованной поверхности образца, протравленной 10%-ным водным раствором азотной кислоты. Шлиф делают на образцах, вырезанных из

шва или пробных пластин. Макроструктура выявляет непровары, шлаковые включения, раковины, поры, трещины, несплавление и пр.

Микроструктуру исследуют при увеличении в 100—1000 раз под микроскопом. Поверхность шлифа должна быть тщательно отполирована и протравлена 2—4%-ным спиртовым раствором азотной кислоты или другими специальными реактивами. Микроструктура позволяет обнаружить в шве перегрев и пережог металла, наличие окислов по границам зерен, изменение структуры и состава металла при сварке, микроскопические трещины и пр.

Исследование макро- и микроструктуры проводят в лаборатории и по их результатам судят о правильности режима сварки. Эти испытания позволяют также установить причины дефектов в шве и предупредить их появление в процессе сварки.

Гидравлические и пневматические испытания сосудов. Цель пневматических испытаний — проверка плотности шва. Гидравлические испытания помимо проверки плотности швов дают возможность определить прочность сосуда при небольших нагрузках.

При гидравлическом испытании сосуд наполняют водой и с помощью насоса в нем создают давление, превышающее максимальное рабочее давление для данного изделия. Для сосудов, у которых рабочее давление менее 5 кгс/см^2 , величина пробного гидравлического давления берется на 50% больше величины рабочего давления, но не ниже 2 кгс/см^2 . При рабочем давлении свыше 5 кгс/см^2 пробное гидравлическое давление должно на 25% (но не менее чем на 3 кгс/см^2) превышать рабочее давление.

Под пробным давлением сосуд выдерживают 5 мин. Затем давление снижают до рабочего и швы обстукивают на расстоянии 15—20 мм от кромок закругленным молотком массой 1 кг, после чего швы тщательно осматривают. Места, в которых обнаружены течь или потение, отмечают мелом и после снятия давления вырубляют или удаляют поверхностной резкой и вновь заваривают.

Пневматическое испытание выполняется сжатым воздухом только при рабочем давлении сосуда. Плотность швов проверяют, обмазывая их мыльным раствором или погружая в воду, если это позволяют габариты сосуда. В местах пропуска воздуха появляются пузыри. В целях безопасности пневматическое испытание производят только после предварительного гидравлического испытания сосуда.

При пневматическом испытании сваренных трубопроводов плотность проверяют также по звуку выходящего через неплотности воздуха или по запаху, для чего в воздух добавляют т. н. одоранты (пахучие вещества, например этилмеркаптан $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{SH}$). Отсутствие пропусков определяют также по величине падения давления воздуха в трубопроводе за определенный период времени (сутки), установленной техническими условиями на сварку.

Прочие способы проверки плотности шва. Плотность шва проверяют также керосином. Шов с одной стороны обмазывают мелом, разведенным на воде. После высыхания мела шов с обратной стороны смачивают керосином. При наличии неплотностей, пор и

трещин керосин просачивается через них и на меловой окраске появляются желтые пятна. Этим способом проверяют швы резервуаров, не работающие под давлением. Длительность испытания: при положительной температуре — 12 ч, при отрицательной — 24 ч.

Плотность швов проверяют и химическим методом (по способу С. Т. Назарова). Для этого швы снаружи оклеивают полосками бумаги или прокладывают по ним марлевые бинты; бумага и бинты пропитываются предварительно 5%-ным водным раствором азотнокислой ртути или спирто-водным раствором фенолфталеина. В испытуемый сосуд под рабочим давлением накачивают воздух, содержащий примесь 1% аммиака. Проникая через неплотности и поры шва, аммиак вызывает потемнение полосок бумаги или бинтов в месте расположения дефекта.

Для испытания плотности швов днищ резервуаров применяют следующий способ. Пространство под днищем герметизируют плотным водонепроницаемым грунтом и под днище впускают аммиак из баллонов в смеси с воздухом, создавая под днищем давление 0,8 — 1,0 кгс/см². Швы с другой стороны днища тщательно зачищают и поливают 10%-ным спирто-водным раствором фенолфталеина, имеющим вид молока. В местах неплотностей аммиак проникает через шов и окрашивает раствор в красный цвет. Следует иметь в виду, что остатки шлака на шве, обладая свойствами щелочи, также могут вызвать покраснение раствора, что не является признаком неплотности шва. Данный способ не позволяет также выявить мелкие загрязненные дефекты шва.

Применяют также в а к у у м н ы й способ проверки плотности швов, например днище резервуаров. Шов смачивают мыльным раствором и на проверяемый участок устанавливают вакуумную камеру с крышкой из прозрачного плексигласа. Камера не имеет дна и уплотняется на поверхности листа резиновой прокладкой. При откачке вакуум-насосом воздуха из камеры в ней появляются пузыри в местах расположения дефектов шва (трещин, пор и др.).

Плотность сварных и паяных швов проверяют также с помощью гелиевых и галоидных течеискателей. При проверке гелиевыми течеискателями в контролируемом сосуде создают вакуум, а швы снаружи обдувают смесью гелия с воздухом. При неплотности в шве гелий проникает в сосуд, а затем поступает в течеискатель, который обнаруживает присутствие гелия в сосуде. Другой способ состоит в том, что в контролируемый сосуд подают под давлением гелий, а специальным щупом, соединенным с вакуум-насосом и камерой течеискателя, проводят по швам и улавливают протекание гелия из сосуда. Применяют гелиевые течеискатели ПТИ-4А и ПТИ-6. Течеискатель ПТИ-6 имеет высокую чувствительность, равную 10^{-7} см³мм рт. ст./сек.

Просвечивание швов. Просвечиванием обнаруживают внутренние дефекты — трещины, непровары, поры, шлаковые включения. Этим способом проверяют швы ответственных изделий, например сосудов, работающих под давлением. Для просвечивания применяют рентгеновские лучи или излучение радиоактивных элементов

(гамма-лучи*). Эти лучи, не видимые человеческим глазом, способны проникать через толщу металла, действуя на светочувствительную фотопленку, приложенную к шву с обратной стороны. В тех местах шва, где имеется дефект, поглощение лучей металлом будет меньше, и они окажут более сильное воздействие на чувствительную к лучам эмульсию пленки. Поэтому в данном месте на пленке после проявления будет темное пятно, по размерам и форме соответствующее имеющемуся дефекту. Снимок шва на пленке называется рентгенограммой (или гаммограммой) шва. Обычно просвечивают 10—25% общей длины швов. В особо ответственных конструкциях просвечивают все 100% длины швов. Для рентгеновского просвечивания применяют рентгеновские аппараты, состоящие из трансформатора с выпрямителем и особой лампы — рентгеновской трубки.

В качестве источников гамма-лучей используют следующие радиоактивные вещества:

Кобальт-60	для стали, чугуна, меди, бронзы, латуни толщиной 20—250 мм;
Цезий-137	для стали толщиной 5—100 мм;
Иридий-192	для стали толщиной 3—50 мм, алюминия и его сплавов толщиной 10—100 мм;
Европий-152—154	то же
Тулий-170	для стали толщиной 1—15 мм и алюминиевых сплавов толщиной 2—20 мм

Кобальт-60 обладает наиболее жесткими, сильно проникающими лучами, поэтому применяется для просвечивания тяжелых металлов большой толщины. Остальные изотопы имеют значительно более мягкое излучение и используются для меньших толщин. Наиболее мягкое (приближающееся к рентгеновскому) излучение дает тулий—170, используемый для просвечивания малых толщин и легких сплавов.

Схемы способов просвечивания сварных швов показаны на рис. 206. На рис. 207, а показан переносной защитный контейнер, а на рис. 207, б — ампула для радиоактивного вещества.

Для рентгеновского просвечивания применяют промышленные установки РУП-120-5 и РУП-200-5, ИРА-1Д и ИРА-2Д. Для просвечивания гамма-лучами — установки (дефектоскопы) ГУП-Со-0,5-1; ГУП-Со-5-1 и ГУП-Со-50. Используются также дефектоскопы РИД-21-Г (рис. 208) конструкции Института радиационной техники, имеющие облегченные контейнеры не из свинца, а из вольфрамового сплава.

ГОСТ 7512—69 установлены условные обозначения дефектов швов, обнаруживаемых при расшифровке рентгено- и гаммограмм: П — газовые включения (поры); Ш — шлаковые включения; Н — непровары; НС — непровар сплошной; Тп — трещины поперечные; Тпр — трещины продольные; Тр — трещины радиальные.

* Гамма-лучи испускаются естественными (природными) радиоактивными веществами (радием, мезоторием) и искусственными радиоактивными изотопами кобальта, цезия, иридия, европия, тулия и других элементов.

По характеру распределения дефекты делятся на следующие группы: А — отдельные дефекты; Б — цепочка дефектов; В — скопление дефектов. Например, запись на рентгенограмме длиной 100 мм — ПБ-1-15, Тп-4-1, Ш-0, Н-0 означает, что на участке шва

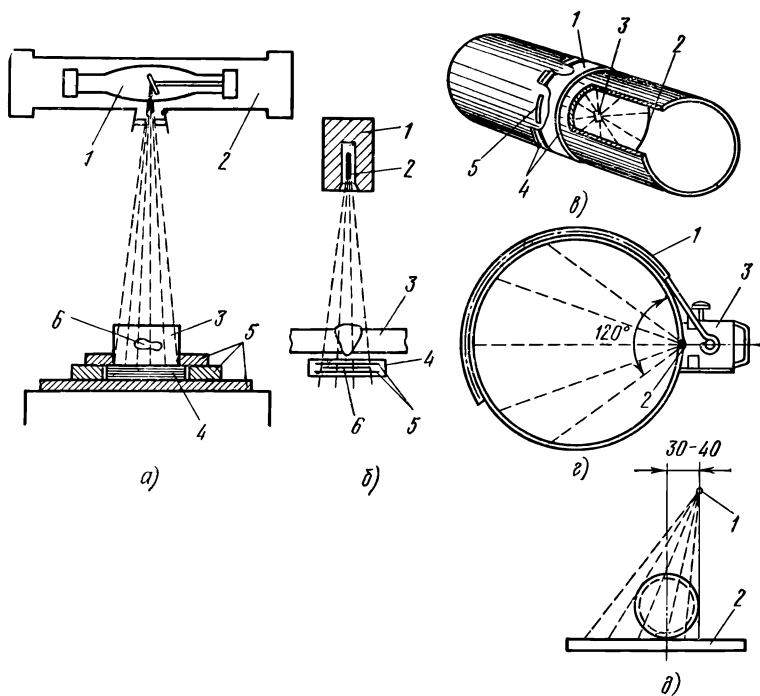


Рис. 206. Схемы способов просвечивания швов:

а — рентгеновскими лучами: 1 — рентгеновская трубка, 2 — футляр со свинцовой оболочкой, 3 — просвечиваемый металл, 4 — фотопленка в кассете, 5 — свинцовые пластины, 6 — дефект в металле; б — гамма-лучи стыкового шва: 1 — свинцовый кожух, 2 — ампула с радиоактивным веществом, 3 — сварная деталь, 4 — кассета с пленкой, 5 — защитные экраны, 6 — пленка; в — просвечивание сварных стыков труб диаметром более 200 мм: 1 — кассета с пленкой, 2 — контролируемый сварной стык, 3 — источник излучения (ампула с радиоактивным веществом), 4 — резиновая лента, 5 — дефектометр; г — просвечивание стыков труб любого диаметра через две стенки: 1 — кассета с пленкой, 2 — источник излучения, 3 — контейнер с ампулой радиоактивного вещества; д — просвечивание стыков труб малого диаметра (до 75 мм): 1 — источник излучения, 2 — плоская кассета с пленкой

100 мм выявлены: цепочка пор размером 1 мм на протяжении 15 мм; одна поперечная трещина длиной 4 мм; шлаковых включений и непрочваров не обнаружено.

Ультразвуковой метод контроля швов. Ультразвуковой метод контроля (ГОСТ 14782—69) основан на особенности высокочастотных (свыше 20 000 гц) колебаний, не воспринимаемых человеческим ухом, проникать в металл шва и отражаться от поверхности пор, трещин и других дефектов. Ультразвуковые колебания получают при помощи пластинки из кварца или титаната бария (пьезодатчи-

ка). Когда к такой пластинке подводят переменный ток высокой частоты (0,8—2,5 Мгц), то она начинает излучать пучки ультразвуковых колебаний, направленных под прямым углом к ее большим граням. Эта же пластинка при попадании на нее таких колебаний извне преобразует их в переменный электрический ток.

Схема ультразвукового дефектоскопа дана на рис. 209. На экране осциллографа 4 первоначальный сигнал дает пик *а*; обратный сигнал, отраженный от противоположной стороны листа, дает пик *в*. Если в шве имеется дефект, то часть пучка колебаний отражается от этого дефекта и дает на экране промежуточный пик *б*. Расстояние между пиками *а* и *б* позволяет определить глубину залегания дефекта.

На рис. 210 показаны внешний вид дефектоскопа и посылаемые им сигналы.

Ультразвуковые дефектоскопы УЗД-7, УЗД-НИИМ-5, ДУК-11ИМ и ДУК-13ИМ и другие предназначены для выявления внутренних дефектов (трещин, пор, расслоений, непроваров и т. п.) площадью 2 мм² и более. При наличии такого дефекта загорается лампочка, появляется звук в наушниках телефона и возникает импульс на экране электронно-лучевой трубки. Прибор имеет несколько искательных головок. Контролируемая толщина металла от 8 до 5000 мм, частота от 0,16 до 5 Мгц. Приборы ДУК-11ИМ, ДУК-13ИМ, УЗДНИИМ-3 выпускаются в портативном исполнении.

Магнитный метод. Этот метод контроля основан на изменении направления линий магнитного по-

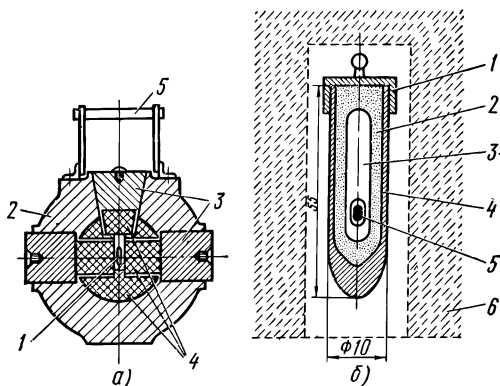


Рис. 207. Устройство для использования радиоактивных изотопов:

а — переносной контейнер; 1 — ампула с радиоактивным изотопом, 2 — чугунный корпус, 3 — чугунные пробки, 4 — свинец, 5 — ручка для переноса контейнера; *б* — ампула с радиоактивным изотопом: 1 — крышка, 2 — вата, 3 — стеклянная ампула, 4 — латунная гильза, 5 — радиоактивное вещество, 6 — свинцовый футляр

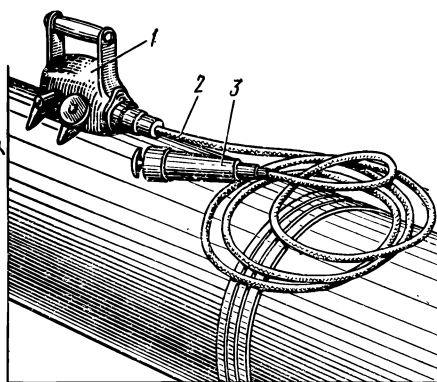


Рис. 208. Гамма-дефектоскоп РИД-21-Г:

1 — контейнер с радиоактивным изотопом, 2 — тросик дистанционного управления, 3 — рукоятка управления затвором контейнера

тока около места расположения дефекта, который они огибают вследствие меньшей магнитной проницаемости дефекта по сравнению с целым металлом (рис. 211). По способу определения места залегания дефекта существуют два способа контроля: порошковый (сухой или эмульсионный) и индукционный. При сухом способе порошок закиси-окиси железа (окалины) с частицами размером 5—10 мк наносят на поверхность шва с помощью сита или

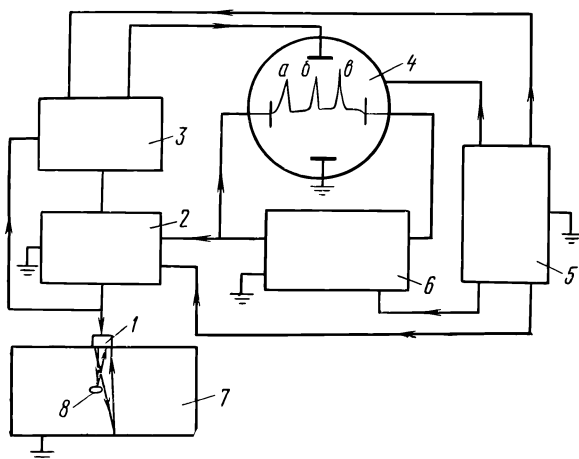


Рис. 209. Схема ультразвукового дефектоскопа:

1 — шуп с пьезодатчиком, 2 — ламповый генератор высокочастотных электрических колебаний, 3 — усилитель, 4 — катодная трубка (осциллограф), 5 — блок питания током, 6 — развертывающее устройство, 7 — проверяемое изделие, 8 — дефект; а, б и в — пики на экране осциллографа

распылителя. При эмульсионном способе шов покрывают жидкой смесью (эмульсией) из указанного порошка, разведенного в керосине или трансформаторном масле. Затем изделие намагничивают с помощью постоянного или переменного сварочного тока до 200 а от преобразователя или трансформатора. Ток пропускают по обмотке, имеющей несколько витков, окружающих изделие. Под действием возникающего в изделии магнитного поля частицы железного порошка располагаются гуще около места с дефектом: непроваром, трещинами. Поскольку этим способом выявляются только дефекты, расположенные перпендикулярно направлению магнитных линий, то каждый участок нужно проверять дважды: один раз намагничивая его поперек, а второй — вдоль шва.

Для намагничивания применяют дисковые магниты и передвижные намагничивающие устройства типов ПНУ-М1 и ПНУ-М2.

При индукционном способе применяют дефектоскоп системы К. К. Хренова и С. Т. Назарова (рис. 212). В тот момент, когда искателем 1 проводят над местом расположения дефекта, в нем индуцируется ток, который затем проходит в усилитель 2 и дает звуковой

сигнал в телефоне 3; при этом одновременно загорается сигнальная лампа.

Магнитным методом можно выявить в сварных швах изделий из стали и чугуна с толщиной стенки от 6 до 25 мм мелкие внутренние трещины и непровары на глубине до 5—6 мм. Дефекты на большей глубине, а также поры и шлаковыключения этим методом не определяются. Магнитный метод (так же, как ультразвуковой) служит для предварительного определения наличия дефектов и места их залегания в сварных швах, затем эти участки просвечивают для установления размеров дефекта.

Магнитографический метод. Этот метод разработан и внедрен институтом ВНИИСТ для контроля сварных швов стальных трубопроводов. Он является усовершенствованной разновидностью магнитного метода.

Обнаруженные дефекты отмечают на ферромагнитной ленте, подобной применяемой для звукозаписывающих установок. Вследствие неоднородности металла шва в месте расположения дефекта

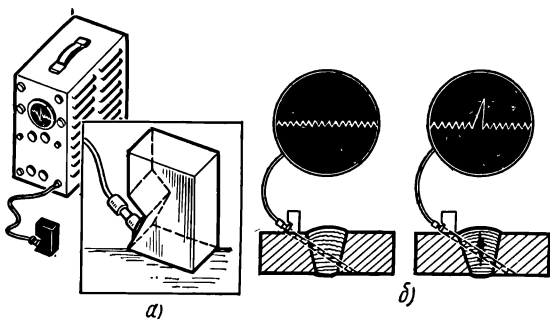


Рис. 210. Общий вид ультразвукового дефектоскопа (а) и его сигналы (б) (слева без дефекта, справа — при наличии дефекта)

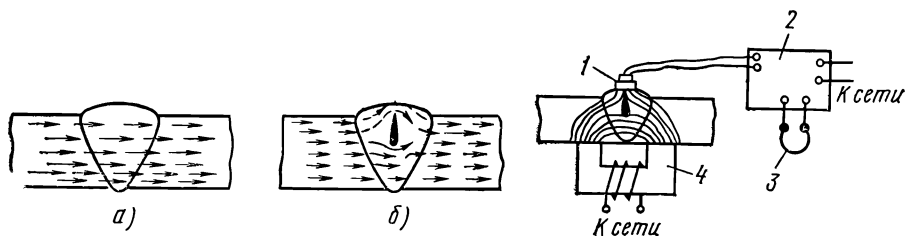


Рис. 211. Путь линий магнитного потока при прохождении через сварной шов:
а — без дефекта, б — при наличии дефекта

Рис. 212. Контроль шва с помощью магнитного дефектоскопа системы К. К. Хренова и С. Т. Назарова:

1 — искатель, 2 — усилитель, 3 — наушники телефона, 4 — электромагнит

изменяется его магнитная проницаемость, поэтому меняется степень намагничивания ленты на этом участке. Наличие дефекта, например трещины, увеличивает остаточную намагниченность ленты. Если затем ленту пропустить через аппарат для воспроизведения магнит-

ной записи, а получаемые импульсы передавать на осциллограф, то по величине и форме отклонения луча на экране осциллографа можно судить о величине и характере дефекта шва. Магнитографический метод контроля достаточно

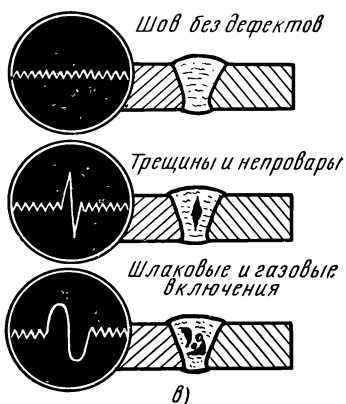
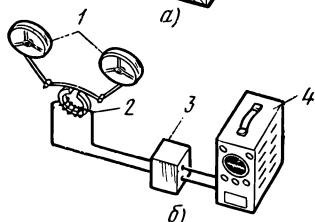
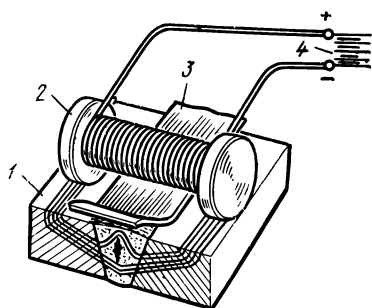


Рис. 213. Магнитографический метод контроля:

а — запись: 1 — испытуемый образец, 2 — электромагнит, 3 — ферромагнитная лента, 4 — источник постоянного тока; б — воспроизведение: 1 — катушка с лентой, 2 — приемная головка, 3 — усилитель, 4 — осциллограф, в — характер кривых на экране осциллографа

прост и точен, им можно проверять швы, находящиеся в различных пространственных положениях, он безвреден для обслуживающего персонала. Этот метод может применяться для проверки стали толщиной не более 12 мм. На рис. 213 схематически показан этот способ контроля.

Контроль с помощью электронно-оптического преобразователя. Схема устройства электронно-оптического преобразователя показана на рис. 214. Шов 1 просвечивается рентгеновскими лучами, которые, пройдя стеклянную стенку вакуумной трубки, вызывают свечение слоя 3 флуоресцирующего вещества, нанесенного на алюминиевый экран 2. На экране возникает изображение шва. Непосредственно на слой 3 флуоресцирующего вещества нанесен фотокатод 4. Свечение экрана выбивает электроны фотокатода, число которых в каждой его точке пропорционально яркости свечения экрана и интенсивности лучей, прошедших через шов. Выбрасываемые катодом электроны ускоряются высоким напряжением от внешнего источника питания и попадают на анод — флуоресцентный экран 5, вызывая его свечение яркостью в 1000 раз большей, чем у экрана 2. На экране 5 возникает уменьшенное изображение шва, которое наблюдатель 7 рассматривает через оптическую увеличительную линзу 6. Этим методом можно просматривать все

сварные швы, выявляя скрытые в них дефекты.

Контроль сварных швов просвечиванием рентгеновскими лучами с применением электронно-оптических преобразователей позволяет в несколько раз увеличить производительность этой операции и ав-

томатизировать ее. На рис. 215 показана схема автоматизированного способа такого контроля с применением телевизионных экранов для наблюдения дефектов сварки. Максимальная чувствительность метода контроля при помощи электронно-оптических преобразователей достигается при определении дефектов в легких сплавах.

Испытание швов на межкристаллитную коррозию. На межкристаллитную коррозию испытывают только изделия, сварные соединения которых подвергаются действию агрессивных сред. Методы и порядок контроля регламентируются ГОСТ 6032—58*.

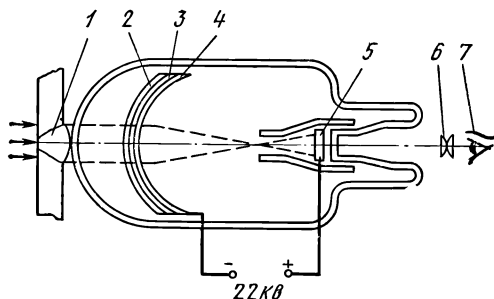


Рис. 214. Схема электронно-оптического преобразователя для контроля сварных швов

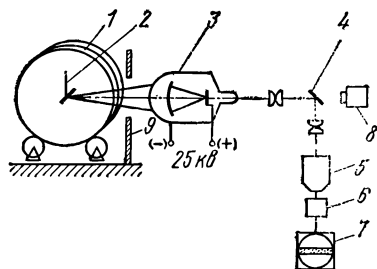


Рис. 215. Схема автоматизированного контроля сварных швов с применением электронно-оптического преобразователя:

1 — сварное изделие, 2 — рентгеновская трубка, 3 — электронно-оптический преобразователь, 4 — оптическая система, 5 — кинескоп, 6 — усилитель, 7 — кинескоп телевизора, 8 — фото- или кинокамера, 9 — свинцовый экран

Цветная дефектоскопия. Этот метод применяется для выявления поверхностных дефектов швов и околошовной зоны: трещин, пор, шлаковых включений, непроваров, выходящих на поверхность шва. При помощи цветной дефектоскопии можно обнаружить трещины глубиной свыше 0,1 мм и шириной до 0,001 мм на любых металлах, а также выявить участки, пораженные межкристаллитной и ножевой коррозией.

Глава XXVI

МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Механизация и автоматизация технологических процессов является основным направлением современного технического развития во всех отраслях народного хозяйства. Особое значение это имеет для повышения качества и производительности труда в сварочном производстве.

§ 1. МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ОСНОВНЫХ СВАРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ

При замене ручной сварки автоматической основные операции—подача электрода в дугу по мере его плавления, поддержание длины дуги, перемещение дуги вдоль шва — выполняются автоматичес-

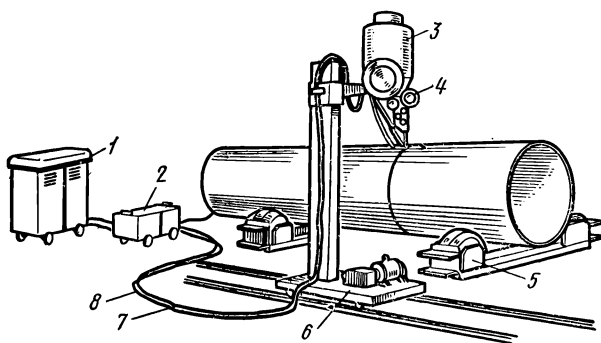


Рис. 216. Установка для автоматической электродуговой сварки под флюсом цилиндрических обечаек:

1 — источник питания сварочным током, 2 — шкаф с аппаратурой управления, 3 — флюсовая аппаратура, 4 — сварочная головка, 5 — стенд роликовый для размещения изделия и его вращения при сварке круговых швов, 6 — тележка для крепления сварочной головки и ее продольного перемещения, 7 — провод управления, 8 — провод подвода сварочного тока

ки соответствующими механизмами: сварочными головками и тракторами. Сварщик выполняет только наладку, контролирует протекание процесса, включает и выключает автомат.

На рис. 216 показана автоматическая установка для сварки цилиндрических обечаек под флюсом и ее основные узлы. Установки

для автоматической дуговой сварки состоят из следующих основных механизмов:

1. Сварочной головки, осуществляющей возбуждение дуги, подачу проволоки в дугу и поддержание длины дуги постоянной.

2. Механизма для перемещения сварочной головки по шву или устройства для закрепления и перемещения (кругового или продольного) свариваемого изделия относительно головки.

3. Пункта питания сварочным током (трансформатора, преобразователя, выпрямителя) с электроаппаратурой для контроля и дистанционного управления.

Если сварочная головка и механизм ее перемещения совмещены на одной тележке, то такой автомат называется сварочным трактором. Сварочный трактор имеет небольшие размеры, малую массу и обычно перемещается непосредственно по свариваемому изделию. В специализированных автоматах и тракторах применяются механизмы, приспособленные для перемещения сварочной головки по траектории, соответствующей расположению шва на изделии (например, для швов на вертикальной и горизонтальной плоскостях, стыковых швов труб и др.). В промышленности получили широкое применение автоматы для дуговой сварки под флюсом, в углекислом газе, аргоне и электрошлаковой сварки.

На рис. 217 показаны некоторые виды тракторов и головок для автоматической дуговой сварки. Применяются автоматические головки двух основных типов: с постоянной скоростью подачи сварочной проволоки и с переменной скоростью подачи проволоки. В автоматах с постоянной скоростью подачи проволоки (например, тракторы ТС-17-М и УТ, головка АБС и др.) происходит саморегулирование длины дуги. Процесс этот протекает следующим образом. При случайном сокращении длины дуги ее напряжение падает, поэтому сварочный ток в дуге возрастает; это ускоряет плавление проволоки, и длина дуги вновь увеличивается до первоначальной величины, восстанавливая нарушенное равновесие; при случайном удлинении дуги процесс ее саморегулирования протекает в обратном порядке.

§ 2. МЕХАНИЗАЦИЯ СБОРОЧНО-СВАРОЧНЫХ РАБОТ

Для механизации операций сварочного производства, и в том числе сборочно-сварочных работ, применяется разнообразное оборудование, оснастка и приспособления.

При современной организации сварочных работ в серийном производстве использование приспособлений обязательно. Сборка и сварка без приспособлений допускаются только в отдельных случаях.

Для сборки и сварки используют следующие виды приспособлений:

1. Опорные плиты, стеллажи, сборочно-сварочные стенды. Плиты для сборки выполняются литыми из чугуна

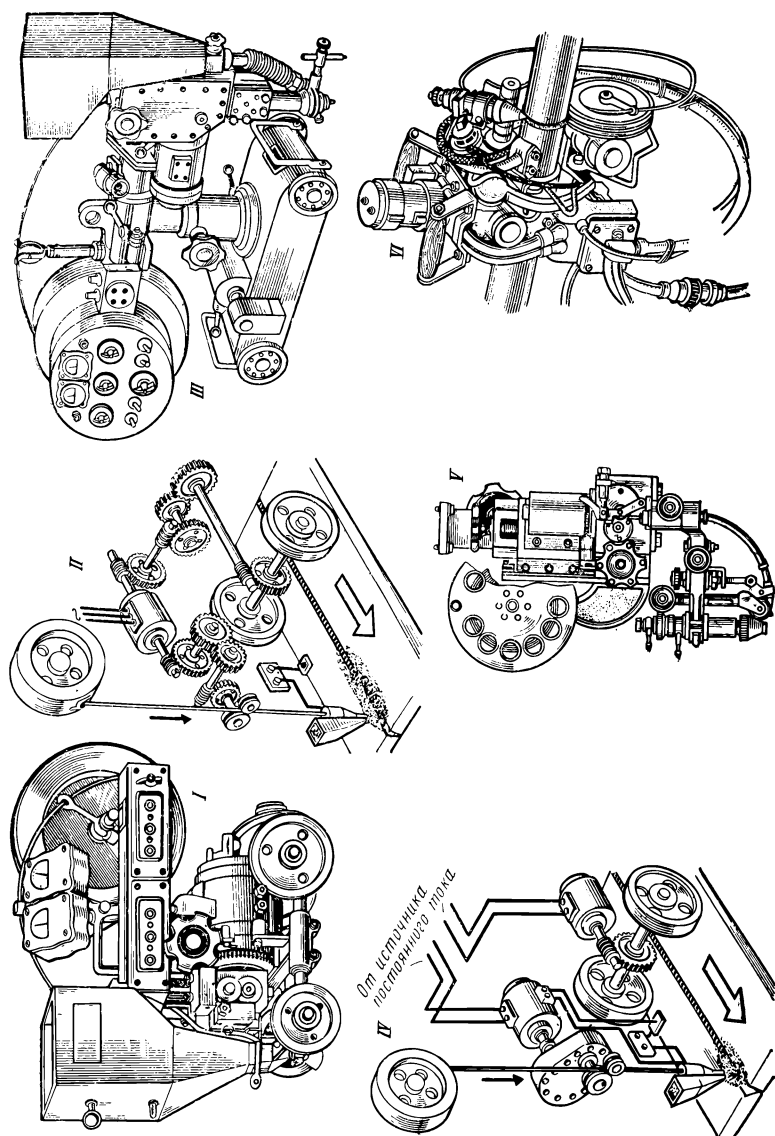


Рис. 217. Сварочные тракторы и головки для автоматизации процесса сварки:

I — сварочный трактор ТС-17-М с постоянной скоростью подачи проволоки, II — схема механизма подачи проволоки и перемещения трактора АДС-1000-2 с автоматическим регулированием скорости подачи проволоки в дугу в зависимости от напряжения дуги, III — схема механизма подачи проволоки и перемещения трактора АДС-1000-2, V — головка АВГ-2 для сварки в аргоне вольфрамовым электродом с присадочной проволокой, VI — автомат для сварки стыков труб в аргоне вольфрамовым электродом с присадочной проволокой

с пазами для закладки головок болтов, закрепляющих изделия, и отверстиями для установки упоров.

Постоянные сборочно-сварочные стенды изготовляют из двутавровых балок, швеллеров или рельсов с продольными пазами для крепящих болтов. Для сборки решетчатых конструкций применяют стеллажи (рис. 218, а) из балок и рельсов, располагаемые на козлах или столбах.

При сварке встык плоских стальных листов применяются также магнитные стенды, которые не препятствуют перемещению листов под действием внутренних напряжений от усадки металла, но предупреждают их коробление в плоскости, перпендикулярной плоскости шва.

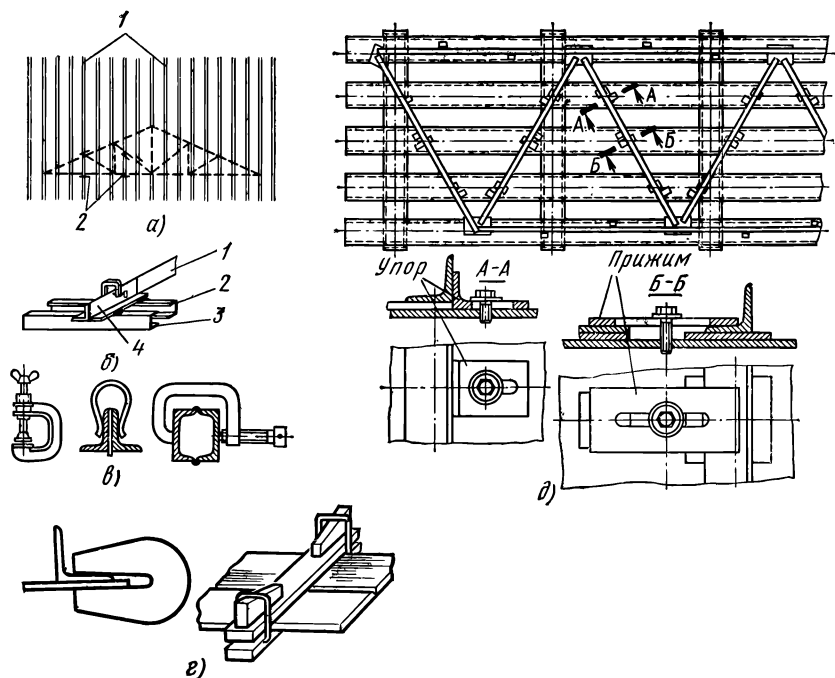


Рис. 218. Приспособления для сборки и сварки решетчатых стропильных ферм: а — стеллажи, б — приспособление для установки, 1 — уголок фермы, 2, 3 — стеллажи, 4 — коротыш-фиксатор; в и г — приспособления для закрепления элементов фермы на стеллаже, д — упоры и прижимы

2. Упорные и зажимные приспособления. В качестве упоров используют фиксаторы из отрезков уголков, шпильки и др. (рис. 218, б и д). Для стягивания листов и деталей применяют струбцины, скобы и другие устройства различных размеров и конструкций, в том числе клиновые, пружинные, рычажные, винтовые, эксцентриковые (рис. 218, в и г; рис. 219, а и б).

Широко используются быстродействующие зажимные устройства: пневматические, вакуумные, электромагнитные и гидравлические.

ские. Для включения их в действие достаточно повернуть кран, рычаг или нажать кнопку. Пневматические устройства работают от воздуха давлением 4—5 кгс/см².

3. **Стяжки и распоры.** Применяют для стягивания листов между собой или распора их изнутри, например, при сварке цилиндрических обечаек. Простейшим видом стяжек являются два уголка,

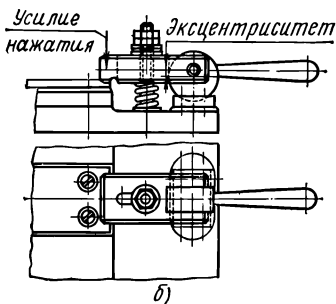
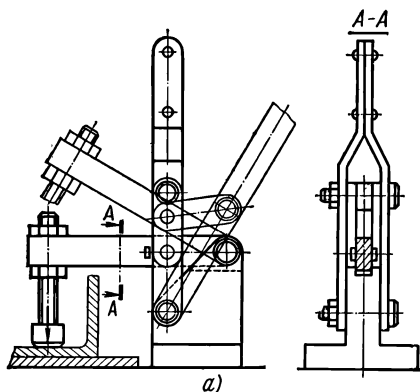


Рис. 219. Рычажный прижим (а), эксцентрикый прижим (б)

временно прихватываемые к поверхности листов и стягиваемые с помощью болта с гайкой. После прихватки уголки срубают, а место их приварки зачищают. Распорные приспособления состоят из двух или нескольких болтов, ввертываемых в общую стяжку или кольцо; вращая болты, распирают обечайку изнутри. Обычно этими приспособлениями пользуются при сварке поперечных швов обечаек (рис. 220, а).

При монтаже и сварке резервуаров стягивание и выравнивание кромок листов выполняют при помощи сборочно-клиновых приспособлений (рис. 220, б). Для повышения точности сборки и сварки продольных швов резервуаров применяют струбины со стяжными винтами (рис. 220, в).

4. **Поворотные приспособления.** Крупные цилиндрические изделия (котлы, цистерны и т. д.) в процессе сварки поворачивают при помощи роликов, имеющих редук-

торный привод для вращения от электродвигателя (рис. 221, а).

5. **Кантователи.** Автоматическую сварку различных рамных конструкций, опор и других подобных изделий из листовой стали выполняют с помощью кантователей (рис. 221, б и в) грузоподъемностью до 15 т и более, снабженных электроприводом или гидроприводом. Кантователь только поворачивает свариваемую конструкцию в сборе на опорных роликах и позволяет вести сварку всех швов в нижнем, т. е. наиболее удобном положении. Колонны и балки сваривают при помощи цепных кантователей (рис. 221, г) или кантователей с челюстными захватами и др.

Для некоторых видов работ, например сварки лепестковых днищ, применяют специальные кантователи (рис. 221, д). Управление кантователем производится дистанционно, путем нажатия кно-

пок на пульте управления. Оба привода (поворот рамы и вращение крестовины) могут работать раздельно и одновременно от соответствующих электродвигателей. При сварке швов по образующей днища работают оба привода, а при переходе к сварке следующего шва работает только привод для поворота крестовины.

6. Манипуляторы (рис. 222, а, б, в и г) и позиционеры (рис. 222, д) применяют в качестве универсальных поворотных приспособлений при сварке машиностроительных конструкций.

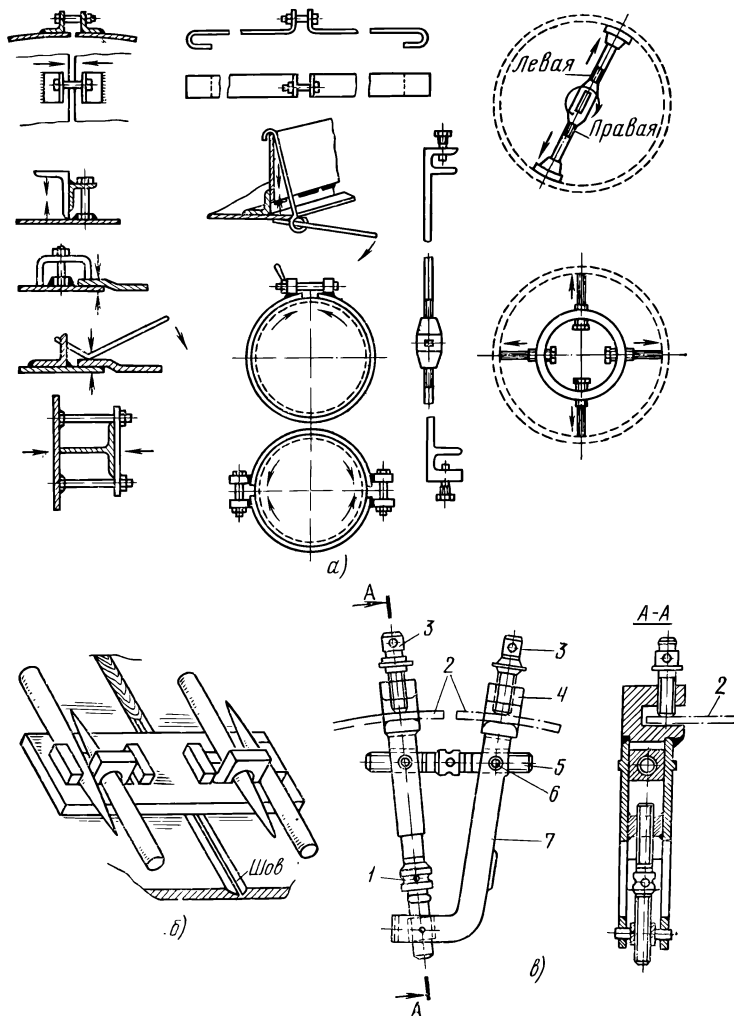


Рис. 220. Приспособления:

а — стяжные и распорные, б — сборочно-клиновое, в — струбцина со стяжными винтами; 1 — винт регулировочный, 2 — стягиваемые листы, 3 — стяжные винты, 4 — зажим, 5 — стяжной винт, 6 — поворотная гайка, 7 — коленчатая планка

Манипуляторы имеют регулируемую скорость вращения при различных углах наклона оси изделия. Скорость вращения берется равной скорости сварки. Манипуляторы бывают настольные (для изделий весом до 100 кг), консольные (до 1 т), карусельные и домкратные — для более тяжелых изделий. Наибольшее распростране-

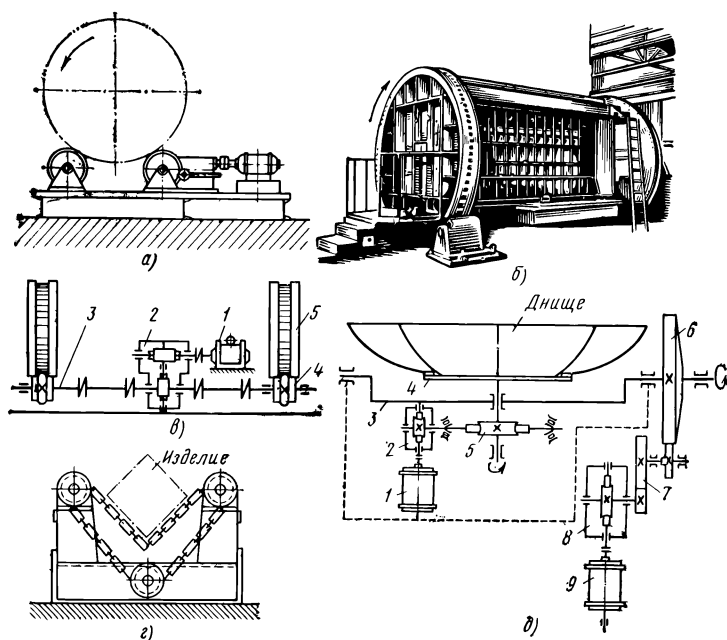


Рис. 221. Поворотные приспособления:

а — ролики с электроприводом для вращения цилиндрических обечаек, б — кольцевой кантователь (общий вид), в — схема привода кольцевого кантователя: 1 — электродвигатель, 2 — редуктор, 3 — вал, 4 — звездочка, 5 — опорные кольца; г — цепной кантователь, д — кантователь для сварки листовых дна диаметром 1400—3000 мм и весом до 2500 кг (схема); 1 и 9 — электродвигатели, 2 — червячный редуктор вращения крестовины, 3 — рама крестовины, 4 — крестовина для крепления дна, 5 — червячная пара вращения оси крестовины, 6 и 7 — зубчатые колеса, 8 — червячный редуктор механизма вращения рамы кантователя

ние имеют карусельные и консольные манипуляторы. Планшайба манипулятора может поворачиваться в пределах 180—360° с помощью электродвигателей. Станина может качаться, изменяя угол наклона стола от 0 до 90° с помощью гидравлических домкратов.

Позиционеры отличаются от манипуляторов тем, что не имеют переменной регулируемой скорости вращения планшайбы и поэтому не могут применяться для вращения изделия при автоматической сварке кольцевых швов. Позиционеры служат для поворота и установки изделия в наиболее удобное для сварки положение. Управление двигателями манипулятора и позиционера — дистанционное кнопочное.

Грузоподъемность манипуляторов и позиционеров от 0,5 до 16 т, а в отдельных случаях достигает 25, 50 и даже 100 т. Использование манипуляторов и позиционеров в полтора-два раза сокращает время, затрачиваемое на вспомогательные операции, облегчает труд сборщиков и сварщиков, повышает производительность труда на 15—20% и улучшает качество швов. Манипуляторы и позиционеры

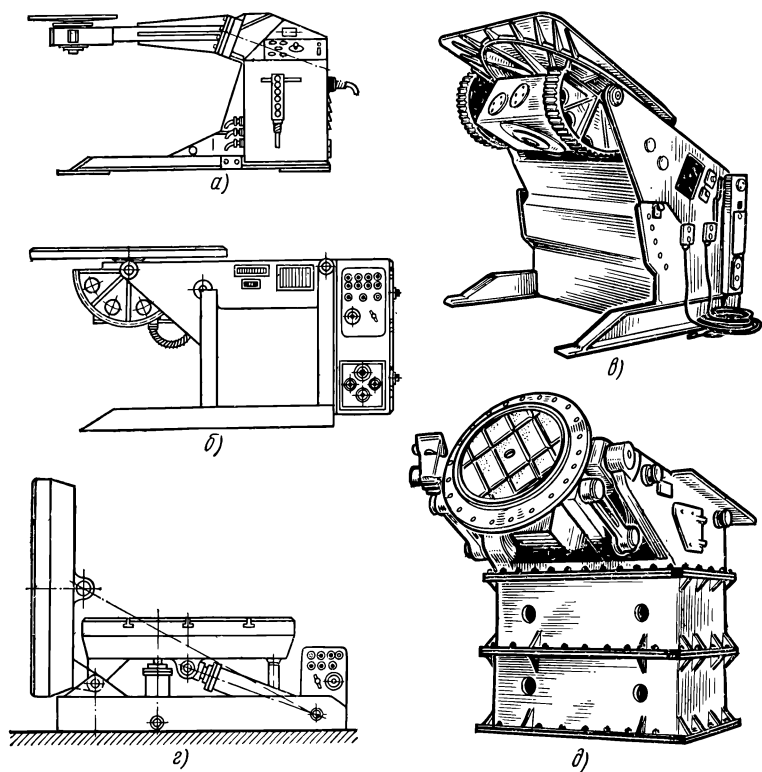


Рис. 222. Манипуляторы и позиционеры:

а — консольный манипулятор, *б* и *в* — карусельные манипуляторы, *г* — манипулятор с гидравлическими домкратами для изменения угла наклона вращающейся шайбы в пределах до 90°, *д* — позиционер грузоподъемностью до 16 т

могут использоваться не только при сварке изделия, но также при сборке, контроле, очистке, покраске и отделке изделия до и после сварки.

7. Кондукторы — приспособления для сборки и сварки определенного узла или изделия. Кондукторы устанавливают взаимное расположение частей изделия, ускоряют сборку и повышают ее точность, а также уменьшают коробление детали при сварке. Они обычно состоят из рамы-каркаса с расположенными на нем упорами и зажимами для закрепления деталей.

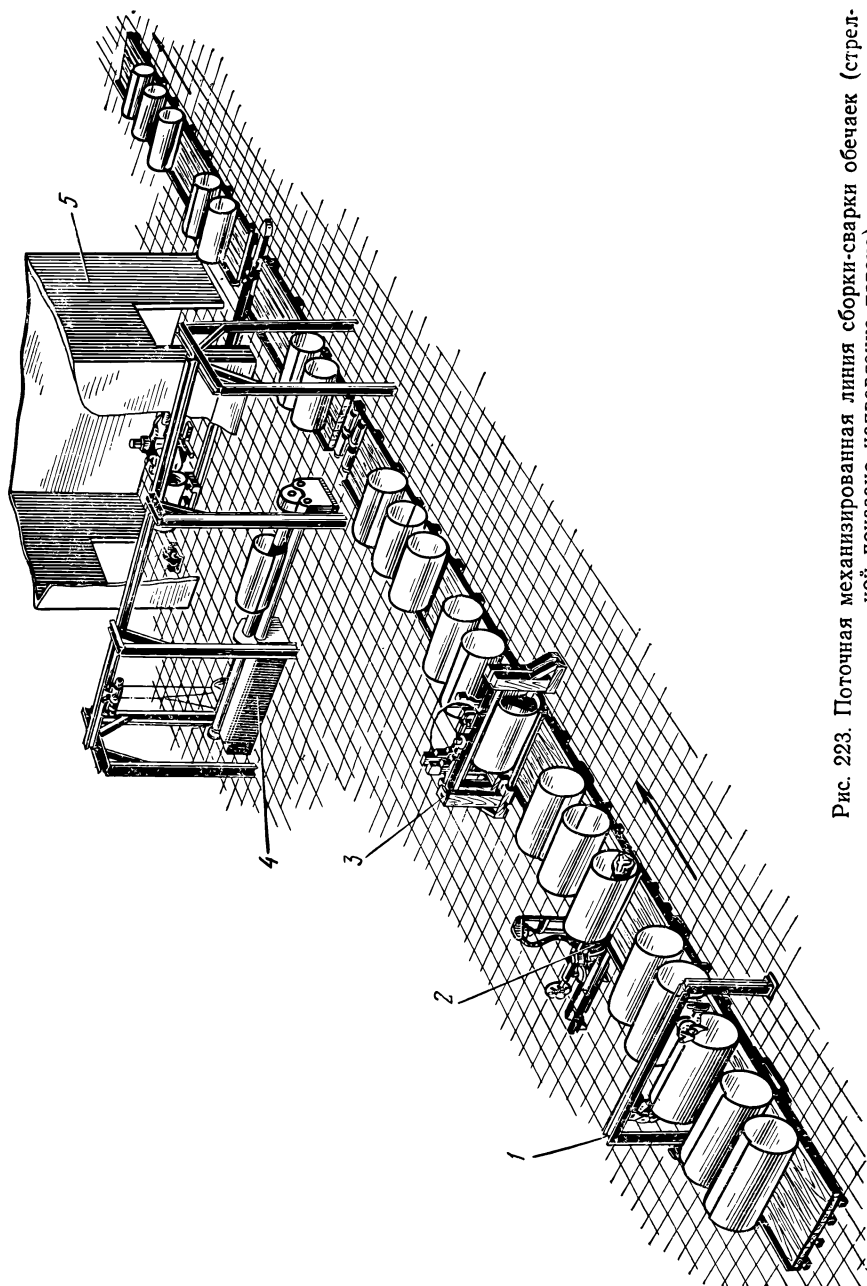


Рис. 223. Поточная механизированная линия сборки-сварки обечаек (стрелкой показано направление потока)

§ 3. ПОТОЧНЫЕ ЛИНИИ СБОРКИ И СВАРКИ

Наибольший технико-экономический эффект дает комплексная механизация и автоматизация сварочного процесса, осуществляемая путем организации линий непрерывного поточного производства. В поточной линии механизированы и автоматизируются все операции: подача металла со склада, его подготовка, раскрой, сборка, сварка, испытание изделия после сварки, покраска и отделка, подача на склад готовой продукции. В поточном производстве объем механизации и автоматизации может достигать 80—90 %, а в отдельных случаях — 100 %. Поточные линии целесообразно организовывать только в условиях крупносерийного и массового производства.

На рис. 223 показана механизированная поточная линия сборки-сварки обечаек цилиндрических корпусов и резервуаров диаметром от 500 до 1200 мм. Сначала производится стягивание кромок гидравлической скобой и прихватка их на стенде 1, а также приварка выводных планок. На стенде 2 обечайка сваривается изнутри под флюсом автоматом АДС-2000-2, снабженным удлинителем. Стенд имеет механизм поворота для установки обечайки швом вниз и пневмофлюсовую подушку. Между стендами обечайки перемещаются скатыванием по наклонным стеллажам.

После сварки внутреннего шва обечайка пневматическим устройством выталкивается на промежуточный стеллаж, откуда попадает на стенд 3, где ее сваривают снаружи на портальной сварочной установке, по рельсам которой перемещается автомат АДС-2000-2. Для удаления остатков флюса применяются флюсоотсосы.

На следующем рабочем месте от обечайки отрезают выводные планки и она поступает на калибровочные вальцы 4. В камере 5 обечайки подвергаются рентгеноконтролю. Предварительно швы обечаек отбраковывают магнитным дефектоскопом.

§ 4. ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА И РАБОЧЕГО МЕСТА

Основными задачами организации труда являются: увеличение производительности на основе применения передовой техники, технологии и обмена производственным опытом, улучшение условий труда и его облегчение путем механизации и автоматизации работ, улучшение санитарно-гигиенических условий, состояния техники безопасности, повышение квалификации и культурно-технического уровня рабочих, укрепление трудовой дисциплины и широкое развитие социалистического соревнования.

Повышение производительности труда в значительной мере зависит от правильной организации рабочего места. Мероприятия по правильной и рациональной организации рабочего места должны обязательно предусматриваться в планах научной организации труда (НОТ).

Рабочее место должно быть оборудовано шкафом для хранения инструмента, электродов и чертежей, сборочно-сварочными приспособ-

соблюдениями, сварочными столами. Все инструменты следует располагать в определенном порядке, чтобы они всегда находились под рукой.

Рабочее место для сварки тяжелых изделий необходимо оборудовать подъемными и поворотными приспособлениями.

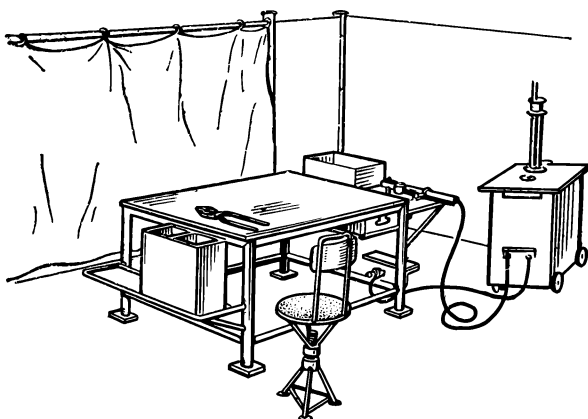


Рис. 224. Кабина сварщика

В зависимости от размеров изделий и характера сварочных работ рабочее место может быть расположено в отдельной кабине или в цехе у сварочного стенда, или на монтажной площадке. Размеры кабины в плане 2×2 или $2 \times 2,5$ м. На рис. 224 показана типовая кабина для ручной дуговой сварки. Если кабина расположена на поточной линии или конвейере, то в боковых стенках ее делаются проемы для прохождения конвейера с деталями, закрываемые дверцами или брезентовыми шторами.

§ 5. НОРМИРОВАНИЕ СВАРКИ И РЕЗКИ

Определение нормы времени на сварку и резку. В условиях социалистической промышленности техническое нормирование имеет особое значение, так как является основой для организации труда, его оплаты и планирования производства. Норма времени складывается из следующих элементов:

а) **подготовительно-заключительного времени:** оно дается на партию изделий и включает время на получение задания: инструктаж, ознакомление с работой, подготовку и наладку оборудования и приспособлений, сдачу работы;

б) **основного или машинного времени,** которое дается на деталь или на 1 м шва или реза; основным называется время горения дуги или пламени, затрачиваемое только на процесс сварки или резки, включая и время на разогрев металла в начале резки;

в) вспомогательного времени, учитывающего затраты на смену электродов, промер и осмотр шва, очистку кромок и швов: установку поворот во время сварки и уборку изделия, клеймение швов, переходы на другое место сварки и пр.;

г) дополнительного времени на обслуживание рабочего места (раскладку и уборку инструмента, смену баллонов, подключение шлангов, регулирование тока и давления газов, зажигание, регулирование и охлаждение горелки), на отдых и естественные потребности.

Основное время зависит от вида и толщины свариваемого металла, тока, мощности горелки, способа сварки, положения шва в пространстве и квалификации сварщика. При резке основное время зависит от толщины разрезаемого металла и способа резки.

Чтобы найти общее время, нужно сначала определить основное время, а затем прибавить к нему затраты времени по пунктам «а», «в», «г».

Основное время определяют по формуле

$$t_0 = \frac{7,85 \cdot F \cdot L}{I \cdot K_n},$$

где t_0 — основное время, ч;

L — длина шва, см;

F — площадь сечения шва, см²;

7,85 — плотность наплавленного металла, г/см³;

I — ток, а;

K_n — коэффициент наплавки, г/а·ч.

Количество наплавленного металла G в г подсчитывают по формуле $G = 7,85 F \cdot L$. Площади поперечного сечения швов F подсчитывают по чертежам сварных соединений и таблицам.

При многослойной сварке и выполнении разных слоев на различных режимах основное время сварки подсчитывают для каждого слоя отдельно, а затем суммируют.

Полученное время t_0 нужно увеличить на 25% при сварке вертикального шва, на 30% для горизонтального и на 60% для потолочного шва.

Подготовительно-заключительное, вспомогательное и дополнительное время при ручной дуговой сварке составляет в процентах от основного времени: для сварки в условиях цеха — от 30 до 50%, для монтажной сварки на строительстве — от 40 до 60%.

При автоматической сварке под флюсом основной величиной является скорость сварки v м/ч, которая задается режимом сварки.

Основное время t_0 (ч) при автоматической сварке одного слоя шва длиной L (м) равно

$$t_0 = \frac{L}{v}.$$

При многослойных швах полученную величину t_0 следует умножить на число слоев (проходов) при сварке.

Вспомогательное время при автоматической сварке (на регулирование режима, установку и снятие изделия и пр.) подсчитывают отдельно для каждой операции с помощью нормировочных таблиц, составленных по данным хронометража этих операций. Сумма вспомогательного и дополнительного времени при автоматической сварке под флюсом может составлять от 60 до 80% основного времени.

Основное время (*мин*) при газовой сварке подсчитывают по формуле

$$t_o = K \cdot S \text{ мин/м,}$$

где S — толщина свариваемого металла, *мм*;

K — коэффициент, зависящий от рода свариваемого металла. Значения коэффициента K принимают следующие:

для низкоуглеродистой стали $K = 4 \div 5$;

для легированной стали, чугуна, латуни и бронзы $K=6$;

для меди $K=3,5$;

для алюминия и его сплавов $K=4$.

Основное время кислородной резки (*мин*) подсчитывают по формуле

$$t_o = \frac{L}{v},$$

где L — длина резки, *мм*;

v — скорость резки, *мм/мин*.

Скорость резки берется по данным таблиц режимов резки и в зависимости от способа резки.

К основному времени резки прибавляют время на начальный подогрев металла, относя его к 1 *пог. м* длины реза пропорционально общей длине реза.

Время на подогрев металла при резке в начальной точке у края листа при использовании ацетилена составляет для стали толщиной 10—20 *мм* — 5—10 *сек*; толщиной 20—100 *мм* — 7—25 *сек*; толщиной 100—200 *мм* — 25—40 *сек*. При работе на керосине это время нужно увеличить на 30%, а на газах — заменителях ацетилена — на 40—60%.

Глава XXVII

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ СВАРКЕ И РЕЗКЕ

В социалистическом обществе забота о здоровье трудящихся и создании безопасных условий труда на производстве является одной из главных задач.

Ответственность за организацию и состояние техники безопасности на предприятиях несет администрация этих предприятий, в составе которой имеются специальные отделы по технике безопасности или инженеры по технике безопасности.

Государственный контроль за осуществлением установленных норм и правил по технике безопасности осуществляют инспекции Госгортехнадзора СССР и инспектора по технике безопасности ЦК Профсоюзов рабочих по данной отрасли промышленности. За соблюдением санитарных норм условий труда следит Государственная санитарная инспекция, а норм условий пожарной безопасности — Государственная инспекция пожарной охраны.

Общественный контроль в области охраны труда на предприятиях осуществляется также комиссиями по охране труда и общественными инспекторами местных профсоюзных организаций.

Все рабочие перед допуском их к работе должны быть проинструктированы по безопасному ведению работ и в случае необходимости сдать соответствующие испытания по правилам техники безопасности.

§ 1. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ

Вредное влияние излучений электрической дуги. Невидимые ультрафиолетовые лучи, используемые сварочной дугой, вредно действуют на сетчатку и роговую оболочку глаз. Если смотреть незащищенными глазами на свет дуги в течение 5—10 мин, то спустя 1—2 ч после этого появляются боль в глазах, спазмы век, слезотечение, светобоязнь и воспаление глаз. В этом случае нужно обратиться к врачу.

Другие невидимые лучи (инфракрасные), также испускаемые дугой, при длительном действии могут вызвать заболевание глаз.

Для защиты зрения служат щитки и маски с защитными стеклами. Стекла совершенно не пропускают ультрафиолетовых лучей, а инфракрасные лучи пропускают лишь в пределах от 0,1 до 3% общего их количества. Марки и характеристики защитных стекол для электросварщика приведены в главе II. При сварке под флюсом на-

девают очки с бесцветными или слегка затемненными стеклами для защиты глаз от повреждения кусочками шлака или флюса.

Для предохранения от действия лучей сварочной дуги людей, работающих по соседству, места сварки ограждают светонепроницаемыми щитами, ширмами или кабинами из фанеры и брезента высотой 1,8 м. Для улучшения вентиляции внутри кабины стенки не доводят до пола на 25—30 см. Чтобы уменьшить разность в яркости света, стенки кабин окрашивают в матовые светлые цвета (серый, голубой, зеленый, желтый) и увеличивают искусственную освещенность рабочего места.

Загрязнение воздуха пылью, вредными парами и газами. При сварке образуется пыль от окисления паров металла. Для уменьшения вредных примесей в зоне сварки следует применять электроды с рутиловым покрытием, дающие в 1,5—2 раза меньше пыли и в 4—5 раз меньше окислов марганца, чем электроды с покрытиями ОММ-5. При сварке порошковой проволокой АН-1, АН-2, АН-3 и голой проволокой 20ГСЮТ пыли выделяется меньше в 4—8 раз по сравнению с электродами ЦМ-7 и в 1,5—2 раза — по сравнению с ОММ-5; выделение окислов марганца уменьшается в 5—14 раз.

При ручной и полуавтоматической сварке в среде защитных газов образуется повышенное количество окислов азота и пыли в воздухе, особенно при сварке алюминиевых сплавов плавящимся электродом в среде аргона, гелия; значительно меньше образуется окислов азота при сварке в среде CO_2 .

Кроме того, происходит выделение пыли из окислов Al и Mg. Наибольшее выделение пыли (до 139 г/кг электродов) наблюдается при сварке плавящимся алюминиевым электродом, особенно при высоком содержании в сплаве магния. В этих случаях необходима местная и общая вентиляция помещений.

Вольфрамовые электроды с присадкой двуокиси тория могут при большом количестве сварщиков и непрерывной работе в помещениях небольшого объема вызывать накопление очень мелкой пыли и вредных газов. Вольфрамовые электроды с присадкой лантана обладают некоторыми технологическими преимуществами по сравнению с торированными и менее вредны.

При плазменных процессах нагрева (сварке, резке, напылении) образуются: интенсивный высокочастотный шум и ультразвуковые колебания, а также значительные количества озона и окислов азота. В этих случаях рекомендуется применять усиленную местную вентиляцию и средства индивидуальной защиты слухового аппарата работающих.

Для удаления пыли и вредных газов (окислов меди, марганца, фтористых соединений и пр.) у постоянных мест сварки делают отсосы. Чтобы вредные газы не попадали в зону дыхания сварщика, следует применять для местной вентиляции не вытяжные зонты, расположенные над рабочим столом, а широкие боковые отсосы (рис. 225). Количество воздуха, отсасываемого от каждого сварочного поста, должно составлять от 1200 до 2000 м³ на 1 кг расходимых электродов. При сварке на больших токах выделение вредных

окислов (преимущественно марганца) увеличивается, и количество отсасываемого воздуха для каждого поста следует увеличивать до 3000 м^3 на 1 кг проволоки или электродов.

Вредной является сварка внутри резервуаров, где скапливается много пыли и вредных газов. В этом случае для вентиляции в резервуар подается свежий воздух. Лучше всего вентиляционный воздух подавать непосредственно в зону дыхания сварщика.

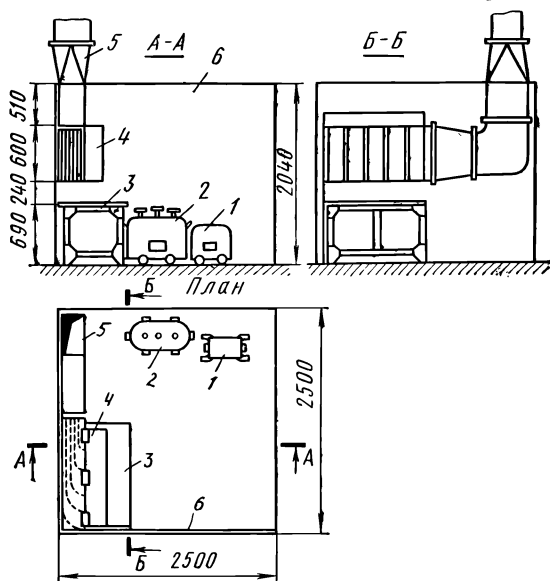


Рис. 225. Схема устройства широкого бокового отсоса:

1 — дроссель, 2 — трансформатор, 3 — сварочный стол, 4 — боковой вентиляционный отсос, 5 — вытяжная труба, 6 — кабина сварщика

При горячей сварке необходимо устраивать вытяжные зонты для удаления продуктов горения из подогревательных ям и горнов. Сварку цинка, латуни, свинца и резку цветных металлов необходимо вести в масках (респираторах) для предохранения от выдыхания выделяющихся окислов и паров цинка, меди и свинца*.

Поражение электрическим током. Предельное напряжение холостого хода при сварке не должно превышать, как правило, 70 в. Особенно опасно поражение током при сварке внутри резервуаров, где сварщик соприкасается с металлическими поверхностями, находящимися под напряжением по отношению к электрододержателю.

В тех случаях, когда сварка выполняется внутри металлических сосудов, а также в сырых помещениях, сварочная установка должна снабжаться специальным устройством, отключающим сварочную цепь при обрыве дуги с выдержкой времени не более 0,5 сек**.

* При газовой сварке латуней газообразным флюсом БМ-1, БМ-2 и проволокой с кремнием, как раскислителем, применение респиратора необязательно.

** «Правила технической эксплуатации и безопасности обслуживания электроустановок промышленных предприятий». Госэнергоиздат, 1961.

Для предупреждения от поражения током необходимо:

1. В сырых местах работать в резиновых сапогах и перчатках (брезентовых рукавицах), одежда должна быть сухой и исправной.

2. Не прикасаться незащищенными руками к токоведущим частям.

3. При работе непосредственно на свариваемом изделии, включенном в сварочную цепь, находиться на резиновом коврик или сухой деревянной подкладке.

4. Внутри резервуаров работать только вдвоем, с подручным сварщика, который находится снаружи резервуара и может оказать помощь в случае необходимости.

5. При временной отлучке и окончании работы обязательно отключать сварочную установку от сети электрического тока.

6. Ремонтировать и монтировать сварочное оборудование только после того, как оно будет обесточено.

7. При обнаружении напряжения в частях аппаратуры или оборудования, не являющихся токоведущими, немедленно прекратить сварку и вызвать мастера или электромонтера.

8. Корпуса сварочной аппаратуры и источников питания должны быть надежно заземлены; запрещается использовать контур заземления в качестве обратного провода сварочной цепи.

9. Включающие и выключающие устройства должны быть защищены кожухами.

10. Номинальный ток плавких предохранителей не должен превышать ток, указанный в электросхеме или паспорте оборудования.

При поражении током пострадавшему должна быть оказана немедленная помощь. Если пораженный током еще держится за провод, нужно немедленно выключить ток или приподнять пострадавшего с земли. При этом лица, оказывающие помощь пострадавшему, должны иметь на руках резиновые перчатки и надежно изолировать себя от земли (встать на сухую доску, резину, надеть галоши и пр.). После отключения пострадавшего от электрической цепи необходимо немедленно вызвать врача и, если пострадавший потерял сознание, делать ему искусственное дыхание до тех пор, пока он не очнется от обморока.

К выполнению сварочных работ могут допускаться только рабочие, сдавшие экзамены по правилам техники безопасности.

Запрещается производить сварочные работы в непосредственной близости от огнеопасных и легко воспламеняющихся материалов (бензина, керосина, пакли, стружки и пр.).

Сварка внутри резервуаров, котлов и в тесных закрытых пространствах должна вестись с систематическими перерывами и выходом рабочих на свежий воздух. Для искусственного освещения применяют лампы напряжением 12 в.

Сварочные работы, не носящие временного характера, должны производиться в отдельных вентилируемых помещениях. Площадь помещения определяется из расчета не менее 4 м² на сварочный пост, между сварочными постами должны быть свободные проходы не менее 1 м. Площадь отдельного сварочного помещения должна

быть не менее 10 м². При этом площадь, свободная от оборудования и материалов, должна составлять не менее 5 м² на каждый сварочный пост.

Все сварочные установки эксплуатируются под наблюдением ответственных лиц, имеющих необходимую техническую и практическую подготовку в области сварочного дела.

Безопасность при выполнении дуговой сварки и резки. При производстве работ по дуговой сварке и резке следует также соблюдать «Правила техники безопасности и производственной санитарии при электросварочных работах», утвержденные Президиумом ЦК профсоюзов рабочих машиностроения 8 января 1960 г. При выполнении работ с использованием источников питания дуги напряжением холостого хода выше 180 в необходимо обращать особое внимание на соблюдение правил электробезопасности и учитывать дополнения и изменения к указанным «Правилам», внесенные Постановлением Президиума ЦК профсоюза рабочих электростанций и электропромышленности 7 февраля 1963 г.

Безопасность при воздушно-дуговой резке. При воздушно-дуговой резке должны обеспечиваться те же меры по технике безопасности, что и при дуговой сварке. Резка должна производиться в кабинах, подобных тем, которые применяются при дуговой сварке. При случайных работах по резке место работ ограждается фанерными щитами или брезентовыми занавесями. Источники питания током следует располагать вне кабин для исключения возможности загрязнения оборудования металлической и шлаковой пылью. Резчик должен работать в сварочном шлеме или пользоваться щитком для защиты от излучений электрической дуги. Марка светофильтра выбирается в зависимости от величины тока. Подсобные рабочие должны защищать глаза очками шоферского типа со стеклами В-1, В-2 и В-3. Спецодежда должна быть такой же, как у электросварщика. Работать следует только в брезентовых рукавицах. Место работ должно быть оборудовано достаточными по мощности вентиляционными отсосами.

При выполнении воздушно-дуговой резки необходимо строго соблюдать правила техники безопасности при работе с электрическими установками и устройствами, во избежание поражения электрическим током. Ток к изделию, подвергаемому резке, должен подводиться по изолированному проводу. Гибкий провод резака следует соединять с токоподводящим проводом с помощью медного кабельного наконечника, стягиваемого болтами. Сечение проводов должно соответствовать величине тока и напряжению сети. Место соединения должно быть изолировано изоляционной лентой. Перед началом работ следует проверить надежность изоляции рукоятки резака во избежание возможного замыкания цепи через тело резчика. При выполнении работ непосредственно на обрабатываемом металле, соединенном с одним из полюсов цепи, резчик должен находиться на резиновом коврик или быть обутым в резиновые галоши.

Во время резки нужно следить за тем, чтобы брызги расплавленного металла, раскаленные огарки угольных электродов и искры не

могли попасть на легковоспламеняющиеся материалы и вызвать пожар. Для сбора огарков следует пользоваться специальным железным ящиком, а для улавливания капель стекающего металла применять железные поддоны. Если работы выполняются на высоте, то под местом резки делается плотный помост, покрываемый асбестом. Около места резки в радиусе менее 10 м не должно быть стружек, пакли и прочих горючих материалов. Для ликвидации возможного пожара вблизи места резки должна находиться бочка с водой, ящик с песком и лопатой, огнетушитель или пожарный кран со шлангом.

§ 2. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ГАЗОВОЙ СВАРКЕ И РЕЗКЕ

Основными источниками опасности при газовой сварке и резке могут быть взрывы ацетилено-воздушной смеси при неправильном обращении с ацетиленовыми генераторами, карбидом кальция и горелками, при обратном ударе пламени. Возможны случаи воспламенения клапанов кислородных редукторов при попадании на них следов масел или резком открывании вентиля баллона. Наиболее опасен взрыв кислородного баллона, находящегося под высоким давлением. Неосторожное обращение с пламенем горелки может быть причиной ожога сварщика и пожара в помещении.

При ручной и механизированной кислородной резке, сварке и других процессах газопламенной обработки газосварщики и газорезчики должны работать в защитных очках закрытого типа со стеклами Г-1, Г-2 и Г-3, имеющими плотность светофильтров по ГОСТ 9497—60*. При расходе ацетилена до $750 \text{ дм}^3/\text{ч}$ — ГС-3; при расходе до $2500 \text{ дм}^3/\text{ч}$ — ГС-7 и свыше $2500 \text{ дм}^3/\text{ч}$ — ГС-12. Вспомогательным рабочим, работающим непосредственно со сварщиком или резчиком, рекомендуется пользоваться защитными очками со стеклами В-1, В-2 и В-3 по ГОСТ 9497—60*.

В помещении, где производится газопламенная обработка металла, должна быть обеспечена вентиляция для удаления вредных газов.

При газовой сварке, резке и нагреве металла внутри закрытых и неполностью закрытых помещений (отсеков и секций судов, резервуаров, котлов, цистерн и т. п.) помимо общеобменной вентиляции цеха должна осуществляться вентиляция с помощью местных отсосов от стационарных или передвижных установок. При недостатке кислорода (менее 19% O_2) в воздухе резервуара или отсека работа в нем не допускается. До производства газопламенных работ внутри отсеков, ям и резервуаров, где возможны скопления вредных газов или нагретого воздуха должны быть установлены и пущены в ход переносные приточные и вытяжные вентиляторы и открыты двери, люки, горловины и иллюминаторы этих помещений.

Нужно следить за тем, чтобы водяной затвор всегда был наполнен водой до надлежащего уровня, и периодически проверять его, открывая пробный кран затвора. После пуска воды в реторту с кар-

бидом следует продувать ее первыми порциями газа, выпуская их наружу. Запрещается работать, не включая водяного затвора или при неисправном водяном затворе.

Нельзя переполнять карбидом секции загрузочных коробок или применять карбид не той грануляции, которая указана в техническом паспорте генератора. Необходимо следить за тем, чтобы корпус генератора и резервуар, из которого подается вода в камеры, всегда были заполнены достаточным количеством воды. Открывать камеры для перезарядки следует только тогда, когда из пробного крана камеры будет выходить вода. Перед открытием крышки нужно снизить давление в камере, выпустив газ через пробный кран. Нельзя перегружать генератор, работая с расходом ацетилена выше установленного предела. Запрещается к одному водяному затвору присоединять несколько горелок или резаков. Следует тщательно промывать генератор от известкового ила не реже двух раз в месяц при ежедневной работе генератора.

Во время перевозки баллонов с газом на них должен быть навешен защитный колпак для предохранения вентиля от повреждения или загрязнения. Перевозить баллоны без колпака не разрешается. Баллоны следует переносить на носилках или перевозить на специальных тележках. Запрещается переносить баллоны на плечах.

При перевозке баллонов, а также при их погрузке и выгрузке необходимо принимать все меры предосторожности против падения и ударов баллонов друг о друга.

Перемещать баллоны в пределах рабочего места (на небольшие расстояния) можно кантовкой в слегка наклонном положении.

Наполненные баллоны должны храниться в вертикальном положении, закрепленными в специальных стойках для предупреждения возможности их падения. Порожние баллоны можно складывать в штабеля высотой не более четырех рядов.

Хранить кислородные баллоны на месте сварки или резки разрешается только при монтажных и строительных работах. При этом баллоны нужно располагать на расстоянии не менее 5 м от сварочной горелки или резака. Запрещается устанавливать или укладывать баллоны около печей, отопительных приборов и других источников тепла. Для хранения партии наполненных баллонов на стройплощадке должен быть построен временный склад из огнестойкого материала или листовой стали.

На каждом передвижном сварочном посту разрешается иметь только два кислородных баллона: один, находящийся в работе, другой — запасной.

Если сварочных постов более десяти, необходимо организовать централизованное снабжение их газами по трубопроводу.

Кислородные баллоны и их вентили нужно предохранять от попадания масел.

Особенно опасным является попадание масла внутрь кислородного баллона, а также попадание в баллон горючих газов, которые образуют с кислородом взрывоопасные смеси.

Категорически запрещается работа с кислородным баллоном,

давление кислорода в котором ниже предела рабочего давления, установленного редуктором данного баллона.

В целях бóльшей безопасности работ целесообразно на кислородном шланге резака ставить обратный клапан подобно тому, как это делается в керосинорезах (см. рис. 94); такой клапан предупреждает перетекание горячего газа в баллон с кислородом при различных нарушениях правил его эксплуатации.

Необходимо тщательно следить за герметичностью и состоянием резиновых рукавов (шлангов). Места соединений рукавов с помощью ниппелей следует располагать вне помещений, где производится сварка и резка. При очень низкой окружающей температуре применять рукава из морозостойкой резины.

Не разрешается перемещение рабочего с зажженной горелкой или резаком за пределами рабочего места, а также подъем по лестницам, лесам и т. п. При перерывах в работе пламя горелки (резака) должно гаситься, а вентиль плотно закрываться. При обнаружении утечки горючих газов и кислорода работы с открытым огнем должны быть приостановлены, утечка устранена, а помещение проветрено. При использовании горючих газов-заменителей ацетилена следует руководствоваться следующими положениями.

Применение газов-заменителей ацетилена и жидких горючих должно быть обосновано соображениями технологической целесообразности и безопасности их использования.

В качестве заменителей ацетилена можно применять горючие и сжиженные газы с низшей теплотворной способностью — не менее 4000 ккал/м^3 , содержащие не более 20% балласта (т. е. негорючих составляющих — азота, углекислоты), а также использовать водород и керосин. Применение одного бензина не рекомендуется*.

Для газов-заменителей должны применяться соответствующие редукторы, окрашенные в красный цвет, снабженные левой резьбой на накидной гайке присоединительного штуцера, соответствующими манометрами и имеющие мембраны из бензо-, масло- и керосиностойкого материала.

Газоснабжение пропан-бутаном газосварочных и газорезательных постов должно осуществляться, как правило, по трубопроводу. При питании аппаратуры для сварки и резки газами-заменителями давлением до $1,5 \text{ кгс/см}^2$ по трубопроводу между газопроводом и горелкой или резаком должен устанавливаться предохранительный затвор закрытого типа (жидкостный или сухой) или обратный клапан, рассчитанные на соответствие, расход и давление газа и защищающие газопровод от перетекания в него кислорода через горелку или резак. Устанавливать на газопроводах для газов-заменителей жидкостные затворы открытого типа запрещается. В качестве предо-

* В случае необходимости может применяться только бензин А-66 при использовании горелок и резаков, специально сконструированных для работы на бензине, например, в установках БУПР для подводной резки, горелках для пайки, при резке в условиях низких температур (ниже -15°C) и пр.

хранительных затворов для газов-заменителей можно применять затворы закрытого типа, предназначенные для ацетилена.

При давлении в газопроводе газа-заменителя свыше $1,5 \text{ кгс/см}^2$ у каждого рабочего поста должен устанавливаться постовой регулятор давления или снижения давления газа и защиты от перетекания кислорода в газопровод.

Газопроводы горючих газов в помещении окрашивают: водорода — в зеленый цвет, всех других горючих газов — в красный цвет. В эти же цвета должны быть окрашены водяной затвор и концы шлангов на длине 0,5 м. Запрещается применять для кислорода шланги, ранее использовавшиеся для горючих газов.

При работе на жидком горючем, кроме указаний, приведенных в гл. XII, § 2, следует руководствоваться следующим.

К выполнению работ с применением керосина, бензина и их смесей могут допускаться только специально обученные рабочие, имеющие удостоверение заводской квалификационной комиссии.

Применение жидких горючих (керосина, бензина и их смесей) на стапельных работах, на строящихся и ремонтируемых судах и в замкнутых помещениях (отсеках, котлах, цистернах) запрещается. Газопламенные работы с использованием жидких горючих разрешаются в помещениях цехов и на открытых площадках. Применение этилированного бензина при газопламенной обработке металлов запрещается во всех случаях.

Бачки для горючего должны иметь манометр, быть испытанными на прочность гидравлическим давлением 10 кгс/см^2 , а на плотность пневматическим давлением 5 кгс/см^2 . Сальник запорного вентиля и обратный клапан насоса не должны пропускать горючее при давлении 5 кгс/см^2 . Наливать горючее в бачок разрешается не более чем на $\frac{3}{4}$ его емкости. Заправка горючим должна производиться в особых помещениях, надежно оборудованных и безопасных в пожарном отношении. Разлитый керосин немедленно удаляется.

При работе на жидких горючих разрешается пользоваться только бензомаслостойкими шлангами по ГОСТ 9356—60* с внутренним диаметром 6 мм и длиной не менее 5 м. Присоединение шлангов к резаку должно быть плотным.

Бачок с горючим должен находиться на расстоянии 5 м от баллонов с кислородом и от источников открытого огня и не ближе 3 м от рабочего места резчика; бачок должен быть расположен так, чтобы на него не попадали пламя и искры при работе. Запрещается подходить с зажженным резаком к бачку для подкачки воздуха в него; во время подкачки бачка резак с закрытым вентилем кислорода должен располагаться на специальной подставке. Запрещается работать с жидким горючим в промасленной или пропитанной горючей жидкостью одежде.

При обратном ударе пламени немедленно должен быть закрыт сначала вентиль подачи кислорода на резаке, затем прекращена подача кислорода от баллона или кислородопровода, после чего закрыт вентиль подачи горючего на резаке и бачке. Запрещается выпускать воздух из бачка до того, как будет погашено пламя резака.

Нельзя отвертывать крышку насоса до полного выпуска воздуха из бачка.

При выполнении работ по газовой сварке и резке необходимо соблюдать «Правила техники безопасности и производственной санитарии при производстве ацетилена, кислорода и газопламенной обработке металлов», утвержденные Постановлением Президиума ЦК профсоюза рабочих машиностроения 2 апреля 1963 г. *.

§ 3. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РЕЗКЕ, СВАРКЕ И НАПЛАВКЕ СЖАТОЙ ДУГОЙ (ПЛАЗМЕННО-ДУГОВОЙ)

Обслуживая электрические устройства в процессе плазменной дуговой обработки металлов, следует соблюдать правила техники безопасности, установленные для электродуговой сварки.

При обращении с баллонами, редукторами и шлангами, а также работе по резке, сварке и наплавке сжатой дугой необходимо руководствоваться правилами по технике безопасности для газовой сварки и резки.

В качестве дополнительных мер по технике безопасности при плазменно-дуговой обработке металлов Институт гигиены имени Эрисмана ** рекомендует проводить следующие мероприятия.

Применять рациональную систему вытяжной вентиляции с целью снижения концентрации пыли и вредных газов в воздухе. В частности, при машинной автоматической, полуавтоматической и ручной резке сжатой дугой использовать раскроечные столы с нижними секционными отсосами, разработанные Ленинградским институтом охраны труда совместно с Институтом технологии судостроения.

Из одной секции такого стола размером 1500×1500 мм отсос воздуха составляет: при резке титанового сплава — $4500 \text{ м}^3/\text{ч}$, при резке сплава АМг — $6000 \text{ м}^3/\text{ч}$. Скорость на всосе у источника выделения вредных веществ должна быть не менее 3 м/сек , для чего верхняя плоскость стола должна раскрываться не более чем на 25% ее площади.

* Изд. 3-е, исправленное и дополненное. «Машиностроение», 1967.

** См.: А. В. Ильницкая и Н. Л. Циркова. Основные вопросы гигиены труда при обработке металлов сжатой дугой. Сб. «Резка, наплавка и сварка сжатой дугой», вып. 2, изд. ЦИНТИХимнефтемаша, серия ХМ-6, 1969.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баранов М. С. Технология производства сварных конструкций, «Машиностроение», 1966.
2. Брейтман М. М., Шебеко Л. П. Экономика, организация и планирование сварочного производства. Изд. 2-е. «Машиностроение», 1970.
3. Васильев К. В., Кохликян Л. О., Плискин Н. К., Гусейнов Н. Г.-О. Плазменно-дуговая резка в машиностроении. ВНИИАвтогенмаш, Руководящие материалы по газопламенной обработке металлов, вып. 24. ЦИНТИхимнефтемаш, 1967.
4. Глизманенко Д. Л. Газовая сварка и резка металлов. Изд. 6-е. «Высшая школа», 1972.
5. Елагин А. В., Наумов В. Г. Сварка в среде защитных газов. Изд. 2-е, Издательство литературы по строительству, 1971.
6. Мельниченко Н. Т. Монтаж и сварка конструкций из нержавеющей стали и алюминия. «Машиностроение», 1968.
7. Рыжков Н. И. Производство сварных конструкций в тяжелом машиностроении. «Машиностроение», 1970.
8. Справочник сварщика. Под ред. В. В. Степанова. Изд. 2-е. «Машиностроение», 1967.
9. Справочник по специальным работам. Сварочные работы в строительстве. Под ред. В. Д. Тарана, ч. I и II, изд. 2-е, Издательство литературы по строительству, 1971.
10. Технология электрической сварки плавлением. Под ред. Б. Е. Патона Машгиз 1962.
11. Шебеко Л. П. Оборудование и технология автоматической и полуавтоматической сварки. «Высшая школа», 1970.
12. Отраслевая норма ОН 26-01-71—68, «Сварка в химическом машиностроении», НИИхиммаш, 1970.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	•
Введение	•
Глава I. Значение и развитие сварки. Виды сварки	•
§ 1. Сущность процесса сварки	•
§ 2. Преимущества сварки	•
§ 3. Развитие сварки	•
§ 4. Классификация сварочных процессов	•
Глава II. Общие сведения о типовом оборудовании для ручной дуговой сварки и его обслуживании	•
§ 1. Сварочные посты для ручной сварки	•
§ 2. Понятие об устройстве сварочного преобразователя	•
§ 3. Включение, регулирование и выключение сварочного преобразователя	•
§ 4. Понятие об устройстве сварочного трансформатора и регулятора (дресселя)	•
§ 5. Включение, регулирование и выключение сварочного трансформатора	•
§ 6. Принадлежности и инструмент сварщика	•
Глава III. Сварочная дуга	•
§ 1. Основные сведения о сварочной дуге	•
§ 2. Горение дуги	•
§ 3. Плавление и перенос металла в дуге	•
Глава IV. Металлургические процессы при сварке	•
§ 1. Особенности металлургических процессов при сварке	•
§ 2. Основные реакции в зоне сварки	•
§ 3. Кристаллизация наплавленного металла	•
§ 4. Строение сварного шва	•
Глава V. Электроды для дуговой сварки	•
§ 1. Сварочная проволока	•
§ 2. Электродные покрытия	•
§ 3. Изготовление электродов	•
§ 4. Порошковая проволока	•
§ 5. Угольные и графитированные электроды	•
Глава VI. Деформации и напряжения при сварке	•
§ 1. Действующие усилия, деформации, напряжения и связь между ними	•
§ 2. Тепловые (термические) деформации и напряжения	•
§ 3. Причины возникновения напряжений и деформаций при сварке	•
§ 4. Основные мероприятия по уменьшению напряжений и деформаций при сварке	•
§ 5. Термическая обработка сварных изделий	•
§ 6. Влияние низких температур на свойства сварных соединений	•

Глава VII. Сварные соединения и швы	111
§ 1. Виды сварных соединений и швов	111
§ 2. Изображение и обозначение швов сварных соединений	116
§ 3. Расчет швов на прочность	118
Глава VIII. Техника ручной дуговой сварки	121
§ 1. Подготовка металла под сварку	121
§ 2. Сборка изделий под сварку	122
§ 3. Выбор режима сварки	124
§ 4. Возбуждение дуги и поддержание ее горения	128
§ 5. Наплавка валика	128
§ 6. Сварка стыковых швов	130
§ 7. Сварка угловых швов	132
§ 8. Сварка вертикальных, горизонтальных и потолочных швов	134
§ 9. Сварка тонколистовой стали	136
§ 10. Сварка под водой	138
§ 11. Сварка электрозаклепками	139
Глава IX. Материалы и аппаратура для газовой сварки	141
§ 1. Газы, присадочная проволока и флюсы для газовой сварки	141
§ 2. Ацетиленовые генераторы. Водяные затворы	148
§ 3. Баллоны для сжатых газов	154
§ 4. Редукторы для сжатых газов. Рукава (шланги)	157
§ 5. Сварочные горелки	161
Глава X. Сварочное пламя	170
§ 1. Свойства и регулирование сварочного пламени	170
§ 2. Металлургические процессы при газовой сварке	173
Глава XI. Технология газовой сварки	176
§ 1. Области применения газовой сварки	176
§ 2. Техника газовой сварки	178
§ 3. Перемещение горелки при газовой сварке	178
§ 4. Основные способы газовой сварки	179
Глава XII. Аппаратура для кислородной резки	184
§ 1. Резаки для ручной резки	184
§ 2. Керосинорезы	188
§ 3. Резаки для машинной резки и специальные резаки	192
§ 4. Машины для кислородной резки	196
Глава XIII. Технология кислородной резки	204
§ 1. Сущность процесса кислородной резки	204
§ 2. Основные условия резки. Влияние состава стали на резку	205
§ 3. Режимы резки	207
§ 4. Техника ручной резки	209
§ 5. Машинная резка	215
Глава XIV. Кислородно-флюсовая резка	223
§ 1. Сущность процесса и аппаратура для кислородно-флюсовой резки	223
§ 2. Технология резки	226
Глава XV. Дуговая, кислородно-дуговая и газо-дуговые способы резки.	
Плазменная сварка и наплавка	229
§ 1. Дуговая резка	231
§ 2. Кислородно-дуговая резка	231
§ 3. Воздушно-дуговая резка	232
§ 4. Плазменно-дуговая резка (сжатой дугой)	235
§ 5. Плазменная резка	249
§ 6. Плазменная сварка и наплавка	250
Глава XVI. Сварка углеродистых и легированных сталей	258
§ 1. Свариваемость сталей	258

§ 2. Сварка углеродистых конструкционных сталей	260
§ 3. Сварка низколегированных конструкционных сталей	261
§ 4. Сварка высоколегированных сталей	271
§ 5. Сварка термически упрочненных сталей	281
Глава XVII. Сварка чугуна	283
§ 1. Свойства и свариваемость чугуна	283
§ 2. Сварка чугуна без подогрева	284
§ 3. Сварка чугуна с подогревом	288
§ 4. Газовая сварка чугуна	291
Глава XVIII. Сварка цветных металлов и сплавов	296
§ 1. Сварка меди	296
§ 2. Сварка бронз, латуни и медноникелевых сплавов	300
§ 3. Сварка алюминия и его сплавов	307
§ 4. Сварка магниевых сплавов	313
§ 5. Сварка титана и никеля	315
Глава XIX. Наплавка износостойкими сплавами	317
§ 1. Наплавочные материалы	317
§ 2. Электроды для наплавки	318
§ 3. Технология наплавки	322
Глава XX. Высокпроизводительные методы ручной дуговой сварки	326
§ 1. Сварка с глубоким проплавлением	326
§ 2. Сварка швов в вертикальном положении	328
§ 3. Сварка погруженной дугой	329
§ 4. Сварка спаренными электродами и пучком электродов	329
§ 5. Сварка ванном способом	331
§ 6. Сварка трехфазной дугой	333
§ 7. Сварка наклонным электродом	335
§ 8. Сварка лежачим электродом	336
Глава XXI. Источники питания сварочной дуги	339
§ 1. Основные требования к источникам питания	339
§ 2. Аппаратура для сварки переменным током (сварочные трансформаторы)	341
§ 3. Осцилляторы	349
§ 4. Параллельное включение сварочных трансформаторов	353
§ 5. Обслуживание сварочных трансформаторов	353
§ 6. Сварочные преобразователи для сварки постоянным током. Основные данные	355
§ 7. Конструкция однопостовых сварочных преобразователей	358
§ 8. Многопостовые сварочные преобразователи	363
§ 9. Параллельное включение сварочных преобразователей	367
§ 10. Обслуживание сварочных преобразователей	368
§ 11. Сварочные выпрямители	370
§ 12. Генераторы импульсов. Транзисторные аппараты	378
Глава XXII. Сварка в углекислом газе	384
§ 1. Особенности сварки в углекислом газе	384
§ 2. Применяемые материалы	386
§ 3. Аппаратура и оборудование для сварки	388
§ 4. Технология сварки	397
§ 5. Сварка порошковой и голдой проволокой	403
Глава XXIII. Сварка в инертных газах	406
§ 1. Сущность способа сварки в инертных газах	406
§ 2. Применяемые газы и электроды	406
§ 3. Аппаратура и оборудование для ручной сварки неплавящимся вольфрамовым электродом	408

§ 4. Аппаратура и оборудование для полуавтоматической сварки плавящимся электродом	413
§ 5. Технология сварки	415
Глава XXIV. Особенности сварки некоторых видов конструкций . . .	423
§ 1. Решетчатые и балочные конструкции	423
§ 2. Резервуары из листового проката, не работающие под давлением	427
§ 3. Сосуды высокого давления	428
§ 4. Трубопроводы	430
§ 5. Судостроительные и машиностроительные конструкции . . .	436
Глава XXV. Дефекты и контроль сварных швов	438
§ 1. Основные дефекты сварных швов и их причины	438
§ 2. Способы контроля сварных швов и изделий	441
Глава XXVI. Механизация и автоматизация сварочного производства	452
§ 1. Механизация и автоматизация основных сварочных процессов	452
§ 2. Механизация сборочно-сварочных работ	453
§ 3. Поточные линии сборки и сварки	461
§ 4. Организация труда и рабочего места	461
§ 5. Нормирование сварки и резки	462
Глава XXVII. Техника безопасности при сварке и резке	465
§ 1. Техника безопасности при дуговой сварке	465
§ 2. Техника безопасности при газовой сварке и резке	470
§ 3. Техника безопасности при резке, сварке и наплавке сжатой ду- гой (плазменно-дуговой)	474
Литература	475

Дмитрий Львович Глизманенко
СВАРКА И РЕЗКА МЕТАЛЛОВ

Редактор В. А. Козлов.

Художник В. М. Лукьянов.

Художественный редактор В. И. Пономаренко.

Технический редактор Н. А. Битюкова.

Корректор Г. Н. Буханова.

Т-07998. Сдано в набор 10/I 1974 г. Подп. к печати 5XI 1974 г. Формат 60×90¹/₁₆. Бум.
тип. № 3. Объем 30 п. л. Усл. печ. л. 30 31,44 уч.-изд. п. л. Изд. № М-7. Тираж 100 000 экз.
Зак. **723.** Цена 82 коп.

План выпуска литературы для профтехобразования издательства «Высшая школа» на 1974 г.
Позиция № 86.

Москва, К-51, Неглинная ул., д. 29/14, издательство «Высшая школа»

Ярославский полиграфкомбинат «Союзполиграфпрома» при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
Ярославль, ул. Свободы, 97.

82 коп.