

Сварщику **ЦВЕТНЫХ** **МЕТАЛЛОВ**

СПРАВОЧНОЕ ПОСОБИЕ

**Издание 2-е,
переработанное и дополненное**

ДОНЕЦК
«ДОНБАС»
1985

Рецензенты канд. техн. наук А. Д. Размышляев, В. М. Карпенко

Псарас Г. Г., Ежель А. И.

П86 Сварщику цветных металлов: Справ. пособие.—
2-е изд., перераб. и доп.— Донецк: Донбас, 1985.—
174 с.

В пособии изложены основные сведения о цветных металлах и сварочных материалах. Приведены особенности сварки и наплавки цветных металлов, описано оборудование, элементы электронных схем сварочных установок, возможные дефекты сварных швов, контроль их качества. Даны рекомендации по организации рабочего места сварщика, освещены вопросы безопасности труда.

Рассчитано на сварщиков и технологов сварочного производства.

П 2704060000—080
М213(04)—85 53.85

ББК 34.642я2
6П4.3(083)

Современный этап научно-технического прогресса связан с непрерывным расширением областей применения цветных металлов, в том числе в производстве сварных изделий.

Сварка весьма эффективна при изготовлении конструкций из проката, штампованных профилей, а также при создании сварно-литых и сварно-кованых изделий. Сварные конструкции по сравнению с литыми или коваными более легкие и экономичные, менее трудоемкие в изготовлении. Экономия металла при замене клепаных или литых конструкций сварными составляет от 10 до 50 %.

Основными направлениями экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года предусмотрено значительное увеличение производства цветных металлов. Улучшится качество и расширится ассортимент металлопродукции в цветной металлургии, поэтому увеличится производство сварных конструкций, а также деталей, узлов машин и механизмов из цветных металлов.

За последние годы появились новые способы сварки, сварочное оборудование и материалы. Разработаны высокоэффективные электроды, флюсы и т. д. Ознакомление сварщиков с новыми сведениями по изготовлению сварных конструкций из цветных металлов и их сплавов поможет решить задачи, поставленные перед промышленностью XXVI съездом КПСС.

Второе издание пособия (1-е издание 1982 г.) дополнено сведениями о новых высокоэффективных способах сварки. Однако предлагаемое пособие не может претендовать на исчерпывающую полноту, так как авторы ограничились характеристикой только тех металлов и способов их сварки, которые наиболее часто применяются в промышленности.

a_n — ударная вязкость, кДж/м²
 d — диаметр сварочной проволоки, мм
 $I_{св}$ — сила сварочного тока, А
 m — масса, г
 $P_{х.х}$ — мощность холостого хода, кВт
 Q_r — расход защитного газа, л/мин
 $R_{вх}$ — входное сопротивление, Ом
 $t_{пл}$ — температура плавления, °С
 $t_{кип}$ — температура кипения, °С
 U_d — напряжение на дуге, В
 $v_{св}$ — скорость сварки, м/ч
 α — угол загиба кромки, ...
 δ — относительное удлинение, %
 σ_b — предел прочности металла шва, МПа
 ψ — относительное сужение, %

АЛЮМИНИЙ И ЕГО СПЛАВЫ

Алюминий хорошо проводит тепло и электричество, хладостоек, обладает небольшой плотностью и хорошо обрабатывается давлением. На воздухе алюминий покрывается тонкой пленкой окиси (температура плавления 2010—2056 °С, плотность от 2,30 до 2,99 г/см³) [9], которая предохраняет его от атмосферной коррозии. Основные свойства цветных металлов приведены в табл. 1.1.

На свойства алюминия большое влияние оказывают примеси химических элементов.

Железо незначительно растворяется в алюминии. При температуре эвтектики¹ 655 °С растворимость железа достигает 0,052 % и уменьшается с понижением температуры. В алюминии железо присутствует в виде самостоятельной фазы. Оно ухудшает коррозионную стойкость алюминия, его электропроводность и пластичность при небольшом повышении прочности.

Таблица 1.1. Основные свойства цветных металлов

Свойства *	Алюминий Al	Магний Mg	Медь Cu	Никель Ni	Титан Ti	Свинец Pb
Температура, °С:						
плавления	658,7	650	1083	1455	1688	327,3
кипения	2500	1107	2360	2900	3260	1744
Плотность, г/см ³	2,71	1,74	8,94	8,90	4,51	11,34
Теплопроводность, Вт/(м·К)	210,6	157,4	393,6	59,9	18,8	34,8
Удельная теплоемкость, Дж/(кг·К)	900,2	1046,7	385,2	746,5	535,8	125,6
Коэффициент линейного расширения, $\alpha \cdot 10^{-6}$, 1/°С	23,8	25,5	16,8	13,7	8,2	29,5

* При температуре 20 °С для технически чистых металлов.

¹ Эвтектика — это тонкая смесь твердых веществ, одновременно закристаллизовавшихся из расплава при температуре ниже температуры плавления отдельных компонентов.

Кремний при температуре эвтектики 577 °С растворяется в алюминии до 1,65 %. При понижении температуры растворимость кремния уменьшается и при 20 °С составляет 0,17 %. В присутствии магния образуется соединение Mg_2Si , которое хорошо упрочняет алюминиевые сплавы. На основные свойства алюминия кремний оказывает такое же влияние, как и железо.

Магний при температуре эвтектики 450 °С растворяется в алюминии до 17,4 %, а с уменьшением температуры до 100 °С растворимость снижается до 1,9 %. Магний повышает прочность алюминиевых сплавов и снижает их пластичность.

Марганец при температуре эвтектики 658,5 °С растворяется в алюминии до 1,82 %. С уменьшением температуры растворимость марганца в алюминии снижается и при температуре 500 °С составляет 0,36 %. При дальнейшем понижении температуры растворимость изменяется незначительно. Марганец повышает механические и частично коррозионные свойства алюминия.

Медь при температуре эвтектики 548 °С растворяется в алюминии до 5,7 %, и растворимость снижается до предела при комнатной температуре. Медь повышает прочностные свойства алюминия и ухудшает его коррозионную стойкость.

Алюминий стоек в атмосферных условиях, в концентрированной азотной кислоте и многих органических кислотах. В щелочах, в разбавленной азотной и серной кислоте при нагреве алюминий быстро разрушается. Алюминиевые сплавы разделяются на две основные группы: 1) деформируемые (ГОСТ 4784—74); 2) литейные (ГОСТ 2685—75).

1. Деформируемые алюминиевые сплавы, в свою очередь, делятся на неупрочняемые и упрочняемые термической обработкой. В деформируемых неупрочняемых сплавах концентрация легирующих элементов меньше предела растворимости при комнатной температуре. В деформируемых термически упрочняемых алюминиевых сплавах концентрация легирующих элементов больше предела растворимости при комнатной температуре, но меньше начала образования эвтектики. Такие сплавы сложного легирования при нагреве могут быть переведены в однофазное состояние и после закалки и старения характеризуются высокими прочностными свойствами. К деформируемым термически неупрочняемым сплавам относятся АД0, АД1, АМц, АМг, АМг1, АМг2, АМг3, АМг4, АМг5, АМг6.

В литейных алюминиевых сплавах содержание легирующих элементов превышает предельную их растворимость в алюминии. В условиях эвтектики сплавы обладают хорошими

литейными свойствами, однако их деформационная способность является пониженной. Литейные сплавы, в свою очередь, делятся на сплавы высокой и средней прочности, а также коррозионно-стойкие для работы в морской воде (АЛ8, АЛ13, АЛ22) и жаростойкие, работающие при температуре 200—400 °С (АЛ1, АЛ3-1, АЛ4, АЛ5, АЛ10В, АЛ19, АЛ20 и др.).

Деформируемые термически упрочняемые и литейные алюминиевые сплавы приведены в табл. 1.2.

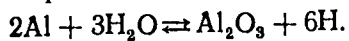
Основной трудностью при сварке алюминия и его сплавов является образование в сварных швах пор, полостей гидродинамического происхождения и трещин. Считают, что причиной образования в сварных швах пор является перенасыщенность алюминия водородом.

Водород в отличие от других газов способен растворяться в алюминии и при определенных условиях может образовывать поры. Растворимость водорода в твердом алюминии при температуре 660 °С равна 0,036 см³/100 г, а при той же температуре, но уже в расплавленном алюминии растворимость водорода составляет 0,69 см³/100 г. При дальнейшем повышении температуры растворимость водорода увеличивается и при 850 °С составляет 2,15 см³/100 г. Существуют условия, когда растворимость водорода в алюминии при температуре 2050 °С может достигать 20,9 см³/100 г.

Таблица 1.2. Алюминиевые сплавы

Группа и система сплава	Марка сплава
<i>Деформируемые термически упрочняемые</i>	
I Al—Cu—Mg	Д1; Д16; Д18; Д19; ВАД1; ВД17 и др.
II Al—Mg—Si; Al—Cu—Mg—Si	АВ; АД31; АД33; АД35; АК6; АК8; АК6-1 и др.
III Al—Cu—Mg—Fe—Ni	АК2; АК4; АК4-1 и др.
IV Al—Cu—Mn; Al—Cu—Mn—Li—Cd	Д20; Д21; ВА23 и др.
V Al—Zn—Mg—Cu	В93; В94; В95; В96 и др.
VI Al—Mg—Zn	В92; В92Ц и др.
<i>Литейные</i>	
I Al—Si	АЛ2; АЛ4; АЛ4-1; АЛ9; АЛ9-1 и др.
II Al—Si—Cu	АЛ3; АЛ5; АЛ5-1; АЛ6; АЛ32 и др.
III Al—Cu	АЛ7; АЛ19; АЛ33 и др.
IV Al—Mg	АЛ8; АЛ13; АЛ22; АЛ23; АЛ27 и др.
V Al—Si—Mg—Mn— —Ni—Ti—Zn—Cr	АЛ1; АЛ11; АЛ12; АЛ24; АЛ25; АЛ30 и др.

Основным источником водорода является влага, которая взаимодействует с расплавленным алюминием:



Водород в момент образования энергично растворяется в металле шва. При кристаллизации сварочной ванны избыток водорода выделяется из расплава, образуя поры. Для предупреждения образования в металле шва пор металл и электродную проволоку тщательно подготавливают перед сваркой, кромки зачищают шабером, защитные газы осушают, флюсы и электроды прокалывают, применяют предварительный подогрев защитных газов, подаваемых в горелку, или вводят в зону дуги вместе с инертными газами или отдельно небольшие добавки кислорода.

Часть металла ванны, расположенная под дугой, подвергается относительно большому давлению дуги, что при ограниченном теплоотводе значительно увеличивает температуру металла, расположенного непосредственно под дугой, и приводит к его перегреву в данной зоне. Такие не совсем обычные температурные условия в сочетании с волновой кристаллизацией металла ванны оказывают влияние на условия зарождения и развития пор.

Полости в швах образуются в результате отрыва потока металла от донной части ванны при чрезмерно большой силе сварочного тока, повышенной скорости сварки и отклонении других элементов режима от оптимального значения. Появление полостей практически не зависит от окисления металла, степени перенасыщенности сварочной ванны газами и скорости их выделения. Полости отличаются от пор газового происхождения размерами, формой и расположением в шве.

МАГНИЙ И ЕГО СПЛАВЫ

Магний согласно ГОСТ 804—72 выпускается трех марок: Мг96 (99,96 % Mg), Мг95 (99,95 % Mg) и Мг90 (99,90 % Mg). Предел прочности литого магния 83,3—127,5 МПа, условный предел текучести 19,6—39,2 МПа, относительное удлинение 3—6 %, НВ 30...40 [14]. Для упрочнения магниевых сплавов применяют алюминий и цинк, а для придания большей прочности при температуре выше 200 °С их легируют неодимом, торием и др. [7].

Сплавы магния обладают высокой прочностью и небольшой массой, поэтому их используют в качестве конструкционного материала. Магниевые сплавы делятся на деформируемые (ГОСТ 14957—76) и литейные (ГОСТ 2856—79). Кроме того, сплавы бывают термически упрочняемые и неупрочняемые.

По системе легирования деформируемые сплавы делятся на несколько групп: I группа — сплавы системы Mg—Mn (МА-1, МА-8 и др.); II группа — Mg—Zn—Zr (МА-2, МА-5 и др.); III группа — Mg—Zn—Zr (МА-14, ВМД-3 и др.). Имеются также жаропрочные сплавы системы Mg—Th—Mn (МА-13 и др.), высокопрочные магниевые сплавы Mg—Al—Cd—Ag (МА-10 др.).

К литейным относятся сплавы систем: Mg—Mn (МЛ-2 и др.), Mg—Al—Zn (МЛ-3, МЛ-4, МЛ-5, МЛ-6 и др.), Mg—Nd—Zn (МЛ-10 и др.), Mg—Zn (МЛ-12 и др.). Сплавы I и II групп не упрочняются термической обработкой и удовлетворительно свариваются. Сплавы III группы упрочняются термической обработкой, отличаются высокой жаропрочностью и плохо свариваются.

Магниевые сплавы обладают низкой коррозионной стойкостью во многих агрессивных средах. Для предохранения от коррозии на поверхность деталей из магниевых сплавов наносят защитные пленки методом погружения в раствор солей хромовой кислоты или покрывают хроматом цинка ZnCrO_4 с последующим нанесением лака или эмали.

При кристаллизации магниевые сплавы склонны к образованию крупнокристаллической структуры. Кроме того, многие легирующие элементы при высоких скоростях охлаждения могут образовывать с магнием неравновесные эвтектики. Эти факторы совместно с внутренними напряжениями способствуют растрескиванию металла швов при сварке. Для увеличения стойкости металла шва к образованию кристаллизационных трещин его модифицируют, а при сварке используют присадочный металл с меньшей склонностью к образованию трещин.

В процессе сварки магниевых сплавов, упрочняемых термической обработкой, в околошовной зоне происходит разупрочнение металла, а иногда возможно образование трещин. Для предотвращения склонности к образованию трещин и короблению металла сварку рекомендуется выполнять с подогревом конструкций или после сварки подвергать их термической обработке для снятия внутренних напряжений.

При взаимодействии с кислородом на поверхности магния образуется окисел MgO (температура плавления 2800 °С, плотность 3,65 г/см³), способный удерживать много влаги. При сварке влага окисной пленки разлагается, а водород, образующийся при ее диссоциации, поглощается расплавленным металлом ванны. Водород способен активно растворяться в магнии. Так, при давлении водорода 0,1 МПа в жидком магнии его растворяется 45—50 см³ в 100 г металла. В процессе кристаллизации растворимость водорода в магнии уменьшается

и наблюдается перенасыщенность им металла шва. Это приводит к выделению в расплавленном металле водорода в виде пузырьков и образованию пористости в металле шва. Кроме того, магний может реагировать с водородом, азотом, парами воды, окисью и двуокисью углерода с образованием карбидов, нитридов и окислов. Нитриды магния, образующиеся при температуре выше 600 °С, ухудшают коррозионную стойкость и механические свойства сварных швов.

МЕДЬ И ЕЕ СПЛАВЫ

Химический состав промышленных марок меди должен соответствовать ГОСТ 859—78. Медь обладает высокой электро- и теплопроводностью, коррозионной стойкостью во многих агрессивных средах и хорошей пластичностью в горячем и холодном состоянии. С повышением температуры медь сохраняет высокую пластичность. При холодной деформации растет прочность и твердость меди, а пластичность снижается. С увеличением температуры нагрева снижается предел прочности меди, а в интервале температуры 200—800 °С падает пластичность [7].

Медь с кислородом начинает взаимодействовать при комнатной температуре с образованием окиси меди CuO . Окисная пленка на поверхности меди предохраняет ее от дальнейшего окисления. При высоких температурах в обычной атмосфере скорость окисления меди резко возрастает. В таких условиях упругость диссоциации окиси меди больше давления кислорода в воздухе, поэтому CuO диссоциирует на свободный кислород и закись меди Cu_2O .

При плавлении закись меди растворяется в меди с образованием эвтектики $\text{Cu} + \text{Cu}_2\text{O}$, содержащей 3,4 % Cu_2O или 0,39 % кислорода (температура плавления Cu_2O — 1065 °С).

К и с л о р о д в свободном состоянии в твердой меди практически не растворяется. Эвтектика затвердевает позже меди и, располагаясь по границам кристаллов, понижает ее пластичность и коррозионную стойкость, а также затрудняет процессы горячей обработки давлением. Медь, подлежащая сварке, должна содержать кислорода не более 0,01 %. Сурьма и мышьяк уменьшают вредное действие кислорода, однако при этом снижается электропроводность меди.

В о д о р о д при сварке образуется в результате диссоциации водяных паров, влаги защитного газа, диссоциации конденсата на кромках свариваемого металла и т. д. Водород растворим как в твердой, так и в жидкой меди. С повышением температуры растворимость водорода в меди увеличивается

и при 1000 °С может достигать 3,2 $\text{см}^3/100$ г. При переходе меди из твердого состояния в жидкое растворимость водорода значительно возрастает и при температуре 1100 °С составляет 13 $\text{см}^3/100$ г. При дальнейшем повышении температуры растворимость достигает 28,1 $\text{см}^3/100$ г при температуре 1600 °С. Содержащийся в сварочной ванне водород при ее кристаллизации выделяется, образуя поры. Добавка олова понижает растворимость водорода в меди. В расплавленной меди растворимость водорода и кислорода связана равновесной зависимостью. Используя этот закон для снижения содержания водорода, в расплавленную медь при выплавке добавляют кислород в виде закиси меди с последующим тщательным и быстрым раскислением расплава.

С е р а хорошо растворяется в расплавленной меди. При кристаллизации меди растворимость серы снижается до нуля. С медью сера образует гемисульфид меди Cu_2S , который предполагается в меди в виде эвтектики $\text{Cu} + \text{Cu}_2\text{S}$, содержащей 3,82 % Cu_2S при температуре 1067 °С. При повышенном содержании серы снижается пластичность и ухудшается коррозионная стойкость меди.

Ф о с ф о р ограниченно растворим в твердой меди. При температуре 714 °С предел насыщения твердого раствора достигает 1,75 % фосфора. С понижением температуры меди до 300 °С растворимость фосфора в меди уменьшается до 0,6 %. Фосфор положительно влияет на механические свойства меди, незначительно снижает ее электропроводность и заметно уменьшает теплопроводность. При сварке меди фосфор используется как активный раскислитель.

К р е м н и й в меди растворяется до 3 % с образованием однофазного α -твердого раствора. При содержании в меди до 1 % кремния сплавы обладают хорошей свариваемостью, не склонны к образованию в сварных швах пор и трещин. При сварке меди кремний применяется как активный раскислитель.

Н и к е л ь неограниченно растворим в меди. При содержании до 1 % он оказывает незначительное влияние на свариваемость меди и не снижает пористости сварных швов. Однако никель увеличивает стойкость сварных швов к трещинообразованию и уменьшает рост зерна в околосшовной зоне.

М а р г а н е ц при высоких температурах ограниченно растворим в меди. Граница насыщения области γ -твердого раствора с уменьшением содержания марганца и понижением температуры резко сдвигается в сторону меди. Сплав меди, содержащий до 20 % марганца, в твердом состоянии является однофазным. Сплавы меди, содержащие до 1 % марганца, об-

ладают хорошей свариваемостью, пластичностью, повышенной прочностью и не склонны при сварке к образованию трещин, но при сварке такого металла швы склонны к пористости.

Алюминий обладает значительной растворимостью в меди. Область α -твердого раствора при температуре 570 °С распространяется до 9,4 % алюминия. При комнатной температуре такие сплавы являются однофазными, отличаются высокой пластичностью и хорошо обрабатываются давлением. Сплавы, содержащие более 10 % алюминия, являются двухфазными и применяются как литейные. Введение алюминия заметно ухудшает свариваемость меди. Алюминий применяется как активный раскислитель меди.

Железо незначительно растворимо в меди. При температуре 635 °С растворимость железа в меди составляет 0,16 % и снижается при дальнейшем уменьшении температуры. Сплавы меди, содержащие до 0,5 % железа, обладают хорошей свариваемостью, высокой пластичностью и по сравнению с медью большей прочностью и лучшей стойкостью при повышенных температурах. При сварке меди такого состава швы не склонны к образованию горячих трещин, однако в зоне сплавления возможно образование пор. Если железо присутствует в виде самостоятельной фазы, медь приобретает магнитные свойства.

Олово в твердой меди не растворяется. При нагреве растворимость олова в меди увеличивается и уже при температуре 200 °С достигает 1 %. Дальнейшее повышение температуры приводит к увеличению растворимости олова в меди. Бронзы, содержащие до 4—5 % олова, являются однофазными, и структура их состоит из α -твердого раствора. При большем содержании олова образуются двухфазные сплавы.

Свинец и висмут не растворяются в меди и образуют эвтектики, залегающие преимущественно по границам кристаллов. При сварке эвтектики приводят к охрупчиванию металла шва. На тепло- и электропроводность меди висмут и свинец существенного влияния не оказывают. Для снижения вредного действия свинца в медь добавляют примеси кальция, циркония или церия, а для нейтрализации отрицательного влияния висмута применяют добавки кальция, лития, магния, циркония и др.

Цинк в меди при комнатной температуре растворяется до 38—39 % с образованием α -твердого раствора. Такая структура сохраняется до температуры 454 °С. Сплавы этой области пластичны и хорошо поддаются обработке давлением в горячем и холодном состоянии. При содержании более 39 % цинка сплавы имеют двухфазную структуру $\alpha + \beta$

или однофазную β . Они обладают низкой пластичностью и обрабатываются давлением только в горячем состоянии.

Мышьяк в твердой меди растворим, если его содержится до 7,5 %. При незначительном содержании мышьяка не оказывает заметного влияния на механические и технологические свойства меди. Мышьяк нейтрализует вредное действие висмута, сурьмы и кислорода; одновременно снижая электро- и теплопроводность меди.

Сурьма (до 9,5 %) растворима в меди при температуре эвтектики 645 °С. При понижении температуры растворимости сурьмы в меди заметно снижается. Сурьма ухудшает механические свойства меди и снижает ее электро- и теплопроводность. Медь, содержащая небольшие добавки мышьяка, сурьмы и висмута, при нагреве в водороде приобретает склонность к охрупчиванию.

Таким образом, в зависимости от действия на медь примеси можно условно разделить на три группы: 1) растворимые в меди в той или иной степени элементы: никель, кремний, марганец, олово, алюминий, цинк, бериллий, железо, сурьма, серебро и др. 2) нерастворимые элементы, образующие с медью легкоплавкие эвтектики, например, свинец, висмут и др.; 3) кислород, кремний, фосфор и др., образующие с медью хрупкие химические соединения.

Элементы первой группы в меди присутствуют в весьма незначительных долях и в допустимых пределах на ее свойства существенного влияния не оказывают. При легировании меди в необходимом сочетании элементами первой группы образуются сплавы, называемые безоловянными и оловянными бронзами, в сочетании с цинком — латунями. Оловянные бронзы содержат в качестве легирующего элемента олово, а безоловянные — алюминий, кремний, железо, марганец и др.

С технологической стороны бронзы подразделяются на литейные и обрабатываемые давлением (деформируемые). Состав оловянных литейных бронз определяет ГОСТ 613—79, а оловянных деформируемых бронз — ГОСТ 5017—74. Безоловянные литейные бронзы должны соответствовать ГОСТ 493—79, а безоловянные деформируемые — ГОСТ 18175—78.

К оловянным литейным бронзам относятся БрОЦС5-5-5, БрОЦНЗ-7-5-1 и др., к оловянным деформируемым относятся бронзы БрОФ8,0-03; БрОЦ4-3, БрОЦ4-4-4 и др. В связи с широким интервалом кристаллизации оловянных бронз необходимо большее время для кристаллизации сварочной ванны. Это приводит к насыщению жидкого металла газами и образованию пор в металле шва. Кроме того, металл приобретает склонность к появлению горячих трещин в большом интервале

температур, особенно при жестком закреплении свариваемого изделия.

Свинец из-за низкой температуры плавления расширяет область хрупкости оловянных бронз и концентрируется на дне сварочной ванны, затрудняя процессы сварки.

К безоловянным литейным бронзам относятся БрАмц9-2; БрАЖ-9-4; БрАЖС7-1,5-1,5; БрАЖН11-6-6 и др., к безоловянным деформируемым — бронзы БрА7, БрАмц-9-2, БрКМц3-1 и др.

Структура алюминиевых бронз в зависимости от состава может представлять однофазный α -твердый раствор или состоять из двух фаз $\alpha + \beta$. Считают, что β -фаза стабильна только при температуре, превышающей 565 °С. При снижении температуры β -фаза под влиянием легирующих элементов и в зависимости от скорости охлаждения превращается в γ_2 -фазу, которая отрицательно влияет на технологическую прочность и коррозионную стойкость сплавов. Поэтому при сварке таких бронз требуется контроль скорости охлаждения, а для ликвидации γ_2 -фазы (в случае ее образования) заваренные изделия подвергают термообработке.

Склонность к образованию трещин проявляется главным образом у однофазных сплавов в интервале температур 400—600 °С, содержащих меньше 9 % алюминия. Для сварки однофазных алюминиевых бронз применяют присадочный металл из двухфазных сплавов с высоким содержанием алюминия и низким содержанием висмута и свинца. При кристаллизации сварочной ванны такого состава из металла выделяется β -фаза.

Считают, что β -фаза более пластична, чем α -фаза, и нейтрализует присущую последней хрупкость. При эксплуатации сварных изделий в коррозионной среде различный фазовый состав шва и основного металла может вызвать электрохимическую коррозию. Поэтому при многопроходной сварке последний шов целесообразно выполнять в таких случаях с применением однофазного присадочного металла.

Кремнистые бронзы обладают хорошей свариваемостью, что позволяет вести сварку без предварительного подогрева. Кроме того, наличие кремния и марганца, выступающих в роли раскислителей, обеспечивает получение металла шва без пор и других дефектов. Основным недостатком таких сплавов является их хрупкость при температуре 800—950 °С в условиях повышенной жесткости в процессе сварки.

Сплавы меди с цинком образуют латуни. При введении третьего, четвертого и более элементов получают специальные латуни, например, алюминиевые, железомарганцовистые и др.

По отношению к меди латуни обладают большей прочностью, упругостью, повышенной коррозионной стойкостью, лучшими литейными свойствами, но хуже свариваются. Латуни, как и бронзы, разделяются на литейные и обрабатываемые давлением. Составы литейных латуней должны соответствовать ГОСТ 17711—80, а латуней, обрабатываемых давлением, — ГОСТ 15527—70.

НИКЕЛЬ И ЕГО СПЛАВЫ

Никель — коррозионно-стойкий металл во многих агрессивных средах, с высокими механическими свойствами. Он хорошо обрабатывается давлением в горячем и холодном состоянии. Из него изготавливают листы, проволоку, ленты, трубы для производства изделий ответственного назначения.

Максимальная растворимость водорода в твердом никеле при температуре 1400 °С составляет 17,09 см³/100 г, а в расплавленном состоянии при температуре 1465 °С — 38,85 см³/100 г. При дальнейшем повышении температуры растворимость водорода увеличивается и при температуре 1600 °С достигает 42,96 см³/100 г. При чрезмерно большом содержании и соответствующих условиях водород при кристаллизации сварочной ванны может способствовать образованию пор.

Считают, что азот в условиях дуговой сварки никеля интенсивно растворяется в сварочной ванне, а при ее кристаллизации образует поры. Так, присутствие в аргоне 0,5—1,0 % азота приводит к интенсивному образованию пор в сварных швах.

При кристаллизации никеля растворимость кислорода в нем снижается более чем в 20 раз. Предполагают, что резкое падение растворимости кислорода в момент кристаллизации ванны также может вызывать пористость сварных швов [10]. Поэтому применение никеля и его сплавов в сварных конструкциях затруднено из-за склонности швов к образованию пор и трещин.

Для получения достаточного качества сварных соединений из никеля необходима надежная защита зоны сварки от окружающего дугу воздуха и применение защитных сред высокой чистоты.

Основными соединениями никеля с кислородом являются закись никеля NiO и окись никеля Ni₂O₃. В условиях сварки более вероятным является образование и стабильное существование закиси никеля NiO. Температура плавления закиси никеля составляет 2090 °С, а ее плотность 7,45 г/см³. Растворимость кислорода в никеле с увеличением температуры возрастает.

тает от 0,067 % при 1470 °С до 1,2 % при 1720 °С. Закись никеля образует с никелем эвтектику $Ni + NiO$, содержащую 1,1 % закиси никеля (0,236 % кислорода) с температурой плавления 1438 °С. Область твердого раствора при температуре эвтектики достигает 0,08 % кислорода и с понижением температуры заметно смещается в сторону никеля. Легкоплавкая эвтектика, располагаясь по границам зерен и затвердевая в последнюю очередь, способствует образованию в металле шва трещин.

Железо образует с никелем непрерывный ряд твердых растворов и на свариваемость никелевых сплавов в небольших долях влияния не оказывает.

Марганец с никелем образует широкую область твердых растворов. Он повышает жаростойкость никеля, является хорошим раскислителем и парализует вредное действие серы.

Кремний ограниченно растворим в никеле, служит его активным раскислителем и улучшает литейные свойства. Повышенное содержание кремния снижает пластичность и увеличивает склонность никелевых сплавов к образованию горячих трещин, поэтому его содержание не должно превышать 0,3 %.

Сера с никелем образует эвтектику $Ni + Ni_3S_2$ с температурой плавления 644 °С. При содержании серы более 0,01 % никель и его сплавы разрушаются при обработке давлением и сварке, поэтому сера в никелевых сплавах — вредная примесь.

Особые физико-химические свойства и большая чувствительность к наличию примесей и растворенных газов заметно ухудшает свариваемость никеля.

Никелевые сплавы условно можно разделить на четыре группы:

1) конструкционные — технический никель и такие его сплавы, как монель-металл НМЖМц 28-2,5-1,5; мельхиор МНЖМц 30-1-1; МН19; НМц2,5; НМц5 и др.;

2) жаропрочные — сплавы системы $Ni-Cr-Fe$ (для придания этим сплавам необходимых жаропрочных свойств никель легируют титаном, алюминием, ниобием, вольфрамом, молибденом, бором, цирконием, германием и др.);

3) электротехнические сплавы — нихром Х20Н80, альмель НМцАК 2-2-1, копель МНМц 43-0,4, константан МНМц 40-1,5, нейзильбер МНЦ 15-20, манганин МНМц 3-12 и др.;

4) сплавы с особыми свойствами — пермаллой, супермаллой и др. Составы никеля и его сплавов должны соответствовать ГОСТ 849—70, ГОСТ 492—73, ГОСТ 19241—80 и др.

Жаропрочные никелевые сплавы, в свою очередь, делятся на деформируемые и литейные. К деформируемым жаропрочным сплавам относятся ХН77ТЮ, ХН70ВМТЮ, ХН67МТЮ и др. Литейные жаропрочные сплавы отличаются от деформируемых большим содержанием основных легирующих элементов. К ним относятся хастеллой, ЖС6 и др.

ТИТАН И ЕГО СПЛАВЫ

Титан по сравнению со сталью обладает более низким коэффициентом теплопроводности, повышенным электрическим сопротивлением и пониженной теплоемкостью, поэтому для его сварки затрачивается меньше энергии.

Небольшая линейная усадка, малый интервал кристаллизации, высокая прочность и пластичность в области высоких температур снижают склонность титана к образованию в сварных швах кристаллизационных трещин. Наиболее часто при сварке титана встречаются такие дефекты, как поры и холодные трещины.

Холодные трещины возникают сразу после сварки и выживания изделий. Причиной образования пор является перенасыщенность металла шва водородом. Для предотвращения образования пор тщательно подготавливают под сварку металл и присадочную проволоку, применяют защитные газы высокой степени чистоты и строго соблюдают технологию сварки.

Низкая теплопроводность титана способствует увеличению времени пребывания сварных швов и околошовной зоны в области высоких температур. Между тем титан при нагреве более 882 °С в области α -фазы склонен к значительному росту зерна, поэтому в зоне термического влияния в металле шва при нагреве выше этой температуры при сварке на больших погонных энергиях образуется крупнокристаллическая структура. Снижение нагрева околошовных участков при сварке достигается ограничением силы сварочного тока, уменьшением погонной энергии сварки и применением многослойного заполнения разделки кромок для металлов больших толщин.

Для получения сварных соединений высокого качества сварку титана и его сплавов рекомендуется выполнять при минимально возможной погонной энергии и применять методы обработки, уменьшающие или полностью устраняющие остаточные напряжения. Снятие остаточных напряжений и стабилизация структуры сварных соединений производится полным отжигом изделий.

Титан ВТ1-0 и ВТ1-00 отжигается при температуре 550—680 °С. Для остальных сплавов температура отжига из-

меняется от 620 до 820 °С. Отжиг производится в печах с защитной атмосферой аргона или гелия. Время полного отжига для металла толщиной 6—50 мм составляет 60 мин. Если изделие эксплуатируется при высоких температурах, для повышения стабильности свойств сварных соединений рекомендуется выполнять отжиг с последующим медленным охлаждением изделий со скоростью 2—4 °С /мин.

Таблица 1.3. Классификация титановых сплавов

Классификация сплавов по типу структур	Марка сплава	Предел прочности σ_b , МПа	Относительное удлинение δ , %
<i>Малопрочные</i>			
α -сплавы	BT1-00	294—441	30
	BT1-0	392—539	30
Псевдо- α -сплавы	OT4-0	490—637	30
	OT4-1	588—735	20
	AT-2	588—735	20
<i>Средней прочности</i>			
α -сплавы	BT5	735—882	10
	BT5-1	735—882	12
Псевдо- α -сплавы	OT4	686—882	15
	OT4-2	980—1176	10
	BT4	833—980	12
	AT3	735—882	12
	AT4	833—1029	10
	TC5	931—1078	8
	BT20	931—1127	8
$(\alpha + \beta)$ -сплав β -сплав	BT6C	833—980	12
	4201	784—833	10
<i>Высокопрочные</i>			
$(\alpha + \beta)$ -сплавы	BT3-1	1176*	6
	BT6	1078*	7
	BT14	1176*	6
	BT16	1078—1225*	12
	BT18	1029—1225*	9
	BT22	1372—1519*	5
	BT23	1372*	5
Псевдо- β -сплавы	BT15	1274—1470*	4
	TC6	1372—1470*	4

* После закалки и старения.

Титановые сплавы с пределом прочности 735—882 МПа относятся к группе малопрочных. Сплавы средней прочности имеют предел прочности 1078—1176 МПа, высокотемпературные титановые сплавы обладают пределом прочности 1372 МПа и выше (табл. 1.3).

Сплавы малой и большинство сплавов средней прочности не подвергаются упрочняющей термической обработке. После закалки и старения значительно повышаются их прочностные характеристики. По фазовому составу сплавы титана при комнатной температуре разделяются на три группы: однофазные α -сплавы, однофазные β -сплавы и двухфазные $(\alpha + \beta)$ -структуры. α -модификация существует при температуре 882 °С, а β -структура сохраняется вплоть до температуры плавления [8].

К элементам, образующим α -структуру, относятся алюминий, галлий, индий, а также примеси кислорода, азота и углерода. β -структуру образуют такие элементы, как молибден, хром, марганец, ниобий, железо, медь и водород. К нейтральным упрочняющим элементам относятся цирконий и олово.

Первый класс сплавов объединяет технический титан и сплавы титана с α -стабилизирующими элементами. Такие сплавы содержат нейтральные упрочняющие элементы, структура которых в преобладающем большинстве случаев имеет α -твердый раствор титана, и термической обработкой не упрочняются. Некоторое повышение их твердости достигается благодаря образованию твердых растворов.

α -сплавы для снятия нагаровки или для уменьшения внутренних напряжений в сварных конструкциях подвергаются только низкотемпературному отжигу. До температуры 400—500 °С такие сплавы сохраняют высокие пластические свойства даже после длительного действия повышенных температур.

β -сплавы содержат при комнатной температуре β -фазу, полученную легированием титана β -стабилизирующими элементами. Сплавы с β -фазой упрочняются термической обработкой, состоящей из закалки и старения. Однако даже после такой обработки β -сплавы обладают невысокой термической стабильностью и большой склонностью к росту зерна, а поэтому применяются в незначительных объемах.

Двухфазные $(\alpha + \beta)$ -сплавы получают определенным соотношением легирующих элементов, образующих α - и β -фазы. Закалка и старение двухфазных сплавов приводит к заметному повышению их прочности и снижению пластичности.

Эффект термического упрочнения сплавов повышается с увеличением содержания β -фазы. В качестве конструкционного материала наибольшее распространение при изготовлении сварных конструкций получили α -сплавы.

Повышение прочности достигается легированием титана различными элементами. По увеличению предела прочности титана легирующие элементы могут быть распределены в ряд: ниобий, цирконий, олово, ванадий, алюминий, хром, марганец, железо и кремний. Кроме таких легирующих элементов на свойства титана значительное влияние оказывают кислород, водород, азот и углерод.

К и с л о р о д при высоких температурах легко растворяется как в α -, так и в β -титане, образуя твердые растворы внедрения. Максимально растворимая молярная доля кислорода в титане составляет 30 %. До температуры 450—500 °С титан от окисления защищает окисонитридная пленка, прочно удерживаемая на его поверхности. При более высокой температуре происходит интенсивное окисление титана на воздухе. Скорость взаимодействия титана с кислородом по сравнению с другими газами является наибольшей. При растворении кислорода в титане с образованием твердого раствора значительно искажается кристаллическая решетка. Это приводит к резкому повышению прочности, твердости и снижению пластичности титана.

В о д о р о д растворяется в титане в значительных массовых долях, достигающих 1 % с образованием твердого раствора внедрения и гидридов, повышающих склонность титана к охрупчиванию. С повышением температуры растворимость водорода в титане уменьшается и составляет при температуре 20 °С — 40300 см³/100 г, а при 1000 °С — уже всего 6500 см³/100г.

Чем больше в двухфазном сплаве β -стабилизирующего элемента, тем меньше водород оказывает влияние на температуру перехода от хрупкого разрушения к вязкому. По уменьшению водородного охрупчивания β -стабилизаторы могут быть расположены в ряд: железо, марганец, ванадий, хром, ниобий и молибден. При горячей обработке давлением и сварке чрезмерное содержание водорода приводит к трещинам и разрывам.

А з о т является элементом, расширяющим область α -фазы. В связи с большим сродством титана с азотом при высокой температуре образуются нитриды титана, которые легко растворяются в металле. Максимально растворимая массовая доля азота в α -титане составляет около 0,75 %. Азот снижает пластичность и повышает прочность и твердость титана.

У г л е р о д в α -титане при температуре, близкой к точке $\alpha \rightarrow \beta$, растворяется до 0,28 % (массовых долей). При понижении температуры растворимость углерода в α -титане значительно снижается. В β -титане растворяется массовых долей углерода около 0,06 %. Даже незначительная растворимость углерода в титане при его массовых долях, достигающих десятые доли процента, приводит к образованию карбидов титана и хрупкости сварных швов.

Для хорошей свариваемости в титане ограничивают содержание кислорода, водорода, азота и углерода. Так, в техническом титане ВТ1-00 их массовая доля (%) должна быть не более: O_2 — 0,1; N_2 — 0,04; H_2 — 0,008; C — 0,05. Механические свойства титана ВТ1-0 толщиной 60 мм и его сварного соединения составляют: основной металл — $\sigma_b = 470,9$ МПа, $\delta = 27,5$ %, $\psi = 56$ %, $a_n = 1697,1$ кДж/м²; сварное соединение — $\sigma_b = 451,3$ МПа, $\delta = 31$ %, $\psi = 65$ %, $a_n = 1722,6$ кДж/м².

При расчетах рекомендуется принимать прочность сварных соединений с коэффициентом 0,90...0,95 прочности основного металла.

Технический титан используют для изготовления сварных аппаратов, работающих при температуре от — 269 до +250 °С. Однако сварные соединения некоторых сплавов сохраняют работоспособность и при более высокой температуре. Так, титановый сплав АТЗ применяется для изделий, работающих при температуре до 300—350 °С, сплав ВТ5-1 сохраняет работоспособность до 500 °С.

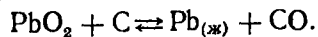
СВИНЕЦ

Свинец обладает высокой коррозионной стойкостью, пластичностью и другими особыми свойствами. Это определяет его степень использования в технике. Наиболее широкое применение находят сплавы С0, С1, С2 и С3 (ГОСТ 3778—77), содержащие от 99,900 до 99,992 % свинца [14].

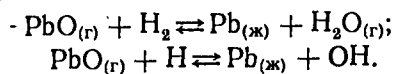
Примеси по-разному влияют на механические и физико-химические свойства свинца. Так, висмут и цинк понижают его пластичность, натрий, кальций и магний повышают твердость и прочность, но снижают химическую стойкость. Медь и сурьма увеличивают стойкость свинца в серной кислоте, а барий и магний повышают его твердость.

Свинец с кислородом образует соединения PbO , PbO_2 и Pb_2O . Более стойкой является окись свинца PbO , которая при сварке может существовать как в твердом, так и в газообразном состоянии.

Водород практически нерастворим в свинце, кислород растворяется весьма незначительно. При температуре 350 °С растворимость кислорода составляет $(48...60)10^{-5} \%$, при температуре 550 °С его растворимость возрастает до $(120...145)10^{-5} \%$. Поэтому считают, что водород и кислород в свободном состоянии на образование и развитие пор в сварных швах свинца влияния не оказывают. Появлению пор при сварке свинца графитовыми электродами способствует окись углерода, которая образуется по реакции восстановления окиси свинца твердым углеродом:



Образование пор при сварке свинца объясняется также восстановлением окиси свинца водородом с образованием паров воды по реакциям:



Сплавы свинца с оловом называются *бabbitами*. Они обладают хорошими антифрикционными свойствами и применяются для изготовления вкладышей подшипников. Для этой цели в основном используют сплавы Б88, БН, Б16 и др. (ГОСТ 1320—74).

Сплавы свинца с висмутом, оловом, кадмием, ртутью имеют низкую температуру плавления и применяются в медицине, электротехнической промышленности и других отраслях народного хозяйства. Например, у сплава, содержащего (%): фосфора — 28, висмута — 36, кадмия — 6, ртути — 30, температура плавления 48 °С; у сплава, содержащего (%): свинца — 27, висмута — 50, олова — 13, кадмия — 10, температура плавления 70 °С.

Глава 2. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ДУГЕ И СПОСОБАХ СВАРКИ

СВАРОЧНАЯ ДУГА

Дуга — это один из видов электрического разряда в газовой среде. В обычных условиях газ состоит из электрически нейтральных молекул и является изолятором. При появлении в нем электронов и ионов газ может проводить электрический ток.

Процесс образования в газе электрически заряженных частиц называется *ионизацией*, а отношение числа ионизиру-

емых молекул к их первоначальному числу до ионизации называется *степенью ионизации газа*. Для ионизации к атому необходимо подвести определенное количество энергии. Значение энергии, необходимой для удаления электрона из атома и образования иона, называется *потенциалом ионизации*, измеряемом в вольтах или электрон-вольтах.

В сварочной дуге молекулы большинства химических соединений распадаются на отдельные атомы, а вещества испаряются и пребывают в газообразном состоянии. При температурах дуги энергия атомов увеличивается. Они возбуждаются и ионизируются.

Дуговой разряд происходит не в однородном газе, а в смеси газов и паров металлов. В связи с этим необходимо знать некоторый усредненный потенциал ионизации, который характеризует общую или эффективную степень ионизации. Ее значение получают расчетным путем, используя известные потенциалы ионизации элементов в зоне дуги и их концентрацию. От потенциала ионизации в значительной степени зависят температура и устойчивость горения дуги. Чем эффективнее потенциал ионизации, тем устойчивее горение дуги. Поэтому для стабилизации процесса сварки в зону дуги через покрытия электродов, флюсы или защитные газовые среды вводят легкоионизирующиеся вещества. Для образования сварочной дуги применяют постоянный или переменный ток.

При сварке на постоянном токе положительный полюс называется *анодом*, а отрицательный *катодом*. Зона, расположенная у анода, называется *анодной областью*, зона, прилегающая к катоду, — *катодной областью*, а участок дуги между катодной и анодной областью — *столбом дуги*. Анодная и катодная области являются переходными зонами между поверхностями электродов и плазмой дугового разряда.

Когда анодом служит электрод, а катодом свариваемый металл, такое включение называется *обратной полярностью*. Подключение электрода к отрицательному полюсу, а металла к положительному дает *прямую полярность*.

Для питания дуги применяется также переменный ток частотой 50 Гц. В этом случае электрический ток в дуге каждый полупериод меняет свое направление, а напряжение изменяет полярность.

По способу воздействия на свариваемый металл дуги бывают *прямого* и *косвенного действия*. При *прямом действии* к свариваемому металлу подводится один из потенциалов дуги. Электрод при таком включении может быть как *плавящимся*, так и *неплавящимся*. При *косвенном действии* дуга образуется между двумя неплавящимися электродами, поэтому дугой

косвенного действия можно сваривать кроме металлов также неэлектропроводные, неметаллические материалы, например стекло и др.

При замыкании в месте контакта двух электродов, где электрическое сопротивление выше, чем в остальной цепи, выделяется большое количество теплоты, которая мгновенно расплавляет металл в месте контакта. В этот момент при разрыве контакта между электродами и достаточной напряженности электрического поля с катода вырываются электроны и устремляются к аноду.

Электроны ударяясь о поверхность анода, разогревают его, попадают в металл и превращаются в электроны проводимости. Электроны, перемещающиеся от катода к аноду, сталкиваясь с молекулами и атомами газа и испаряющегося металла, выбивают из атомов электроны, превращая их в положительно заряженные ионы, которые затем перемещаются к катоду. Так, при разряде в дуговом промежутке образуются два встречных потока — электроны, перемещающиеся от катода к аноду, и ионы, движущиеся от анода к катоду. Попадая на катод, ионы способствуют повышению его температуры и усиленному выходу электронов с его поверхности.

Дуговая сварка может выполняться как плавящимся, так и не плавящимся электродом. При сварке неплавящимся электродом для заполнения разделки или образования усиления сварного шва применяют присадочный металл, который попадает в зону дуги из присадочной проволоки.

В процессе сварки плавящимся электродом перенос электродного металла в сварочную ванну производится в виде капель или потока. Характер переноса металла зависит от силы сварочного тока, диаметра электродной проволоки, защитной среды, полярности тока, силы тяжести, силы поверхностного натяжения, электродинамической силы, плазменных потоков и др. Перенос электродного металла оказывает значительное влияние на протекание металлургических процессов в зоне дуги, а следовательно, и на качество сварных швов.

ДУГОВАЯ СВАРКА

Дуговая сварка получила наиболее широкое применение. При сварке электрической дугой не вся теплота затрачивается на расплавление кромок металла.

Часть теплоты, поступающая в изделие, называется *эффективной тепловой мощностью дуги* q_n . Отношение эффективной тепловой мощности дуги к ее полной тепловой мощности, равной $q = 0,24IU$, называется *эффективным коэффициентом*

процесса нагрева изделий дугой η_n . Эффективность использования теплоты дуги зависит от технологии сварки, длины дуги, степени углубления ее в металл и т. д. Любое уменьшение длины дуги приводит к снижению потерь теплоты в окружающее пространство и увеличению эффективной тепловой мощности дуги.

В настоящее время самым распространенным способом является ручная дуговая сварка покрытым электродом. Она применяется в труднодоступных местах и в различных пространственных положениях, где другие способы сварки использовать невозможно или нецелесообразно. Ручная дуговая сварка применяется также в ремонтных работах, где механизация себя не оправдывает. Сущность способа ручной дуговой сварки покрытым электродом заключается в том, что электрическая дуга расплавляет стержень электрода, его покрытие и кромки основного металла, образуя сварочную ванну, а после ее кристаллизации — сварной шов.

Электрод представляет собой прутки, имеющие покрытие, в состав которого входят элементы для поддержания горения дуги, защиты расплавленного металла от окружающего воздуха и для легирования металла шва необходимыми элементами. Электроды применяются длиной 250—450 мм и диаметром от 3 до 6 мм.

Сварка производится как на постоянном, так и на переменном токе, но сварка цветных металлов, как правило, выполняется на постоянном токе обратной полярности. Дуга возбуждается легким касанием электрода к свариваемому изделию.

Однако способ ручной дуговой сварки отличается большой трудоемкостью и не может обеспечить высокое качество сварных швов. Устранение этих недостатков было достигнуто применением механизированных способов. В этом случае сварку или наплавку выполняют под слоем флюса или в среде защитного газа лентками, проволоками сплошного сечения или порошковыми проволоками, состоящими из металлической оболочки и шихты внутри нее.

Порошковые проволоки, как и керамические флюсы, позволяют легировать, рафинировать и раскислять наплавленный металл. При этом металл может не отличаться от состава оболочки порошковой проволоки или ленты и быть другого состава.

Несмотря на явные преимущества автоматической сварки под слоем флюса, перед сваркой необходимо засыпать флюс из места будущего шва, а после сварки удалять флюс и шлак со шва. Это затрудняет применение современных средств механизации и автоматизации, например, установок с програм-

мым управлением, сварочных роботов и др. Поэтому все более широкое распространение получают способы сварки и наплавки в среде защитных газов.

Сварка в среде защитных газов бывает ручная неплавящимся вольфрамовым электродом, полуавтоматическая и автоматическая плавящимися электродами. Она выполняется с помощью горелок, через которые в зону дуги подаются защитные газы, а по внутреннему центральному каналу поступает электродная проволока. Иногда при сварке в среде защитных газов применяют порошковые проволоки. Этим удается совмещать преимущество шлаковой и газовой защиты, легировать металл шва и стабилизировать дугу.

Основной проблемой при сварке в среде защитных газов является получение надежной защиты зоны дуги от окружающего дугу воздуха. Для этого необходимо, чтобы сварочные горелки в процессе сварки обеспечивали ламинарное истечение защитных газов.

Ручная дуговая сварка алюминия и его сплавов неплавящимся электродом в среде защитных газов производится на переменном токе, а меди и ее сплавов — как на переменном, так и на постоянном токе прямой полярности. Автоматическую и полуавтоматическую сварку цветных металлов плавящимся электродом в среде защитных газов выполняют на постоянном токе обратной полярности, что позволяет получать высокое качество сварных соединений.

В настоящее время преобладает дуговая сварка с максимальной механизацией сварочных процессов. Но с каждым годом энергично развиваются и широко внедряются в производство такие способы сварки, как плазменная, лазерная, электронно-лучевая, сварка взрывом и др.

ПЛАЗМЕННАЯ СВАРКА

При сжатии дуги ее площадь сечения уменьшается и резко увеличивается температура, достигая 20 000—30 000 °C. В этом случае газ в дуге содержит множество положительно и отрицательно заряженных частиц в таком соотношении, что общий заряд равен нулю. Такой газ принято называть *плазмой*. Если газ в дуге содержит и нейтральные частицы, тогда он называется низкотемпературной плазмой. Особые свойства плазмы дали основание, наряду с твердым, жидким и газообразным, именовать ее четвертым агрегатным состоянием вещества.

На практике обжатие столба дуги производят холодным телом или электромагнитным полем. Катод дуги представляет собой стержень из тугоплавкого металла, например вольфра-

ма, а анодом может служить сопло горелки или свариваемый металл. Сопло, сквозь которое пропускают столб дуги, обычно изготавливается из меди, изнутри оно охлаждается непрерывным потоком воды, отводящей тепло от дуги. Для образования высокотемпературной плазмы в сопло подают гелий, аргон, азот или углекислый газ.

Когда катодом служит вольфрамовый электрод, а анодом нагреваемый материал, образуемая плазма называется плазмой прямого действия. В этом случае анодом могут быть только электропроводные материалы. Процесс обладает большей универсальностью, когда анодом служит медное сопло, а катодом — вольфрамовый электрод. Такая плазма может нагревать, выполнять сварку или резку как электропроводных материалов, так и не проводящих электрический ток и называется плазмой косвенного действия. При получении плазмы за счет обжатия дуги электромагнитным полем сопло предохраняется от тепловой эрозии и значительно увеличивается срок плазматронов.

Плазменная сварка и особенно резка получили широкое распространение в промышленности. Благодаря высокой температуре плазма позволяет производить разделительную резку нержавеющей стали, алюминия, меди, их сплавов, чугуна и других металлов и неметаллов. В микроэлектронике широкое распространение получила микроплазменная сварка. Из области сварочного производства плазма перешла в металлургию, металлообработку, радиоэлектронику, атомную технику, энергетику, космическую технику, медицину и многие другие отрасли народного хозяйства.

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ СВАРКА

Носителем энергии при электронно-лучевой сварке является электронный луч. Для выполнения такого процесса сварки необходимо получить поток свободных электронов, сконцентрировать их и сообщить им достаточную скорость движения. При торможении электронов в свариваемом металле их кинетическая энергия превращается в тепловую и осуществляется процесс сварки.

Получение свободных электронов достигается излучением нагреваемого до определенной температуры катода. Ускорение движения электронов, необходимое для расплавления свариваемого металла, производится высоковольтным электрическим полем между катодом и анодом, а для фокусировки или концентрации потока электронов применяется магнитное поле.

Установка, в которой генерируется непрерывный поток электронов и образуется электронный луч, называется электронно-лучевой пушкой. Для устойчивости процесса электронно-лучевую сварку производят в вакуумной камере, в которой давление не превышает $133,3 \cdot 10^{-4} — 133,3 \cdot 10^{-6}$ Па.

Электронный луч широко применяется для сварки тугоплавких и химически активных металлов, а также в тех случаях, когда использование других способов невозможно или нецелесообразно.

ЛАЗЕРНАЯ СВАРКА

Лазеры преобразуют электрическую, световую, тепловую или химическую энергию в монохроматическое когерентное излучение электромагнитных волн. Излучение лазеров может быть в ультрафиолетовом, видимом или инфракрасном диапазоне. В основу действия лазера положено поглощение электромагнитных волн атомными системами. При поглощении энергии фотона передается атому, который переходит в возбужденное квантовое состояние. Этот атом затем может излучить приобретенную энергию в виде фотона и возвратиться в исходное состояние. Однако пока атом находится в возбужденном состоянии, его можно заставить испускать фотон под действием внешнего фотона с энергией, равной энергии фотона, испускаемой атомом рабочего тела лазера. Такое возбуждение можно получить светом импульсных ламп в твердотельных и жидкостных лазерах, светом газового разряда в газовых лазерах и энергией электрического тока в лазерах, снабженных полупроводниковыми излучателями. Применяются также системы, в которых для возбуждения газовых лазеров используется тепло и энергия химических реакций.

В зависимости от энергетических характеристик системы накачки лазеры могут работать в непрерывном или импульсном режиме. Рабочим телом лазеров могут быть рубин, кристаллы вольфрамата кальция с примесью неодима, фтористого кальция с примесью диспрозия и др. В газовых лазерах используются неон, гелий, криптон, водород, двуокись азота, углекислый газ и др.

Лазеры были изобретены в 1962 г. одновременно в СССР и США, а 28 октября 1964 г. советским ученым Н. Г. Басову, А. М. Прохорову и американскому ученому Ч. Таунсу присуждена Нобелевская премия по физике за фундаментальные исследования в области квантовой электроники.

Небольшая площадь излучения позволяет получить значительную плотность энергии и успешно применять лазеры

для сварки и резки металлов. В современных установках удалось сфокусировать излучение на площади $10^{-4} — 10^{-5}$ см² и создать поток энергии плотностью $10^{16} — 10^{17}$ Вт/см² и более. В настоящее время для сварки и резки созданы лазеры мощностью до 5 кВт.

Сварочная установка состоит из комплекса оптико-механических и электрических элементов, основой которого является лазер (оптический квантовый генератор), блок питания импульсной лампы-вспышки с напряжением питания до 20 кВ и входящим в него затвором с трансформатором подсветки, а также стереоскопический микроскоп. В зависимости от энергетических параметров системы накачки сварочный лазер может работать в импульсном или непрерывном режиме.

Основным узлом генератора является осветительная камера, внутри которой помещен кристалл рубина. Параллельно кристаллу расположена импульсная лампа, подключенная к источнику высокого напряжения. Внутри камера отполирована для отражения света и охлаждается потоком сжатого воздуха. Для формирования измерения и направления его на место сварки служит формирующая оптическая система.

Настройка генератора выполняется оптическим устройством, состоящим из осветителя, конденсорной линзы и призмы. Наблюдение за процессом сварки осуществляется с помощью стереоскопического микроскопа. Для защиты глаз оператора-сварщика в момент сварки служит затвор специальной конструкции, который приводится в действие электромагнитом. Длительность импульса изменяется с помощью индуктивности, которая изменяет время разряда, а следовательно, и время горения лампы-вспышки.

Резка лазером применяется как высокоэффективный технологический процесс разделения металлов и неметаллических материалов, например, стекла, керамики, графита, алмазов и других материалов.

Лазерная сварка выполняется в вакууме и в среде инертных газов, а резка — и в воздушной среде. Возможность получения мощных лазерных лучей открывает перспективу широкого их использования для различных способов сварки, резки, упрочнения поверхностного слоя деталей и т. д.

ЭЛЕКТРОШЛАКОВАЯ СВАРКА

При электрошлаковой сварке теплота, необходимая для расплавления металла, выделяется в расплавленном флюсе-шлаке при прохождении через него электрического тока. Этим способом сварки соединяют изделия с толщиной стенок

от 25—30 до 2000 мм и более. Для сварки дегази собирают с зазором 20—40 мм, который с двух сторон закрывают движущимися водоохлаждаемыми медными ползунами, удерживающими расплавленный металл и шлак от вытекания. Сварочный аппарат перемещается по специальной зубчатой рейке с помощью самоходной тележки. В процессе сварки по мере заполнения зазора между кромками ползуны вместе с автоматом перемещаются вверх. В качестве электродов служат проволоки или пластины, которые подаются в зазор по мере их плавления.

Электрошлаковая сварка применяется в основном в тяжелом машиностроении при изготовлении сосудов больших толщин, станин прессов, валов гидротурбин, бандажей вращающихся цементных печей и других изделий из сталей, меди, алюминия и их сплавов.

СВАРКА РОБОТАМИ

Для выполнения однообразных сварочных работ в массовом производстве с применением конвейеров весьма перспективным является использование вместо человека роботов, позволяющих сваривать одинаковые узлы и детали в высоком темпе в течение длительного периода.

Промышленный робот — это автономно функционирующий автомат, предназначенный для воспроизведения некоторых двигательных и умственных функций человека при выполнении производственных операций без его участия. В работе нашли практическое применение самые передовые достижения в области механики, теории информации, вычислительной техники, теории автоматического регулирования и управления, электроники и других отраслей науки. Иначе, на стыке этих наук идет создание новой отрасли — робототехники.

Робот представляет собой машину, снабженную штангой или своего рода рукой, которая с помощью различных приводов может совершать движения по заданной программе, поступающей от аппарата управления. Электронное запоминающее устройство позволяет обучать робота. Для этого сварщик-оператор вручную ведет щуп по месту сварного шва. Траектория движения щупа запоминается электронной системой, и при пуске робота горелка, расположенная в его руке-штанге, совершает движение, заданное сварщиком-оператором.

Первые сварочные роботы были разработаны для контактной сварки, затем для сварки в среде защитных газов плавящимся электродом. В Институте электроники им. Е. О. Патона для Горьковского автозавода разработан робот ИЭС-

690, выполняющий контактную точечную сварку узлов кузова и кабины автомобилей. Он имеет пять степеней свободы и сваривает металл толщиной 0,8—1,5 мм со скоростью 60 точек в минуту. В наше время роботы находят все более широкое применение при выполнении сварочных и других работ, заменяя человека в трудных и вредных условиях производства.

Глава 3. СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

СВАРОЧНЫЕ ПРОВОЛОКИ

Проволока для сварки алюминия и его сплавов поставляется согласно ГОСТ 7871—75 четырнадцати марок 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,5; 3,15 и т. д. диаметром от 0,8 до 12 мм. Выпускается в бухтах или мотках, а также намотанной на катушки в герметической упаковке. Для сварки магниевых сплавов применяются проволока и прутки согласно ГОСТ 14957—76.

Для сварки меди и ее сплавов проволока изготавливается семнадцати марок, девять из которых выпускаются согласно ГОСТ 16130—72 (например, МНЖКТ 5-1-0,2-0,2). Остальные изготавливаются по стандартам: проволока из меди М1, М1Р и М3Р по ГОСТ 859—78; бронзовые проволоки БрКМц3-1, БрАмц9-2 и БрАЖМц 10-3-1,5 по ГОСТ 18175—78; проволоки БрОЦ4-3 и БрОФ6,5-0,15 по ГОСТ 5017—74; латунные проволоки Л63, ЛМц58-2, ЛО60-1 и ЛЖМц59-1-1 по ГОСТ 15527—70. Проволока МНЖ 5-1 выпускается по ГОСТ 17217—79.

Сварочные проволоки диаметром от 0,8 до 8 мм поставляются трех типов: мягкая — М, полутвердая — Пт и твердая — Т в бухтах, покрытых слоем консервирующего смазочного материала и обмотанных тканевой лентой. В процессе подготовки к сварке после расконсервации бухты проволоку с внешней стороны протирают ветошью и промывают в техническом ацетоне (ГОСТ 2768—79) или авиационном бензине (ГОСТ 1012—72). Далее проволоки из алюминия и его сплавов подвергаются обезжириванию и травлению, а при необходимости и электрополированию.

Проволоку из меди и ее сплавов для удаления окислов и других загрязнений обрабатывают в следующей последовательности. Вначале подвергают травлению в растворе, г/л: HNO_3 —250—300, HCl —4,0—5,0 и H_2SO_4 —650—700. Температура раствора должна быть 18—25 °С, время травления 1,0—2,5 мин. Приведенный раствор можно заменить раствором

состава, г/л: KCr_2O_7 — 100, H_2SO_4 — 10—20, вода до 1 л. Температура раствора 40—60 °С, время травления 15—25 с. Далее следует промывка в проточной воде в течение 15—25 мин и сушка в сушильном шкафу при температуре 30—60 °С до полного удаления влаги. В процессе сушки дверь сушильного шкафа надо держать приоткрытой.

Никель сваривают проволоками НП1, НП2, НП3, НП4 и др. (ГОСТ 2179—75).

Для сварки титана и его сплавов применяются проволоки ВТ1-00, ВТ1-0, ОТ4, ОТ4-1, ВТ2св, ВТ6св, СПТ-2, ВТ2, ВТ20-1св, ВТ20-2св и др.

В качестве присадочного металла при сварке свинца служит свинцовая проволока марок С000, С00, С1, С2 и С3 по ГОСТ 5655—67. При отсутствии свинцовой проволоки используют полосы, нарезанные из свариваемого металла, или отдельно отлитые прутки.

НЕПЛАВЯЩИЕСЯ ЭЛЕКТРОДЫ

Для сварки в среде защитных газов неплавящимся электродом служат вольфрамовые прутки диаметром от 1 до 10 мм (ГОСТ 23949—80). Плотность вольфрама при температуре 20 °С составляет 19,0—19,2 г/см³, температура плавления 3377 °С, температура кипения 5100 °С. Электроды из чистого вольфрама изготавливаются марки ЭВЧ, из вольфрама с присадкой до 1,5—2,0 % окиси лантана — марок ЭВЛ-10, ЭВЛ-20; из вольфрама, содержащего до 3,0 % окиси иттрия, — марки ЭВИ-30.

Сварка на переменном токе выполняется электродом, заточенным в виде сферы, на постоянном токе — в виде конуса.

Таблица 3.1. Расход вольфрама на 100 м шва при аргонодуговой сварке неплавящимся электродом

Свариваемый металл	Толщина свариваемого металла	Диаметр электрода	Расход вольфрама, т	
			Ручная сварка	Механизированная сварка
Алюминий и его сплавы	2	2	23,4	10,9
	4	3	83,3	39,0
	6	4	132,2	125,0
	8	5	165,0	156,0

Таблица 3.2. Максимальная токовая нагрузка на вольфрамовые электроды

Диаметр электрода, мм	Предельно допустимая сила сварочного тока, А		
	ЭВИ	ЭВЛ	ЭВЧ
2	180	160	20
3	320	300	190
4	610	590	380
5	900	820	590

Ориентировочные нормы расхода вольфрама при аргонодуговой сварке приведены в табл. 3.1.

При сварке меди, никеля и их сплавов расход вольфрама увеличивается в 1,5—2,0 раза, а при сварке магния и его сплавов незначительно уменьшается. Максимально допустимая сила сварочного тока на вольфрамовые электроды приведена в табл. 3.2 [5].

ЗАЩИТНЫЕ ГАЗЫ

Для сварки цветных металлов в качестве защитных сред применяются аргон (ГОСТ 10157—79), гелий (ГОСТ 20461—75), азот (ГОСТ 9293—74), кислород (ГОСТ 5583—78) и углекислый газ (ГОСТ 8050—76).

Газы хранятся и транспортируются в цельнотянутых стальных баллонах вместимостью 40 л под давлением 15 МПа и содержат $V = 150 \cdot 40 = 6000$ л газа. При испарении 1 л жидкой углекислоты при 0 °С и давлении 0,1 МПа получается 506,8 л газа. В стандартный баллон вместимостью 40 л заливается 25 л жидкой углекислоты, которая при испарении дает 12,5 м³ углекислого газа.

Баллоны с аргоном окрашиваются в серый цвет с зеленой полосой и зеленой надписью «Аргон жидкий». Баллоны с гелием окрашиваются в коричневый цвет без надписи. Баллоны с азотом окрашиваются в черный цвет с поперечной коричневой полосой и желтой надписью «Азот». Баллоны с кислородом

Таблица 3.3. Основные свойства защитных газов

Свойства	Аргон Ar	Гелий He	Азот N ₂	Кислород O ₂	Углекислый газ CO ₂
Относительная молекулярная масса	39,99	4,003	28,01	32,0	44,01
Плотность при 0 °С и давлении 0,1 МПа, г/л	1,784	0,179	1,251	1,429	1,977
Первый потенциал ионизации φ , эВ	15,7	24,6	14,5	13,56	14,3
Энергия диссоциации ω_d , Дж/моль	—	—	7,37	5,08	$2,8 \cdot 10^6$
Сечение столкновения $\sigma_s \cdot 10^{-20}$, м ²	2,5	10	20	20	25
Теплопроводность при 20 °С и давлении 0,1 МПа, Вт/(м·К)	0,0159	0,157	0,244	0,0245	0,0159
Удельная теплоемкость, Дж/(г·К)	0,239	0,238	1,069	0,911	1,37

окрашиваются в голубой цвет. Баллоны с углекислым газом окрашиваются в черный цвет и имеют желтую надпись «СО₂ сварочный». Гелий в десять раз легче аргона, и поэтому его при сварке расходуется на 30—40 % больше, чем аргона.

Основные свойства газов приведены в табл. 3.3.

ФЛЮСЫ

Сварочные флюсы, применяемые для сварки алюминия и его сплавов, должны предотвращать образование в сварных швах пор и трещин и обеспечивать высокие механические и антикоррозионные свойства швов. Для этого им необходимо обладать высокой активностью и способностью очищать металл от окисной пленки, создавать дополнительную защиту дуги и сварочной ванны от окружающего воздуха, плавиться при температуре, близкой к температуре плавления свариваемого металла, и иметь малую плотность. Таким требованиям удовлетворяют флюсы на основе хлористых и фтористых солей, например флюс АН-А1, содержащий, %: KCl—50, NaCl—20 и Na₃AlF₆—30. Применяются также флюсы типа МАТИ и др.

Флюсы могут быть плавные и керамические. При изготовлении плавных флюсов их компоненты в определенных пропорциях смешивают и расплавляют в печи. Затем расплав выливают в противни и после остывания измельчают в специальных дробилках. Такие плавные флюсы называют стекловидными. Когда расплав выливают в воду, то флюс от резкой разности температур подвергается дроблению. Затем его сушат и отсеивают мелкую фракцию. Такой флюс называют пемзовидным.

При изготовлении керамических флюсов в состав шихты вводят шлакообразующие, раскисляющие и легирующие элементы. Шихту замешивают на водном растворе жидкого стекла. Готовая масса гранулируется продавливанием через сита или решетки с размером ячейки от 1,5 × 1,5 до 2,5 × 2,5 мм, сушится, затем прокаливается.

Керамические флюсы активно влияют на металлургические процессы, протекающие в зоне дуги и сварочной ванне, и позволяют получать сварные швы высокого качества. Кроме того, они дают возможность получить металл шва, отличный от состава электродной проволоки. Так, применяя медную электродную проволоку, с помощью легирования сварочной ванны через керамический флюс можно получить в наплавленном металле оловянную или безоловянную бронзу.

Для сварки алюминия применяются флюсы плавные и в виде смесей. При сварке под слоем флюса алюминиевых

шинопроводов толщиной до 100 мм применяют керамический флюс ЖА-64, разработанный Ждановским металлургическим институтом. При автоматической сварке и наплавке меди и ее сплавов под слоем флюса используют плавные и керамические флюсы. Плавные флюсы большей частью применяются в виде смесей (например, смесь стекловидного флюса АН-26С — 80 % и флюса АН-60 — 20 %). Для автоматической сварки бронзы БрАМц9-2 используют смесь флюса АН-60 (85—90 %) и мрамора (10—15 %).

При сварке меди и ее сплавов широко применяются керамические флюсы. В основном это флюсы К-13 МВТУ (состав, %: глинозем — 20, плавиковый шпат — 20, кварцевый песок — 8—10, магнезит — 15, мел — 15, бура безводная — 15—19, алюминиевый порошок — 3—5) и КМ-1 (состав, %: полевой шпат — 37—39, плавиковый шпат — 13—15, кремнезем — 5—7, двуокись титана — 18—20, глинозем — 6—8, переплавленная бура — 7—9, никелевый порошок — 7—9). Иногда никелевый порошок заменяют оловянным. Применяется также флюс ЖМ-1 (состав, %: мрамор — 28, полевой шпат — 57,6, плавиковый шпат — 8, древесный уголь — 2,2, борный шлак — 3,5, порошок алюминия — 0,7).

Латуни сваривают с флюсом следующего состава, %: хлористый калий — 40—42, хлористый натрий — 11—13; криолит — 44—46, древесный уголь — 1—3.

При сварке никеля используют керамический флюс ЖН-1 (состав, %: мрамор — 12, флюоритовый концентрат — 60, глинозем — 15, марганец металлический — 5, титановый порошок — 2, алюминиевый порошок — 6).

Керамические флюсы для сварки меди и никеля изготавливают на жидком стекле (на основе натрия) плотностью 1,3—1,4 г/см³ в объемных долях 18—26 % от массы сухой шихты.

ЭЛЕКТРОДЫ ДЛЯ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ

Для ручной дуговой сварки технического алюминия применяются электроды ОЗА-1, 4ф-4аКр или А1-1Ф1 с покрытиями галогенидного типа. Стержни электродов изготавливаются из алюминиевой проволоки Св-А5 по ГОСТ 7871—75. Покрытие электродов состоит из флюса АФ-4А — 65 %, Na₃AlF₆ — 35 %. Сверх состава шихты в покрытие добавляют 2,0 % NaPO₃. Иногда такое покрытие электродов А1-1Ф1 заменяется составом, содержащим (%): NaCl — 30, KCl — 50, Na₃AlF₆ — 20.

Сварка изделий из литейных алюминиевых сплавов, таких как АЛ2, АЛ4, АЛ5, АЛ9, АЛ11 и др. выполняется элект-

тродами ОЗА-1 и ОЗА-2. Электроды изготавливаются из проволоки Св-АК5 с покрытием галогенидного типа.

Для ручной дуговой сварки меди и ее сплавов применяются электроды «Комсомолец-100», КОМ-1, ЭМ-1, ЭМ-2, ЭМ-3 и др. Составы покрытий наиболее широко применяемых электродов для сварки меди и ее сплавов приведены в табл. 3.4. В качестве связующего служит раствор силиката натрия плотностью 1,35—1,45 г/см³. Толщина покрытия на сторону составляет 0,6—0,8 мм.

Электроды КОМ-1 получают нанесением покрытия на медные стержни. Основой электродов ЭМ-1 является проволока МНЖКТ 5-1-0,2-0,2, БрКМц3-1, БрХ0,7 и М1. Покрытие электродов ЭМ-3 наносят на прутки из сплава БрАЖМц10-3-1,5 и БрАМц9-2. Электроды КОМ-1 используются для сварки меди, а электроды ЭМ-1 и ЭМ-2 как для сварки меди, так и сплавов, сходных по составу с наплавленным металлом.

Электроды ЭМ-3 применяются для сварки алюминиевых и оловянных бронз. Если покрытие ЭМ-3 нанесено на литые прутки (состав, %: Sn—8—10; Mn—0,5—0,8; Al—0,5—0,8; V—0,3—0,8; Cu—остальное), электроды могут применяться для сварки оловянных бронз и латуней.

Высокое качество швов при сварке меди позволяют получить также электроды ЭМ-4, разработанные ПО «Ждановтяжмаш» и Ждановским металлургическим институтом (состав, %: плавиковый шпат — 14—22; рутиловый концентрат — 11—19; глинозем — 5,5—9,5; алюминивно-магниевый порошок — 1,0—2,2; слюда — 5,5—9,5; закись олова 3—7; мрамор — остальное). Не менее высокое качество швов обеспечивают электроды, содержащие в покрытии (%) углекислый стронций — 14—16; фтористый барий — 2—4; кремне-

Таблица 3.4. Составы покрытий электродов для сварки меди и ее сплавов

Компонент	КОМ-1	ЭМ-1	ЭМ-2	ЭМ-3
Мрамор	—	20	—	—
Полевой шпат	15	38	38	38
Плавиковый шпат	12,5	12	12	12
Концентрат рутиловый	—	—	17	17
Ферросилиций	10	—	—	—
Ферромарганец	62,5	—	—	—
Слюда-мусковит	—	7,5	5,0	5
Оловянный порошок	—	5,0	13	10
Глинозем	—	7,5	5	5
Кремнезем	—	—	10	13

фтористый калий — 4—6; плавиковый шпат — 14—16; криолит — 4—6; окись меди — 2—4; марганец металлический — 4—6; полевой шпат — 43—45; глинозем — 4—6.

При сварке меди покрытие наносится на прутки из проволоки МНЖКТ 5-1-0,2-0,2, а при сварке алюминиевых бронз — на прутки состава (%): Al — 9—9,5; Ni — 0,8—1,0; Mn — 0,25—0,3; Si — 0,1—0,2; Cu — остальное.

Для сварки алюминиевых бронз применяется также покрытие следующего состава (%): полевой шпат — 37—39; плавиковый шпат — 11—13; двуокись титана — 16—18; глинозем — 4—6; кварцевый песок — 9—11; закись олова — 12—14; слюда-мусковит — 4—6 или используется состав покрытия электродов ВЧЖ-1. Пруток в этом случае по составу должен соответствовать свариваемому металлу.

Для сварки латуней хорошие результаты показали электроды ОБ-5, разработанные на Уралмашзаводе, содержащие (%): ферромарганец — 75,0; фтористый натрий — 9,0; плавиковый шпат — 7,5; графит серебристый — 4,5; алюминиевый порошок — 2,0; бентонит — 2,0 и жидкое стекло (на основе натрия) — 25,0 от массы сухой шихты. Покрытие наносится на литые прутки, содержащие (%): Sn — 7,0—9,0; Ni — 1,0—1,6; P — 0,25—0,4; Cu — остальное. Толщина покрытия на сторону 0,4—0,6 мм.

Для сварки никеля марок Н1 и Н2 наиболее широко используются электроды «Прогресс-50» с покрытием кислого типа, содержащие (%): двуокись титана — 52, плавиковый шпат — 20, хлористый натрий — 6, марганец металлический — 8, титановый порошок — 8, алюминиевый порошок — 6, бентонит — 1 и раствор силиката натрия плотностью 1,35—1,45 г/см³ в объемных долях 25—35 % от массы сухой шихты. Для стержней используется никелевая проволока НП-1, НП-2, НМц2,5. Кроме того, применяются электроды Н-10, Н-37, ИМЕТ-7, ИМЕТ-10 и др.

Глава 4. ЭЛЕМЕНТЫ ЭЛЕКТРОНИКИ И СВАРОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ *

РЕЗИСТОРЫ, КОНДЕНСАТОРЫ, ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ

В сварочных электронных схемах широкое применение находят резисторы, конденсаторы, полупроводниковые, выпрямительные и импульсные диоды, тиристоры, стабилитроны,

* Глава написана совместно с инженером Георгием Геннадиевичем Псарасом.

транзисторы, свето- и фотодиоды, радиолампы и другие приборы.

Резисторы (сопротивления) бывают постоянные, переменные и подстроечные. В постоянных резисторах в процессе эксплуатации сопротивление не изменяется. Резисторы, с помощью которых осуществляется в аппаратуре разного рода регулировка, называются переменными, или потенциометрами. Подстроечные резисторы позволяют изменять сопротивление цепи только при настройке электронных устройств.

По характеру основной токоподводящей части резисторы делятся на проволочные и непроволочные, в которых используются полупроводниковые материалы или сплавы с высоким удельным электрическим сопротивлением.

Единицей сопротивления является ом. Сопротивление резисторов измеряется в омах (Ом), килоомах (кОм), мегамах (МОм), гигаомах (ГОм) и тераомах (ТОм).

$$1 \text{ кОм} = 10^3 \text{ Ом}; 1 \text{ МОм} = 10^3 \text{ кОм} = 10^6 \text{ Ом};$$

$$1 \text{ ГОм} = 10^3 \text{ МОм} = 10^6 \text{ кОм} = 10^9 \text{ Ом};$$

$$1 \text{ ТОм} = 10^3 \text{ ГОм} = 10^6 \text{ МОм} = 10^9 \text{ кОм} = 10^{12} \text{ Ом}.$$

Номинальное значение сопротивления указывается на корпусе резистора. Сопротивление до 999 Ом выражается в омах, от 1000 до 99 000 — в килоомах, от 100 000 и больше — мегамах, от $1 \cdot 10^9$ до $1 \cdot 10^{12}$ — в гигаомах, от $1 \cdot 10^{12}$ и выше — в тераомах.

Отклонения от номинального значения сопротивления зависят от класса точности. Различают три основных класса точности:

I класс — с отклонением от номинала на $\pm 5\%$ (ряд Е24);

II класс — с отклонением от номинала на $\pm 10\%$ (ряд Е12);

III класс — с отклонением от номинала на $\pm 20\%$ (ряд Е6).

Если на резисторе отклонение не указано, его сопротивление от номинала отличается на $\pm 20\%$.

Постоянные сопротивления для применения в аппаратуре высокой точности изготавливаются с меньшими отклонениями от номинала, например, $\pm 0,01\%$, $\pm 0,02\%$, $\pm 0,05\%$, $\pm 0,1\%$, $\pm 0,2\%$, $\pm 0,5\%$, $\pm 1,0\%$ и $\pm 2,0\%$. В сварочной аппаратуре находят применение постоянные резисторы влагостойкие — ВС, металлизированные лакированные термостойкие — МЛТ, углеродистые лакированные малогабаритные — УЛМ, металлоокисные низкочастотные — МОН, проволочные эмалированные влагостойкие — ПЭВ. Непроволочные постоянные резисторы отличаются небольшими размерами, обладают незначительной собственной индуктивностью, малой емкостью и мощностью.

Проволочные постоянные сопротивления обладают большой мощностью и высокой точностью, однако их частотный диапазон небольшой.

В качестве переменных резисторов наиболее широко распространены: резисторы переменные — СП, резисторы переменные объемные — СПО, резисторы переменные — ВК и ТК (резисторы ТК в корпусе имеют выключатель), проволочные переменные — ПП, резисторы переменные композиционные — СПЗ, резисторы проволочные малогабаритные — СП5.

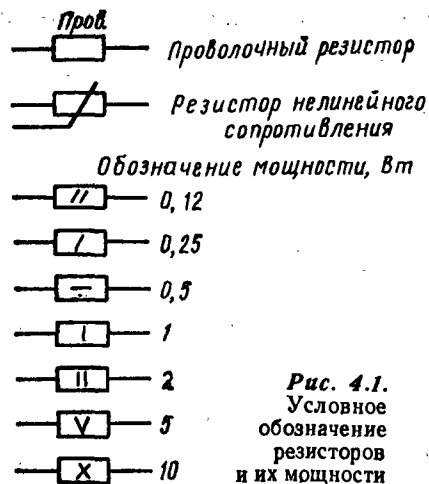
На корпусе резисторов указывается номинальное значение сопротивления с отклонением, а также в зависимости от размеров — полное или кодированное их обозначение. В полном обозначении резистора дается шифр, в котором указываются: цифрами — номинальное значение сопротивления, буквой — его сопротивление и далее цифровым обозначением — допустимые отклонения от номинального значения сопротивления в процентах или класс точности. В этом случае вместо сокращенного обозначения единицы сопротивления кОм ставится буква «к», вместо МОм ставится буква «М», а обозначение Ом не указывается.

На малогабаритных сопротивлениях кодированное обозначение состоит из цифр, показывающих номинальное значение сопротивления, буквы, обозначающей единицу сопротивления, которая одновременно указывает положение запятой в десятичной дроби, и буквы, обозначающей допустимое отклонение сопротивления от номинального значения. В этом случае допустимое отклонение сопротивления резисторов от номинального значения проставляется кодированным обозначением: $\pm 0,4\%$ — Х, $\pm 1,0\%$ — Р, $\pm 2,0\%$ — Л, $\pm 5,0\%$ — И, $\pm 10\%$ — С, $\pm 20\%$ — В, $\pm 30\%$ — Ф и т. д. [3].

Пример. Сопротивление 4,7 кОм с допустимым отклонением $\pm 10\%$ обозначается как 4к7С или без указания отклонения: 4,7 кОм—4к7; 0,47 МОм—М47; 45 кОм—45к; 4,7 МОм—4М7.

Тип резистора может обозначаться также цифрами: 1 — углеродистый, 2 — металлопленочный или металлоокисный, 3 — пленочный композиционный, 4 — объемный композиционный, 5 — проволочный. Затем, через прочерк, дается номер разработки.

На схемах рядом с графическим обозначением резистора приводится условное буквенно-цифровое обозначение, которое состоит из буквы и порядкового номера резистора по схеме. Здесь же проставляется значение сопротивления, а внутри символа резистора условными знаками приводится номиналь-



ная мощность рассеивания (рис. 4.1). В некоторых случаях к обозначению резистора добавляется знак, «+», показывающий, что значение сопротивления указано ориентировочно и подбирается при налаживании установки. На схемах рядом с проволочным сопротивлением ставится надпись «Пров.», которая обозначает, что сопротивление из проволоки с большим удельным сопротивлением. В таких случаях номинальная мощность рассеивания обычно не указывается. Для ра-

боты проволочных резисторов в широком частотном интервале применяют специальные меры по уменьшению влияния на сопротивление собственной емкости и индуктивности.

Переменные резисторы выпускаются движковые и ползунковые. Движковые имеют рабочий участок сопротивления круговой формы, и движок перемещается вращением. У резисторов ползункового типа рабочий участок прямолинейной формы, и ползунок перемещается поступательно.

Переменные сопротивления бывают сдвоенные, совмещенные с выключателем, и различной мощности. По характеру изменения сопротивления в зависимости от величины перемещения рабочего органа резисторы делятся на три группы (рис. 4.2): с линейной зависимостью (группа А); с логарифмической зависимостью (группа Б) и с показательной зависимостью (группа В).

Конденсаторы — это устройства, действие которых основано на способности двух изолированных проводников накапливать разноименные электрические заряды под влиянием подведенного к ним напряжения.

Единицей измерения емкости конденсатора служит фарада. На практике применяют доли фарады — микро-, нано- и пикофарады: $1 \text{ мкФ} = 10^{-6} \text{ Ф}$; $1 \text{ нФ} = 10^{-9} \text{ Ф}$; $1 \text{ пФ} = 10^{-12} \text{ Ф}$.

К основным параметрам конденсаторов относятся номинальное значение емкости с допустимым отклонением, рабочее напряжение и сопротивление изоляции или ток утечки. Наибольшее напряжение, приложенное к обкладкам конденсаторов, при котором он надежно работает длительное время, на-

зывается рабочим. Кроме того, важным параметром является температурный коэффициент емкости (ТКЕ), характеризующий обратимое изменение емкости конденсатора с изменением температуры.

Конденсаторы бывают постоянные, переменные и подстроечные (рис. 4.3).

Постоянные конденсаторы делятся на электролитические и неэлектролитические. В электролитических конденсаторах в качестве одной из обкладок используется металлическая фольга (анод), в качестве второй — электролит (катод). Диэлектриком между ними служит оксидный слой на поверхности фольги. Конденсаторы такой конструкции полярны. Электролитические конденсаторы применяются только в цепях постоянного или пульсирующего тока, причем плюс подают на анод, а минус на катод, обычно соединенный с корпусом конденсатора.

Для цепей переменного тока используются специальные неполярные электролитические конденсаторы. Такие конденсаторы имеют два вывода и отличаются разным материалом диэлектрика. Кроме того, применяются также проходные конденсаторы (керамические и бумажные), предназначенные для фильтрации напряжения. Постоянные конденсаторы, чаще всего керамические, рассчитаны на определенное рабочее напряжение.

Переменные конденсаторы предназначены для изменения в широких пределах емкости электрических цепей в процессе работы аппаратуры. По конструкции переменные конденсаторы отличаются формой используемых пластин ротора и статора, их числом, размерами и конструктивным оформлением.



Рис. 4.2. Зависимость сопротивления от величины перемещения движка резистора

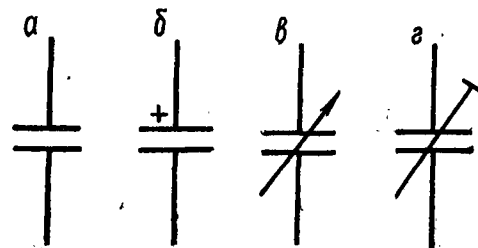


Рис. 4.3. Условное графическое обозначение конденсаторов: а — постоянной емкости; б — электролитического полярного; в — переменной емкости; г — подстроечного

Подстроечные конденсаторы служат для подгонки емкости цепей в процессе настройки схем и отличаются малыми размерами и высокими электрическими параметрами.

В подстроечных конденсаторах также изменяется емкость, однако в меньших пределах, чем в конденсаторах переменной емкости. Наибольшее распространение получили подстроечные конденсаторы типа КПК — конденсаторы подстроечные керамические. КПК-1, КПК-2, КПК-3, КПК-М. Подстроечные конденсаторы состоят из неподвижного керамического статора и подвижного керамического диска-ротора. Обкладками в них служат металлизированные участки ротора и статора, имеющие выводы в виде контактных лепестков.

В зависимости от размеров на корпусе подстроечных конденсаторов указывается полное или кодированное обозначение емкости с допустимым отклонением.

В индексе типа конденсаторов одна или две первые буквы обозначают их группу: К — конденсатор постоянной емкости, КП — конденсатор переменной емкости и КТ — конденсатор подстроечный. Второй элемент обозначает разновидность конденсаторов: 1 — вакуумный; 2 — воздушный; 3 — с газообразным диэлектриком; 4 — с твердым диэлектриком. Третий элемент обозначает порядковый номер, присваиваемый при разработке.

Для маркировки конденсаторов введено также кодированное обозначение емкости и допустимые ее отклонения от номинальной. Обозначение состоит из цифр, указывающих номинальную емкость, и буквы, обозначающей допустимые отклонения емкости от номинальной.

Емкости до 100 пФ выражаются в пикофарадах и обозначаются буквой — П, емкости от 100 пФ до 0,1 мкФ — в нанофарадах и обозначаются буквой — Н, емкости от 0,1 мкФ и выше — в микрофарадах и маркируются буквой — М. Эти буквы ставятся на место запятой десятичной дроби. Если значение номинальной емкости дано целым числом, то буква, обозначающая единицу емкости, ставится после него. Когда значение номинальной емкости дано десятичной дробью, меньшей единицы, то нуль целых и запятая из маркировки исключаются и буквенное обозначение единицы емкости располагается перед числом.

Пр и м е р. Емкость 9,1 пФ обозначается 9П1, 22 пФ — 22П, 150 пФ — Н15, 1800 пФ — 1Н8, 0,01 мкФ — 10Н, 0,15 мкФ — М15, 50 мкФ — 50М и т. д.

Кодированное обозначение допустимых отклонений емкости от номинального значения соответствует буквам:

$\pm 0,1\%$ — Ж, $\pm 0,2\%$ — У, $\pm 0,5\%$ — Д, $\pm 2\%$ — Л, $\pm 5\%$ — И, $\pm 10\%$ — С, $\pm 20\%$ — В, $\pm 30\%$ — Ф и т. д. Отклонение емкости от номинальной (%) характеризует точность значения емкости, в соответствии с которой конденсаторы делятся на десять классов: 001 — $\pm 0,1$; 002 — $\pm 0,2$; 005 — $\pm 0,5$; 00 — ± 1 ; I — ± 5 ; II — ± 10 ; III — ± 20 ; IV — от -10 до $+20$ и т. д.

На конденсаторах большого размера обозначаются тип, номинальная емкость и допустимое отклонение емкости от номинальной (%), а также номинальное напряжение, марка завода-изготовителя, месяц и год выпуска. Если конденсаторы выпускаются одного класса точности, то допуск не ставится. Допустимые отклонения ± 5 , ± 10 и $\pm 20\%$ от номинальной емкости выбираются из рядов «Е».

Конденсаторы постоянной емкости в зависимости от применяемого диэлектрика бывают слюдяные, бумажные, керамические, стеклянные и т. д. Слюдяные конденсаторы применяются следующих типов: КСО — конденсатор слюдяной опрессованный, КСОТ — конденсатор слюдяной опрессованный термостойкий, СГМ — конденсатор слюдяной герметизированный малогабаритный.

В бумажных конденсаторах обкладки являются ленты из металлической фольги, а диэлектриком служит специальная бумага, называемая конденсаторной, которая пропитывается для придания изоляционных свойств вазелином или конденсаторным маслом. В пленочных конденсаторах диэлектриком служат пленки из полистирола, фторопласта или лавсана. Наиболее часто применяются такие типы конденсаторов, как БМ — бумажный малогабаритный, БМТ — бумажный малогабаритный термостойкий, ПМ — полистироловый малогабаритный, ФТ — фторопластовый термостойкий.

В металlobумажных или металлопленочных конденсаторах в качестве диэлектрика применяются конденсаторная бумага или пленка. В этом случае с одной или двух сторон бумага покрывается специальным изоляционным лаком, а в качестве обкладок применяется слой металла толщиной в несколько микрометров. В сварочной аппаратуре применяются конденсаторы МБГО — металlobумажные герметизированные однослойные, МБМ — металlobумажные малогабаритные, МБГН — металlobумажные герметизированные низковольтные, МПО — металлопленочные с однослойной изоляцией и др.

Керамический конденсатор представляет собой керамическую трубку или пластину с обкладками из тонкого слоя металла. В качестве металла применяется обычно серебро, которое наносится на поверхность керамического диэлектрика.

Конденсаторная керамика применяется высоко- и низкочастотная. Высокочастотная керамика характеризуется малыми диэлектрическими потерями, а низкочастотная — большей диэлектрической проницаемостью. Поэтому при тех же габаритных размерах конденсаторы из низкочастотной керамики обладают большей емкостью, а их размеры при той же емкости и номинальном рабочем напряжении значительно меньше, чем у бумажных, слюдяных, металлопленочных или металлобумажных конденсаторов. Основным преимуществом керамических конденсаторов является значительная емкость при небольших размерах и возможность надежной работы в широком интервале температур.

Условное обозначение керамических конденсаторов состоит из буквы Н и числа, соответствующего допускаемому уменьшению емкости (%) в рабочем диапазоне температур. Кроме того, керамические конденсаторы имеют цветовую маркировку. В конденсаторах с голубыми, синими и серыми метками емкость мало изменяется при колебаниях температуры. Такие конденсаторы называются *термостойкими*. Конденсаторы, окрашенные в красный и зеленый цвет, с повышением температуры уменьшают свою емкость и называются *термокомпенсирующими*.

Конденсаторы из низкочастотной керамики окрашиваются в оранжевый цвет, а некоторые их типы дополнительно маркируются цветной точкой. Существует и другой метод маркировки керамических конденсаторов, когда цвет покрытия может быть любой, а маркировка группы выполняется буквами и цифрами или двумя рядом расположенными знаками в виде точек или полосок, соответствующих группе цветов.

Наибольшее распространение получили керамические конденсаторы: дисковые — КД-1, КД-2, трубчатые — КТ-1, КТ-2, КТ-3 и литые секционные — КЛС-1, КЛС-2, КЛС-3. Низковольтные керамические конденсаторы выделены в отдельную группу и обозначаются: К10-7В — рассчитаны на номинальное напряжение 50 В; К10-17 — на напряжение 25 В, К10-23 — на напряжение 16 В; К10У-5 на напряжение от 3 до 50 В.

Стекланые и стеклокерамические конденсаторы заменяют дорогостоящие слюдяные. При изготовлении стеклокерамических конденсаторов в стекланную массу добавляют керамику с высокой диэлектрической проницаемостью. К основным типам стекланых конденсаторов относятся, например, конденсаторы К21-5, К21-7 и т. д., а к стеклокерамическим — К22У-1, К22-5 и др.

Электролитические и оксиднополупроводниковые конденсаторы при значительной емкости имеют малые размеры. В таких конденсаторах одной обкладкой является металл, на котором образован слой окиси, а другой — электролит (в электролитических конденсаторах) или слой полупроводника (в оксиднополупроводниковых конденсаторах).

Оксидная пленка обладает полупроводниковой проводимостью, поэтому при включении электролитических и оксиднополупроводниковых конденсаторов необходимо соблюдать полярность включения. Неполярные конденсаторы могут работать в цепях как переменного, так и постоянного тока.

Широкое распространение получили сухие электролитические конденсаторы. Наиболее часто применяются электролитические алюминиевые конденсаторы К50-3, К50-3А, К50-3Б, К50-6; электролитические танталовые объемно-пористые конденсаторы К52; оксиднополупроводниковые К53-1А, К53-6А; оксиднополупроводниковые ниобиевые К53-4; оксиднополупроводниковые для печатного монтажа КОПП и др.

Конденсаторы переменной емкости бывают с воздушным и твердым диэлектриком и представляют собой пакеты параллельных пластин, перемещающихся относительно друг друга. В них неподвижная система пластин называется статором, а подвижная — ротором. При изменении взаимного положения пластин изменяется емкость конденсатора.

Диоды полупроводниковые — это приборы, состоящие из одного $p-n$ -перехода с двумя выводами от p - и n -областей, главной частью которых является полупроводниковый элемент. К полупроводникам относятся материалы, которые по свойствам занимают промежуточное положение между проводниками и диэлектриками.

В полупроводниковой технике наибольшее применение получили кремний, германий, галлий, селен, арсенид галлия, карбид кремния, сульфид кадмия и другие. От остальных кристаллических материалов полупроводники отличаются электропроводностью, энергетическим состоянием кристаллов, зависимостью их электрических свойств от температуры, от излучений и других внешних воздействий.

Электропроводность характеризуется движением свободных электронов, которые утратили валентную связь с ядром атомов. Оказывая влияние на электронные процессы в полупроводниковых приборах, можно управлять электрическим током. Для использования полупроводников в диодах, транзисторах и других приборах, к чистым полупроводникам добавляют определенные примеси. В зависимости от вида примесей могут получаться две разновидности полупроводников, ус-

ловно получивших название *p*-полупроводники и *n*-полупроводники. Электронная проводимость любого *n*-полупроводника обусловлена наличием в нем свободных электронов. Электронная проводимость *p*-полупроводника обусловлена наличием в кристаллических решетках свободных мест от валентных электронов, или, как их именуют, «дырок».

Важнейшим свойством *p*- и *n*-полупроводников является их односторонняя проводимость в месте спайки, которая называется *p* — *n*-переходом. Подключив «плюс» источника к *p*-области, а «минус» к *n*-области, говорят, что переход включен в прямом направлении. В этом случае его сопротивление незначительно, а следовательно, в цепи будет протекать электрический ток. Когда с *p*-областью соединен «минус» источника тока, переход включен в обратном направлении и называется *n*—*p*-переходом. При таком включении сопротивление перехода весьма велико и электрический ток в цепи почти не протекает.

Свойство односторонней проводимости положено в основу работы полупроводниковых диодов, служащих для выпрямления переменного напряжения. На этом свойстве *p*- и *n*-перехода основано также действие транзисторов, тиристоров и других полупроводниковых приборов. В сварочной аппаратуре применяются различные типы полупроводниковых диодов, которые бывают малой, средней и большой мощности. В зависимости от свойств полупроводниковые диоды делятся на выпрямительные, универсальные, высокочастотные, стабилитроны, туннельные диоды, варикапы и др.

Выпрямительные диоды малой мощности до 1 Вт, рассчитанные на токи до 0,3 А, бывают плоские и точечные. Такие диоды в цепь включаются с помощью гибких выводов, присоединенных к его электродам. Диоды средней мощности применяются на токи от 0,3 до 10 А и напряжение до 600 В. Они имеют в качестве одного из выводов стержень с резьбой для установки на металлическом каркасе. Выпрямительные диоды большой мощности используются на токи до 2000 А и применяются в сварочных выпрямителях. Для поддержания температуры в допустимых пределах применяется воздушное или жидкостное охлаждение. Воздушное охлаждение осуществляется за счет передачи теплоты радиатору, изготовленному из металла с большой теплопроводностью, например сплавов алюминия.

К основным параметрам выпрямительных диодов относятся максимально допустимый выпрямленный ток, максимально допустимое обратное напряжение и максимальный обратный ток при максимально допустимом обратном напряжении. Для надежной работы диодов обычно ограничивают эти параметры

на 70—80 % от максимально допустимых значений. При работе электрических схем падение напряжения на переходах диодов при протекании через них прямых токов составляет для германиевых диодов 0,2—0,5 В, а для кремниевых 0,6—1,5 В.

Высокочастотные диоды служат для выпрямления тока в диапазоне частот до нескольких сотен мегагерц, для модуляции, детектирования и других нелинейных преобразований. Высокочастотные диоды имеют такие же свойства, как и выпрямительные, однако с более высоким диапазоном частот.

Стабилитроны применяются для стабилизации уровня напряжения при изменении силы протекающего через них тока. В стабилитронах быстро развивается и устанавливается электрический пробой, при котором значительное увеличение силы тока пробоя происходит при сравнительно низком и примерно постоянном обратном напряжении. С помощью стабилитронов стабилизируют напряжение от 3,3 В и выше.

Применяются также двухсторонние стабилитроны, которые могут одновременно стабилизировать положительное и отрицательное напряжения. Стабилитроны включают так, чтобы к «плюсу» источника подключался его катод, а к «минусу» — анод. При включении двухстороннего стабилитрона полярность включения не соблюдают. Для стабилизации малых напряжений используют *стабисторы*, которые являются разновидностью стабилитронов. При включении стабисторов анод подключают к «плюсу», а катод к «минусу» источника напряжения.

В электрических схемах сварочного оборудования применяют также туннельные диоды, варикапы, светодиоды и др. Туннельные диоды имеют характеристику с отрицательным дифференциальным сопротивлением, которое выражается как отношение приращения напряжения к приращению тока. Варикапы используются там, где требуется в широких пределах изменять их емкость. Светодиоды превращают электрическую энергию в световую путем рекомбинации пар электрон-дырка при протекании через них определенной силы тока. Этим свойством обладают полупроводниковые материалы, основой которых служит карбид кремния, мышьяк или галлий, излучающие инфракрасное, видимое или ультрафиолетовое излучение.

Комбинация из спаренного светодиода и светоприемника, помещенных в одном корпусе, называется *оптроном*. В качестве светоприемника в этом случае применяются фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы или фотиристоры. При работе оптронов световая энергия излучается светодиодом и попадает на светоприемник, в котором световой сигнал преобразуется в электрический.

В маркировке диодов в первом элементе буква или цифра обозначает исходный материал: Г или 1 — германий, К или 2 — кремний, А или 3 — соединения гелия. Второй элемент в обозначении указывает подкласс прибора: А — сверхвысокочастотный, Б — приборы с объемным эффектом, В — варикапы, Г — генераторы шума, Д — диоды выпрямительные, универсальные и импульсные, И — туннельные и обращенные, К — стабилизаторы тока, Л — излучающие, Н — тиристоры диодные, С — стабилитроны и стабисторы, У — тиристоры триодные, Ц — выпрямительные блоки и столбы. Диодные сборки дополнительно обозначаются буквой С.

Третий элемент маркируется в виде числа, первая цифра которого обозначает классификационный номер.

Выпрямительные диоды: 1 — диоды малой мощности (прямой ток до 0,3 А); 2 — диоды средней мощности (прямой ток от 0,3 до 10 А); 3 — магнитодиоды; 4 — универсальные диоды с рабочей частотой до 1 Гц; 5 — импульсные диоды с временем восстановления обратного сопротивления более 150 нс; 6 — то же, от 30 до 150 нс; 7 — то же, от 5 до 30 нс; 8 — то же, от 1 до 5 нс; 9 — то же, менее 1 нс.

Стабилитроны и стабисторы: 1 — мощностью не более 0,3 Вт с напряжением стабилизации до 10 В; 2 — мощностью не более 0,3 Вт с напряжением стабилизации от 10 до 99 В; 3 — мощностью не более 0,3 Вт с напряжением стабилизации от 100 до 199 В; 4 — мощностью от 0,3 до 5 Вт с напряжением стабилизации до 10 В; 5 — мощностью от 0,3 до 5 Вт с напряжением стабилизации от 10 до 99 В; 6 — мощностью от 0,3 до 5 Вт с напряжением стабилизации от 10 до 99 В; 7 — мощностью более 5 Вт с напряжением стабилизации до 10 В; 8 — мощностью более 5 Вт с напряжением стабилизации от 10 до 99 В; 9 — мощностью более 5 Вт с напряжением стабилизации от 100 до 199 В. На другие диоды обозначения даны в соответствующей справочной литературе.

Варикапы: 1 — подстроечные; 2 — умножительные.

Туннельные и обращенные диоды: 1 — усилительные; 2 — генераторные; 3 — переключательные; 4 — обращенные.

Выпрямительные столбы: 1 — малой мощности, прямой ток до 0,3 А; 2 — средней мощности, прямой ток от 0,3 до 10 А.

Выпрямительные блоки: 3 — малой мощности, прямой ток до 0,3 А; 4 — средней мощности, прямой ток от 0,3 до 10 А.

Последние две цифры от 1 до 99 В в третьем элементе обозначения в выпрямительных диодах и варикапах показывают номер разработки, а в стабилитронах и стабисторах — напряжение стабилизации. Четвертый элемент обозначает группу разработки.

Пример. КС-133А — стабилитрон кремниевый, классификационный номер разработки — 1, напряжение стабилизации 3,3 В, мощностью не более 0,3 Вт, группа разработки А. Предназначен для устройств широкого применения; КВ-102А — варикап кремниевый, широкого применения, подстроечный, номер разработки 02, группа разработки А.

Для полупроводниковых диодов с малыми размерами используется цветная маркировка. В диодах большой мощности буквы обозначают: В — вентиль, Б — с водяным охлаждением, Л — с лавинной характеристикой, Х — обратная полярность диода. Цифры обозначают максимальный ток (А) и напряжение (В).

Пример. ВВ2-1000Х-12-1,65У2 — вентиль обратной полярности с водяным охлаждением второго конструктивного варианта, рассчитан на силу предельного тока 1000 А, напряжение 1200 В с прямым падением напряжения на вентиле 1,65 В, исполнения У, группы 2.

В электронных схемах сварочного оборудования широкое применение нашли селеновые выпрямители, в которых также имеется $p-n$ -переход. Такие выпрямители называют *плоскостными диодами*. Они представляют собой столбики или пакеты, состоящие из заданного числа ячеек. Каждая такая ячейка состоит из алюминиевой пластины с нанесенным слоем селена и затем специального сплава на основе кадмия, висмута и олова. В них $p-n$ -переход образуется между селеном и сплавом. Иногда селеновые выпрямители имеют соответствующие выводы от ячеек для их включения по мостовой схеме.

Максимально допустимая сила тока в прямом направлении зависит от площади ячейки и обычно не превышает 50 мА на 1 см². Так, например, если ячейка имеет площадь 3×3 см, допустимая максимальная сила тока составляет 450 А.

Максимальное обратное напряжение не зависит от площади ячейки и наиболее часто по амплитудному значению равно 20 В. Общее напряжение, которое может выдержать

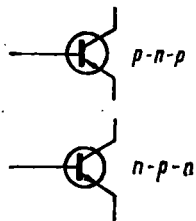


Рис. 4.4. Обозначение транзисторов структуры $p-n-p$ и $n-p-n$ на принципиальных электронных схемах

селеновый выпрямитель, равно сумме всех напряжений на отдельных ячейках. Так, если выпрямительный столбик состоит из десяти ячеек, максимальное обратное напряжение равно 200 В.

Диоды на схемах обозначаются в виде треугольника с поперечной линией. Сторона треугольника, от которой имеется вывод, называется анодом, противоположный ей угол с поперечной линией называется катодом. Корпус диода электрически соединен с одним из электродов. Диодные столбы, блоки и другие диодные группы обозначаются символами диода.

Транзисторы — это полупроводниковые приборы, состоящие из двух взаимодействующих переходов и трех и более выводов. Наиболее широкое применение получили биполярные, или полевые транзисторы. Основным материалом для изготовления кристаллов транзисторов служат германий и кремний с примесями мышьяка, фосфора, сурьмы, индия, бора, галлия и др.

Состоит транзистор из трех областей полупроводника и имеет два взаимодействующих $p-n$ -перехода. Когда крайние области транзистора обладают электропроводностью p -типа, а средняя область — электропроводностью n -типа, его называют транзистором структуры $p-n-p$ (рис. 4.4). Если крайние области являются полупроводниками n -типа, а средняя область p -типа, то его называют транзистором структуры $n-p-n$. В транзисторах одну из крайних областей называют **эмиттером** (поставщиком носителей заряда), вторую крайнюю область называют **коллектором** (собирателем носителей зарядов), а среднюю область пластинки биполярного транзистора называют **базой**. Базу транзистора обозначают короткой черточкой, эмиттер — наклонной линией со стрелкой, а коллектор — наклонной линией без стрелки.

Переход между эмиттером и базой называется эмиттерным переходом, а между коллектором и базой — коллекторным $p-n$ -переходом. Для того чтобы транзистор мог усиливать электрические сигналы, нужно к эмиттерному переходу приложить прямое напряжение, а к коллекторному — обратное.

В транзисторах структуры $p-n-p$ -перехода стрелка направлена к изображению базы, а при структуре $n-p-n$ стрелка имеет направление от базы. Один из электродов, ча-

ще коллектор транзистора, иногда соединяют с металлическим корпусом. На условном изображении это обозначается жирной точкой, где вывод эмиттера пересекается с символом корпуса. В транзисторных каскадах сварочной аппаратуры применяют три основные схемы включения транзисторов: с общей базой ОБ, с общим коллектором ОК и с общим эмиттером ОЭ (рис. 4.5).

Для усилительных каскадов основными параметрами являются входное сопротивление $R_{вх}$ и коэффициенты усиления по току k_I , по напряжению k_U , по мощности k_P :

$$R_{вх} = U_{вх}/I_{вх}; \quad k_I = \Delta I_{вых}/\Delta I_{вх}; \\ k_U = \Delta U_{вых}/\Delta U_{вх}; \quad k_P = \Delta P_{вых}/\Delta P_{вх}.$$

Значения коэффициента усиления по току для трех основных схем равны:

для схем с ОБ

$$k_I \leq 1; \quad k_U > 1; \quad k_P = k_I k_U > 1;$$

для схем с ОК

$$k_I > 1; \quad k_U \leq 1; \quad k_P = k_I k_U > 1;$$

для схем с ОЭ

$$k_I > 1; \quad k_U > 1; \quad k_P = k_I k \gg 1.$$

Схемы с общим эмиттером имеют максимальный коэффициент усиления по мощности, поэтому они применяются наиболее часто. Изменяя потенциал вывода базы относительно эмиттера, можно менять проводимость эмиттерно-коллекторного перехода, а следовательно, и силу выходного коллекторного тока. Колебания коллекторного тока на нагрузочном резисторе вызывают значительные изменения выходного напряжения, соответствующие небольшим изменениям напряжения базы — эмиттера. На этом основан процесс усиления транзисторного каскада.

Напряжение на базе транзистора, приводящее к увеличению проводимости эмиттерно-коллекторного перехода, или

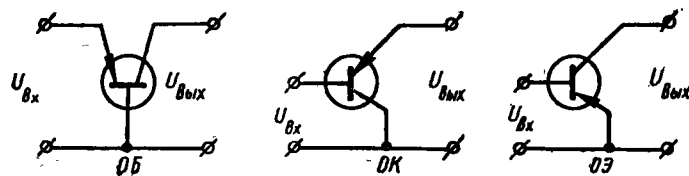


Рис. 4.5. Схемы включения транзисторов

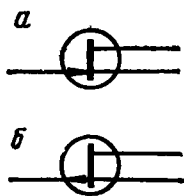


Рис. 4.6. Обозначение полевых транзисторов на принципиальных электронных схемах: а — со встроенным каналом; б — с индуцированным каналом

иначе к открытию транзистора, называется открывающим. Для транзистора структуры $p-n-p$ открывающим является отрицательный потенциал базы относительно эмиттера, а для транзистора структуры $n-p-n$ — положительный.

Кроме биполярных транзисторов широко применяются также полевые транзисторы с управляемым $p-n$ -переходом (ПТ) и со структурой металл — диэлектрик — полупроводник (МДП) с изолированным затвором. Полевые МДП-транзисторы бывают со встроенным и индуцированным каналами (рис. 4.6).

По сравнению с биполярными у полевых транзисторов большее входное сопротивление, меньшая потребляемая мощность, значи-

тельно большая помехоустойчивость и меньшие габариты. МДП-транзисторы обладают высоким входным сопротивлением и сохраняют его неизменным независимо от полярности и значения входного напряжения на затворе.

Электрод полевого транзистора, на который подается управляющий сигнал, называется *затвором*. Электрод, с которого носители зарядов попадают в проводящий канал, называется *исток*ом, а электрод, к которому носители перемещаются, называются *сток*ом. Область между истоком и стоком называется *каналом*.

Принцип работы полевых транзисторов аналогичен принципу работы биполярных транзисторов. В этом случае затвор соответствует базе, исток — эмиттеру, а сток выполняет роль коллектора.

Транзисторам присваиваются обозначения из четырех элементов. Первый элемент — буква или цифра, указывающая исходный материал (Г или 1 — германий, К или 2 — кремний, А или 3 — соединения галлия); второй элемент — буква, определяющая подкласс прибора (Т — транзистор, П — полевой); третий элемент — цифры, первая из которых обозначает классификационный по назначению номер, а последующие цифры от 1 до 99 — порядковый номер разработки. Для третьей цифры приняты следующие обозначения:

при малой мощности (до 0,3 Вт): низкой частоты до 3 МГц — 1, средней частоты от 3 до 30 МГц — 2, высокой частоты свыше 30 МГц — 3;

при средней мощности (от 0,3 до 1,5 Вт): низкой частоты до 3 МГц — 4, средней частоты от 3 до 30 МГц — 5, высокой частоты свыше 30 МГц — 6;

при большой мощности (свыше 1,5 Вт): низкой частоты до 3 МГц — 7, средней частоты от 3 до 30 МГц — 8, высокой частоты свыше 30 МГц — 9.

Четвертый элемент — буква, указывающая разновидность из данной группы приборов.

Пример. ГТ 605 А — германиевый транзистор широкого назначения, средней мощности, высокочастотный, номер разработки 0,5, разновидность А; КТ 802 А — кремниевый биполярный, большой мощности, средней частоты, разновидность А; КП 306 А — транзистор полевой кремниевый малой мощности с рабочей частотой 30 МГц, номер разработки 306, группа А.

Лавинный транзистор является разновидностью биполярного транзистора. При его изображении используется дополнительный значок в виде уголка.

Тиристоры — это управляемые полупроводниковые вентили, имеющие три или более $p-n$ -переходов. Тиристоры бывают диодные (динисторы) и триодные (тринисторы) в открытом и закрытом состоянии.

У диодных тириستоров два вывода. Они переводятся в открытое состояние подачей напряжения, большего по значению, чем напряжение, которое остается постоянным для данного типа тиристоров.

У триодных тиристоров три вывода: анод и катод — из крайних областей, управляющий электрод — из средней p - или n -области. Такие тиристоры переводятся в открытое состояние подачей напряжения включения, которое зависит от величины сигнала на управляющем электроде, т. е. чем большее напряжение подается на управляющий электрод, тем при меньшем подведенном напряжении открывается тиристор. Обозначения тиристоров показаны на рис. 4.7. Тиристоры широко применяются в сварочных автоматах, источниках питания дуги и других аппаратах.

В цепях постоянного тока тиристор открывается постоянным или импульсным напряжением, в цепях переменного тока — преимущественно импульсным напряжением. Обычно на управляющий электрод тиристора от блока формирования импульсов (БФИ)

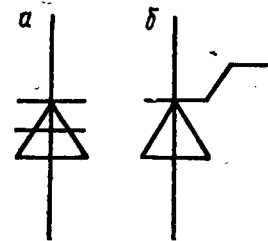


Рис. 4.7. Обозначение тиристоров на принципиальных электронных схемах: а — неуправляемого; б — управляемого

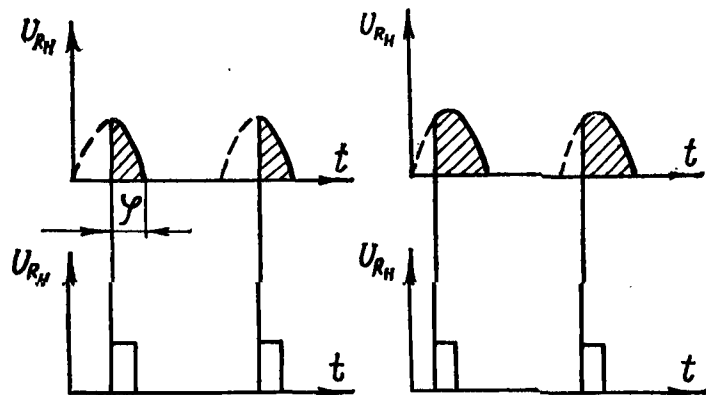
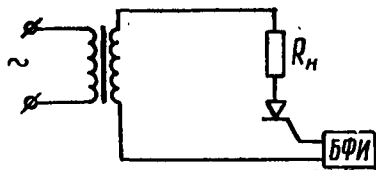


Рис. 4.8. Схема фазового управления напряжением с помощью тиристора

подаются импульсы, с помощью которых можно регулировать угол открытия тиристора φ . Это позволяет изменять среднее значение выпрямленного напряжения нагрузки U_{Rn} (рис. 4.8).

Тиристоры малой и средней мощности обозначаются буквенно-числовыми шифрами из шести элементов. Первый элемент — буква или цифра, обозначающая исходный полупроводниковый материал; второй элемент — в виде букв, обозначающих: Н — динисторы, У — тринисторы и симисторы. Для симисторов после буквы Т добавляется буква С, остальные элементы остаются те же.

Шифр тринисторов большой мощности на токи от 10 до 2000 А состоит из букв и цифр. Первым элементом является буква Т — тринистор, вторым — цифры, указывающие максимальную силу тока в амперах. После значения тока стоят буквы, обозначающие: Л — тиристор с лавинной характеристикой, В — тиристор с водяным охлаждением, Х — тиристор с обратной полярностью, С — симистор.

Пример. КН 102 А — динистор кремниевый, малой мощности, номер разработки 02, группы А; КУ 214 В — тринистор кремниевый незапираемый, средней мощности, номер разработки 14, группа В; ТВ2-1000-6-141 — тринистор с водяным охлаждением, второго типа, на предельный ток 1000 А, с повторяющимся напряжением 600 В.

ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ, ЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ И УСИЛИТЕЛИ СВАРОЧНЫХ УСТАНОВОК

Электродвигатели. В сварочном оборудовании используются электродвигатели как постоянного, так и переменного тока. Из электродвигателей постоянного тока чаще всего применяются в сварочных автоматах и полуавтоматах компаундные двигатели. Обмотка возбуждения у них питается от отдельного источника.

Частота вращения двигателя будет меняться, если изменить подводимое к якору напряжение, сопротивление цепи якоря или интенсивность магнитного потока. Наиболее часто частоту вращения двигателя в сварочных установках регулируют изменением подводимого к якору напряжения. Для изменения числа оборотов двигателя постоянного тока можно применять специальный тиристорный привод. В зависимости от типа тиристорных схем, представленная на рис. 4.9, обеспечивает работу двигателей мощностью до нескольких десятков киловатт.

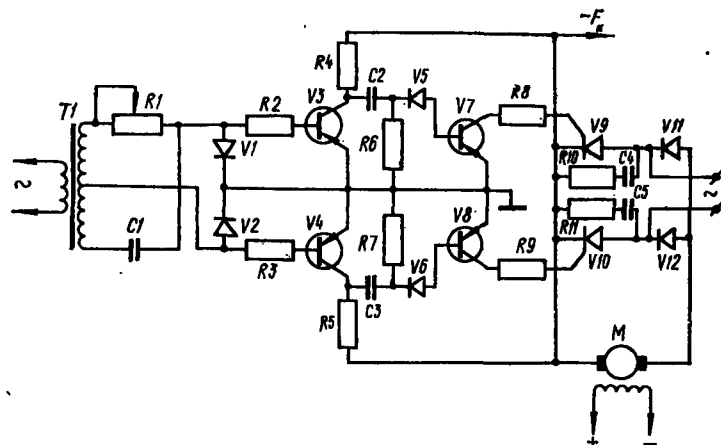


Рис. 4.9. Схема тиристорного привода электродвигателя большой мощности

Блок регулирования привода состоит из трансформатора $T1$, конденсатора $C1$ и резистора $R1$; блок формирования управляющих импульсов собран на транзисторах $V3$, $V4$, $V7$ и $V8$ и силовой блок — на транзисторах $V9$ — $V10$ и диодах $V11$ — $V12$. При изменении резистором $R1$ фазы входного напряжения изменяется угол открытия тиристоров, а значит, и число оборотов электродвигателя.

В ЦНИИТмаше разработана электронная схема для регулирования частоты вращения электродвигателей постоянного тока с независимым возбуждением мощностью 0,05—0,5 кВт (рис. 4.10). Частота вращения двигателя регулируется резистором $R1$.

Такие простые и надежные в работе схемы с плавным изменением числа оборотов электродвигателя подачи электродной проволоки успешно применяются в сварочных автоматах и полуавтоматах. Если изменить полярность подводимого к якору напряжения, то изменится и направление вращения двигателя. Этим способом пользуются для быстрой остановки электродвигателя.

Если вращающийся якорь отключить и быстро замкнуть на сопротивление, то в его обмотке ток под действием электро-движущей силы потечет в обратном направлении, что приведет к тормозящему эффекту, который называется *режимом динамического торможения*. Такой способ мгновенного изменения направления вращения двигателя часто используется в сварочных автоматах и полуавтоматах.

В сварочном оборудовании применяются также асинхронные электродвигатели переменного тока. При использовании двигателей переменного тока с постоянным числом оборотов изменение скорости подачи электродной проволоки достигается ступенчато за счет сменных шестерен или плавно с помощью тиристорного регулятора частоты подводимого к электродвигателю напряжения.

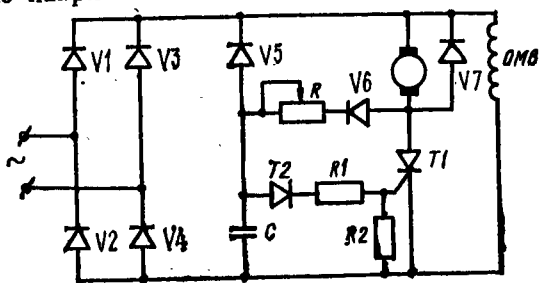


Рис. 4.10. Схема тиристорного привода электродвигателя малой мощности

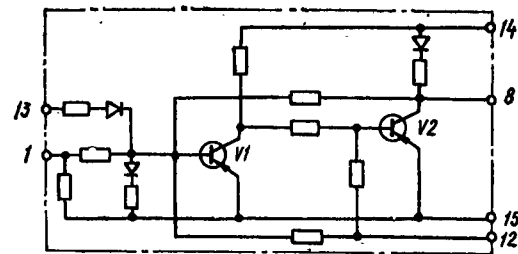


Рис. 4.11. Схема логического элемента М403

Логические схемы состоят из логических элементов, которые представляют собой устройства, изменяющие выходное напряжение в зависимости от соотношения между входными сигналами. Обычно выходное напряжение таких элементов может иметь только два взаимоисключающих напряжения. В современных электронных схемах применяются самые разнообразные логические элементы. В источниках питания, автоматах и другой сварочной аппаратуре используются логические элементы «Логика» типа Т403, Т404 и др. Они служат для управления тиристорами методом вертикального фазового регулирования и выполнены в виде герметичного, заполненного пластмассой модуля с выводами. Выходной транзистор укреплен снаружи на металлическом радиаторе. Кроме того, применяются логические элементы М403 и др. Функционально элемент М403 содержит в себе двухкаскадный усилитель с положительной обратной связью (рис. 4.11).

При прямой полярности приложенного напряжения тиристор способен пропускать ток, если на его управляющий электрод подан запускающий импульс. При переходе полуволны напряжения прямой полярности через нуль тиристор закрывается. Таким образом, через тиристор можно пропустить ток полупериода, половину полупериода или его часть. Соответственно среднее значение выпрямленного напряжения будет максимальным, затем наполовину меньшим и минимальным. Если тиристор не открыт совсем, то выпрямленное напряжение на выходе будет равно нулю. В этом случае в отличие от других источников питания тиристорная схема потребляет наименьшую мощность.

Для питания коллекторных цепей достаточно напряжение 25 В, которое относительно общего полюса 15 подается на вывод 14. На вывод 12 для создания базового смещения поступает напряжение 6 В. Напряжение 4 В на выводе 1 служит для смещения порога срабатывания элемента. Под действием

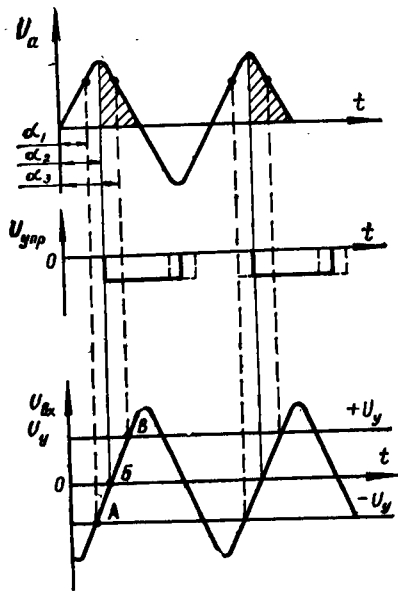


Рис. 4.12. Схема работы логического элемента

угольного импульса необходимо, чтобы транзистор $V2$ был открыт, а $V1$ закрыт. Транзистор $V1$ закрывается положительным напряжением, поступающим от вывода 13. Время появления положительного импульса соответствует началу выходного прямоугольного управляющего сигнала.

При изменении управляющего напряжения от $-U_y$ до $+U_y$ устанавливается условный нуль на выводе 13 логического элемента. Если U_y имеет отрицательный знак, то входное напряжение в точке А (рис. 4.12) будет положительным, а угол открывания тиристора α_1 . При U_y , равном нулю, входное напряжение станет положительным в точке Б, а угол открывания тиристора будет α_2 . В этом случае выходное напряжение выпрямителя уменьшится. Когда U_y принимает положительный знак, угол открытия тиристора равен α_3 , а выходное напряжение выпрямителя станет еще меньше.

Напряжение управления тиристором $U_{упр}$ может быть на управляющем электроде тиристора и в момент подачи на его анод отрицательного обратного напряжения. Однако для многих типов тиристорov техническими условиями запрещена подача управляющего импульса при обратной полярности приложенного напряжения. Для этого в выпрямителях, на

этого напряжения на базе транзистра $V1$ относительно его эмиттера оказывается отрицательный потенциал и транзистор открывается. Элементы схемы подобраны таким образом, что в это время транзистор $V2$ находится в закрытом состоянии.

Выходной транзистор работает в ключевом режиме, что обеспечивает получение прямоугольного выходного сигнала. На вывод 13 подается напряжение частотой 50 Гц с положительными полупериодами и постоянное напряжение управления, которое может изменять свое значение и знак. Для появления на выходе логического элемента выходного прямо-

тиристорах используют или пилообразное входное напряжение, или специальное напряжение с крутым задним фронтом синусоиды. Такое напряжение получается путем наложения опорного и разрешающего напряжений, имеющих сдвиг фаз относительно друг друга.

Усилители — это устройства для усиления мощности электрических сигналов за счет энергии источников питания. В любой электронной схеме одним из основных элементов является усилитель. По назначению они условно делятся на усилители тока, напряжения и мощности. По диапазону частот усилители подразделяются на пять групп:

1) усилители постоянного тока (УПТ), у которых диапазон частот от нуля до некоторого, не регламентируемого предела;

2) усилители низкой частоты (УНЧ) с диапазоном частот от 10 Гц до 100 кГц;

3) усилители высокой частоты (УВЧ) с диапазоном частот от 100 кГц до 1 МГц;

4) широкополосные усилители (видеоусилители), предназначенные для усиления электрических сигналов в диапазоне частот от 10 Гц до 10 МГц;

5) резонансные (избирательные) усилители с ограниченным в заданном интервале диапазоном частот.

К основным параметрам усилителей относятся: рабочий диапазон частот, коэффициенты усиления, входное и выходное сопротивления, номинальная выходная мощность, номинальное входное напряжение и коэффициент нелинейных искажений.

Коэффициенты усиления по току k_I , по напряжению k_U и по мощности k_P определяются по формулам:

$$k_I = I_{\text{вых}}/I_{\text{вх}}; \quad k_U = U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}}; \quad k_P = P_{\text{вых}}/P_{\text{вх}}.$$

Входное сопротивление усилителя — это сопротивление его входной цепи переменному току. Выходное сопротивление усилителя — это сопротивление его выходной цепи переменному току.

Номинальной выходной мощностью усилителя называется мощность, при которой искажение сигнала не превышает допустимые значения.

Коэффициент нелинейных искажений обусловлен возникновением высших гармоник основной частоты вследствие наличия нелинейных элементов в схеме усилителя.

Номинальное входное напряжение представляет собой минимальное напряжение на входе усилителя, достаточное для получения на выходе номинальной выходной мощности.

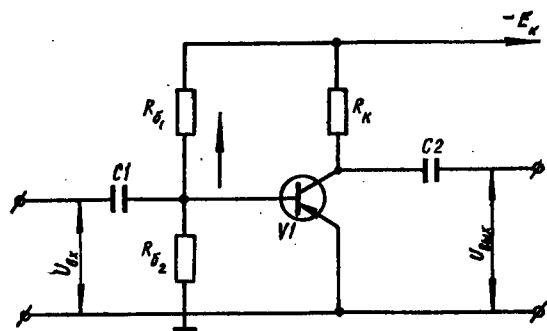


Рис. 4.13. Принципиальная схема усилителя переменного тока

Рабочий диапазон частот определяется по графику зависимости коэффициента усиления от частоты входного сигнала постоянной амплитуды.

В сварочной аппаратуре применяются транзисторные усилители постоянного и переменного тока. В усилителях переменного тока транзисторы обычно включены по схеме с общим эмиттером (рис. 4.13). Такой усилитель позволяет получать наибольшее усиление по мощности. Входное напряжение подается на базу транзистора, а выходное снимается с его коллектора. Конденсаторы $C1$ и $C2$ служат для отделения постоянной составляющей от переменной.

Делитель, представленный резисторами $R_{\delta 1}$ и $R_{\delta 2}$, образует на базе фиксированное напряжение смещения. При этом величины $R_{\delta 1}$ и $R_{\delta 2}$ подбираются так, чтобы сила тока делителя была значительно больше начальной силы тока базы. Изменяя силу тока делителя, можно менять смещение базы, которое выбирается в зависимости от необходимого режима работы транзисторного каскада и от входного напряжения. Резистор R_K является нагрузкой усилительного каскада и обеспечивает работу транзистора в динамическом режиме. На этом резисторе изменения коллекторного тока преобразуются в соответствующие изменения коллекторного напряжения:

$$\Delta I_K R_K = \Delta U_K.$$

В случае недостаточного усиления однокаскадного усилителя применяются многокаскадные схемы с различной связью между каскадами. Коэффициент усиления многокаскадного усилителя определяется как произведение коэффициентов усиления отдельных его каскадов

$$k_{\text{общ}} = k_1 k_2 k_3 \dots k_n.$$

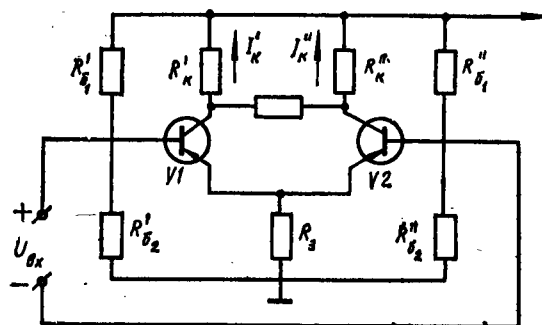


Рис. 4.14. Принципиальная схема усилителя постоянного тока

При работе любого транзисторного устройства имеют место возмущающие факторы, изменяющие режим работы его каскадов. К таким факторам относятся изменения во времени характеристик полупроводниковых приборов, оказывающих влияние на работу устройства в течение более продолжительного времени. В усилителях переменного тока небольшое изменение режимов работы транзисторов незначительно влияет на работоспособность всего устройства.

В усилителях постоянного тока, даже при отсутствии входного сигнала, медленно изменяется выходное напряжение, называемое дрейфом нуля. Для устранения этого явления стабилизируют температурный режим и напряжение источников питания. Другой способ устранения дрейфа нуля — построение специальных схем УПТ, нечувствительных к изменению режима работы транзисторов. Наиболее распространены балансовые схемы (рис. 4.14), где имеется симметричный усилитель с эквивалентными транзисторами $V1$ и $V2$. Вследствие дрейфа нуля напряжение на сопротивлении нагрузки изменяться не будет.

Для усиления и регулирования значительных мощностей в сварочной аппаратуре применяются магнитные усилители (рис. 4.15).

Конструктивно магнитный усилитель состоит из магнитопровода, материал которого обладает высокой остаточной индукцией, а также рабочих и управляющих обмоток блоков. Рабочие обмотки L_p включены в цепь источника переменного тока последо-

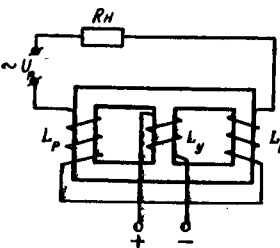


Рис. 4.15. Принципиальная схема магнитного усилителя

вательно с нагрузкой R_n . Мощность, выделяемая на нагрузку, зависит от магнитной проницаемости сердечника и может изменяться с изменением силы постоянного тока в обмотке управления L_y . Кроме основной управляющей обмотки в магнитном усилителе могут быть обмотки насыщения и обратной связи. Все это делает магнитные усилители эффективными регулирующими устройствами, широко используемыми в сварочных аппаратах.

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ СВАРОЧНОЙ ДУГИ

Источники питания дуги могут быть с возрастающими, жесткими, пологопадающими, падающими и крутопадающими вольт-амперными характеристиками. В таких источниках напряжение холостого хода регулируется плавно, ступенчато или остается постоянным, а сила сварочного тока устанавливается скоростью подачи электродной проволоки или изменением статической характеристики источника питания.

Автоматическая сварка может выполняться с постоянной скоростью подачи электродной проволоки или скоростью подачи, зависимой от напряжения на дуге. При постоянной скорости подачи электродной проволоки в зону дуги устанавливается ступенчато с помощью шестерен или плавно регулятором скорости. При сварке с зависимой от напряжения на дуге подачей скорость перемещения проволоки в зону дуги изменяется в зависимости от напряжения сварки, а сила сварочного тока определяется точкой пересечения статических характеристик дуги и источника питания.

При пологой внешней характеристике дуги используются источники питания с пологопадающей, падающей и крутопадающей характеристикой. В этом случае с увеличением скорости подачи электродной проволоки длина и напряжение дуги уменьшаются, а сила сварочного тока повышается. Уменьшение напряжения холостого хода при сварке с падающей характеристикой дуги и применение источников питания с пологопадающими характеристиками снижает длину и напряжение дуги, а силу сварочного тока увеличивает.

Если статическая вольт-амперная характеристика дуги падающая, то для устойчивого горения дуги целесообразно применять источники питания с падающими вольт-амперными внешними характеристиками. В этом случае крутизна падения статической характеристики дуги в рабочей точке должна быть меньше крутизны падения характеристики источника питания. В источниках с падающей вольт-амперной характеристикой при сварке с такой же характеристикой дуги уменьшение на-

пряжения холостого хода снижает силу сварочного тока и незначительно повышает напряжение на дуге.

При возрастающих внешних характеристиках дуги могут быть применены источники питания с падающими, жесткими и возрастающими вольт-амперными характеристиками. Однако саморегулирование дуги лучше достигается при большем изменении силы сварочного тока. Такому условию наиболее полно удовлетворяют источники питания с жесткими или даже с возрастающими вольт-амперными характеристиками. Однако, если применяются источники питания с возрастающими вольт-амперными характеристиками при сварке с такой же характеристикой дуги, крутизна подъема внешней характеристики источника питания должна быть меньше, чем статической характеристики дуги. В этом случае увеличение скорости подачи электродной проволоки приводит к уменьшению длины дуги и повышению силы сварочного тока. Напряжение при этом снижается тем больше, чем выше крутизна подъема внешней характеристики дуги.

При сварке от источников питания с жесткими внешними характеристиками напряжение на дуге изменяется незначительно. В случае использования источников питания с падающими и крутопадающими характеристиками при увеличении скорости подачи электродной проволоки напряжение на дуге уменьшается. Если применяются источники питания с жесткими вольт-амперными характеристиками, для получения падающей внешней характеристики при ручной многопостовой сварке, сварке под флюсом и других в сварочную цепь последовательно с дугой включают балластный реостат. В этом случае при автоматической сварке верхняя граница силы тока задается скоростью подачи электродной проволоки, а его регулировка от минимального до максимального значения осуществляется балластными реостатами. Когда напряжение холостого хода не изменяется или изменяется ступенчато, напряжение на дуге более плавно можно регулировать с помощью балластных реостатов. В этом случае рабочее напряжение будет $U_d = U_{x.к} - IR_6$, где U_d — рабочее напряжение на дуге, В; $U_{x.к}$ — напряжение холостого хода источника питания, В; I — сила сварочного тока, А; R_6 — сопротивление балластного реостата, Ом.

Изменение длины дуги и режима сварки с целью поддержания заданных значений тока и напряжения на дуге производится вручную или автоматически. Для обеспечения постоянства силы сварочного тока и ограничения тока короткого замыкания применяют источники питания с крутопадающими (почти вертикальными) внешними характеристиками.

В процессе автоматической сварки с постоянной скоростью подачи электродной проволоки саморегулирование ухудшается с увеличением диаметра проволоки. Поэтому при сварке проволокой диаметром более 3 мм предпочтительнее вести сварку с зависимой от напряжения на дуге скоростью подачи электродной проволоки. Тогда сила тока регулируется изменением внешних характеристик источника питания, а напряжение на дуге — изменением длины дуги за счет настройки подающей системы автомата.

Лучшие результаты при сварке от источников питания с зависимой от напряжения на дуге скоростью подачи позволяют получать источники питания с минимальным изменением силы сварочного тока в зависимости от напряжения на дуге. Такому условию удовлетворяют источники питания с крутопадающей внешней характеристикой, обеспечивающей необходимое изменение силы тока при незначительных колебаниях длины дуги.

При сварке на переменном токе с частотой 50 Гц электрод является анодом в течение 0,01 с и перегреться не успевает. За этот период происходит распыление окисной пленки на свариваемом металле. В следующий момент электрод является катодом и, так как на нем выделяется меньше тепла, охлаждается. Таким образом, при сварке на переменном токе дуга гаснет каждый раз, когда значения тока и напряжения переходят через нуль, и повторно возбуждается 100 раз в секунду.

Скорость повторного зажигания дуги в большой степени зависит от напряжения холостого хода. Более высокое напряжение приводит к более быстрому повторному зажиганию. При напряжении холостого хода 150 В дуга зажигается практически мгновенно и перерывы в ее горении отсутствуют, однако такое напряжение опасно для жизни сварщика.

Большое влияние на значение напряжения, необходимого для повторного зажигания дуги, оказывает свариваемый металл. Если при сварке технического алюминия для стабильного зажигания дуги необходимо напряжение холостого хода 150 В, то для сплавов алюминия, легированных магнием, напряжение зажигания можно ограничить 100 В. Такое напряжение тоже опасно для жизни, поэтому применяют источники питания с напряжением холостого хода не более 80 В и наложением на сварочную цепь токов высокой частоты от осциллятора.

В дуге при сварке на переменном токе наблюдается частичное, полное и сопутствующее выпрямление тока. Наиболее нежелательным считается сопутствующее выпрямление. При горении дуги переменного тока между разнородными метал-

лами результирующие формы тока и напряжения являются ассимметричными. Это приводит к тому, что при определенной длине дуги напряжение в течение отрицательного полупериода в два раза ниже, чем в течение положительного полупериода (такое изменение напряжения сопровождается появлением отрицательной постоянной составляющей тока), а длительность положительного полупериода уменьшается.

Явление сопутствующего выпрямления дуги снижает величину и продолжительность положительного полупериода, а значит, и эффективность удаления окислов металлов. Если кроме сопутствующего выпрямления существует частичное или полное выпрямление дуги, удаления окисной пленки не происходит вообще. При подаче присадочной проволоки в такую дугу происходит резкое разбрызгивание металла. Для устранения сопутствующего выпрямления в несимметричной дуге, когда отрицательный полупериод тока в два и более раз меньше положительного, параллельно дуге включают конденсаторы или постоянные сопротивления.

При использовании конденсаторов постоянная составляющая сварочного тока, вызванная действием сопутствующего выпрямления, устраняется полностью. В период, когда сварочный ток течет от изделия к электроду, конденсаторная группа приобретает положительный заряд. При отрицательном полупериоде тока происходит подзарядка конденсаторов и накопление положительного заряда. Отрицательный полупериод в связи с существованием постоянной составляющей значительно больше по величине положительного полупериода. Это приводит к повышению силы тока в положительный полупериод и уменьшению в отрицательный, т. е. восстановлению симметричной формы синусоиды сварочного тока. В случае полной разрядки конденсаторов возбуждение дуги затруднено. Чтобы устранить этот недостаток, конденсаторы включаются в сварочную цепь только после зажигания дуги.

Для устранения отрицательной постоянной составляющей сварочного тока применяют также аккумуляторные батареи, которые, как и конденсаторные батареи, подключаются параллельно дуге. Если величина положительного потенциала батареи и отрицательной постоянной составляющей сварочного тока дуги равны между собой, они уничтожают друг друга, и сопутствующее выпрямление дуги ликвидируется. Но так как величина постоянной составляющей зависит от силы сварочного тока, а напряжение на клеммах батареи остается практически неизменным, сопутствующее выпрямление дуги устраняется не полностью. Кроме того, батареи в процессе эксплуатации разряжаются и требуют постоянной подзарядки. Поэтому

применение батарей менее эффективно, чем конденсаторов. Сопротивление не оказывает существенного влияния на снижение постоянной составляющей сварочного тока и применяется весьма редко.

Основными характеристиками режима эксплуатации источников питания являются продолжительность работы ПР и продолжительность включения ПВ. Эти величины, выраженные в процентах, характеризуют повторно-кратковременный режим работы, на который рассчитаны источники питания.

$$ПР = [t_{св}/(t_{св} + t_{х.х})] 100 \%,$$

где $t_{св}$ — время работы источника питания; $t_{х.х}$ — время холостого хода, вызываемое сменой электрода или подготовкой к наложению очередного шва.

При механизированных способах сварки источник питания отключается от сети на время паузы, тогда продолжительность включения, которой характеризуется режим работы источника питания, выражается зависимостью:

$$ПВ = [t_{св}/(t_{св} + t_{п})] 100 \%,$$

где $t_{п}$ — время паузы. По действующим стандартам номинальные значения ПР и ПВ составляют 60 %.

Если источник питания используется при ПВ или ПР, отличным от паспортного, допустимая сила сварочного тока определяется по формуле:

$$I = I_{ном} \sqrt{(ПР)_{ном}/ПР},$$

где $I_{ном}$ — номинальное значение сварочного тока; $(ПР)_{ном}$ — номинальное значение продолжительности работы.

СВАРОЧНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Сварочный трансформатор служит для снижения переменного напряжения сети до безопасного в работе и необходимого для устойчивого горения дуги значения. Трансформатор состоит из сердечника и смонтированных на нем первичной и вторичной обмотки. При включении трансформатора в цепь с напряжением U_1 в первичной обмотке ω_1 протекает ток I_1 , который создает в сердечнике магнитный поток Φ . Наведенный магнитный поток в сердечнике трансформатора пересекает вторичную обмотку, образуя в ней переменное вторичное напряжение U_2 .

При разомкнутой вторичной цепи (при отсутствии нагрузки) вторичное напряжение U_2 имеет максимальное значение. В момент зажигания и горения дуги во вторичной обмотке

появляется ток I_2 , который создает магнитный поток, направленный навстречу потоку, образуемому первичной обмоткой. Это приводит к увеличению силы тока в первичной обмотке, а следовательно, к повышению потребляемой мощности из сети.

Способность трансформатора уменьшать вторичное напряжение оценивается коэффициентом трансформации $K_{тр}$. Отношение вторичного напряжения к первичному, или отношение витков вторичной обмотки к первичной, называется *коэффициентом трансформации*.

$$K_{тр} = U_2/U_1 = \omega_2/\omega_1 = I_1/I_2.$$

Основные сведения о наиболее широко применяемых трансформаторах приведены в табл. 4.2.

СВАРОЧНЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ

Выпрямители — это устройства для преобразования переменного тока в постоянный. Сварочный выпрямитель состоит из силового трансформатора с пускателем и переключателем обмоток с треугольника на звезду, силового блока тиристоров, уравнительного реактора, дросселя сварочной цепи, магнитного усилителя, сетевого автоматического выключателя, блока управления и блока аппаратуры. Иногда выпрямители снабжены дистанционным пультом управления и рассчитаны на питание от трехфазной сети переменного тока частотой 50 Гц, напряжением 220 и 380 В.

Система фазового управления тиристором состоит из трех основных узлов: блока формирования шестифазного напряжения; блока постоянного напряжения управления; блока формирования и усиления управляющих сигналов.

Упрощенная схема управления тиристорами на жестких внешних характеристиках приведена на рис. 4.16.

Блок I формирования шестифазного напряжения состоит из трансформатора, диодов $V7—V12$ и резисторов $R11—R16$. Обмотки опорного напряжения 9 В соединены в шестифазную звезду, а обмотки разрешающего напряжения 36 В подключены к опорным обмоткам через диод и резистор, причем опорное напряжение отстает от разрешающего на 60° . Это обеспечивает получение напряжения с пологим передним фронтом и крутым задним фронтом, которое является входным для блока II формирования и усиления сигналов управления тиристорами. Этот блок состоит из шести элементов «Логика» М403 и их питающих цепей. На вход блока формирования и усиления кроме переменного поступает еще постоянное напряжение

управления, снимаемое с отдельного блока. Блок формирования этого напряжения имеет различные схемы для падающих и для жестких характеристик.

Напряжение управления, подаваемое в систему фазового управления, при жестких характеристиках изменяется примерно от 1 до 16 В. Это напряжение представляет собой сумму напряжений смещения $U_{см}$ и задания U_a .

Напряжение задания регулируется резистором $R26$ и является стабилизированным. Напряжение смещения нестабилизированно и включено встречно с напряжением смещения. Этим достигается стабилизация выходных параметров выпрямителя при колебаниях сетевого напряжения.

Резистор $R19$ служит для установки максимального режима выпрямителя при контрольных испытаниях и установлен внутри блока управления. На вход блока формирования и усиления импульсов управлением тиристорами поступает входной сигнал, являющийся суммой шестифазного напряжения и задаваемого постоянного напряжения управления.

На входе элементов «Логика» эти напряжения образуют положительный входной сигнал, длительность которого меняется с изменением напряжения управления. Вместе с длитель-

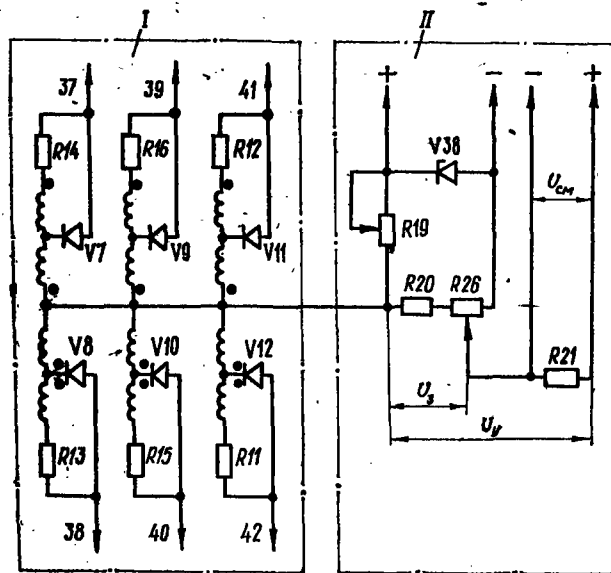


Рис. 4.16. Схема управления тиристорами для получения жестких внешних характеристик

ностью импульса меняется и его фаза, что приводит к изменению угла открытия тиристорov.

Для получения падающих внешних характеристик в схему управления (рис. 4.17) введена отрицательная обратная связь по сварочному току. Напряжение обратной связи с магнитного усилителя поступает на выпрямитель, затем на резистор $R25$, находящийся в базовой цепи транзистора $V7$. Это напряжение проходит фильтр, что делает работу выпрямителя устойчивой. Разность напряжений обратной связи $U_{o.c.}$ и сравнения $U_{ср}$ подается на вход усилителя постоянного тока. Результирующее напряжение является для транзистора $V7$ открывающим, поскольку его минус приложен к базе, а напряжение $U_{o.c.}$ — закрывающим. На холостом ходу выпрямителя напряжение обратной связи отсутствует и транзистор $V7$ открыт. В связи с этим угол открытия тиристорov будет минимальным, а сварочное напряжение — максимальным.

Для наклона внешней характеристики выпрямителя в базовой цепи имеется резистор $R23$, установленный внутри блока управления. При протекании по цепи сварочного тока появляется напряжение обратной связи $U_{o.c.}$, которое будет уменьшать результирующее напряжение. Транзистор закрывается, и сварочное напряжение падает. Поэтому с увеличением силы сварочного тока напряжение на дуге уменьшается.

Выпрямитель снабжен реле контроля вентиляции, которое отключает питание при отсутствии подачи охлаждающего воздуха. Кроме того, для защиты от перегрузок пускатели выпрямителя имеют тепловую защиту. Эти меры обеспечивают надежную работу выпрямителей.

Для сварки и наплавки цветных металлов наиболее приемлемы универсальные сварочные выпрямители серии ВДУ (табл. 4.1). Электрические схемы этих источников питания предусматривают возможность работы как с жесткими, так и с падающими характеристиками. Выпрямители ВДУ-305 и ВДУ-504 предназначены для ручной дуговой, автоматической

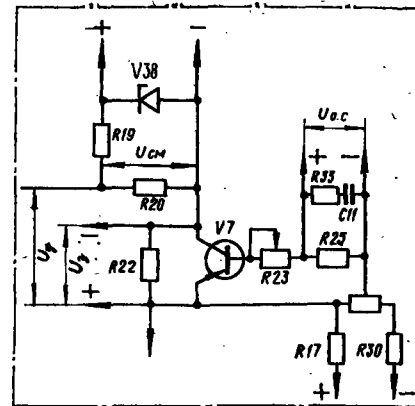


Рис. 4.17. Схема управления тиристорами для получения падающих внешних характеристик

Таблица 4.1. Техническая характеристика сварочных выпрямителей серии ВДУ

Параметр	Марка выпрямителя			
	ВДУ-305	ВДУ-504	ВДУ-1201	ВДУ-1601
Режим работы, ПВ %	60	60	Продолжительный	
Продолжительность цикла сварки, мин	10	10		
Номинальная сила сварочного тока, А	315	500	1250	1600
Пределы регулирования силы сварочного тока, А:				
жесткая характеристика	50—315	100—500	300—1250	500—1600
падающая характеристика	20—315	70—500	—	600—1600
Рабочее напряжение, В:				
жесткая характеристика	16—38	18—50	24—46	26—66
падающая характеристика	21—33	23—46	26—60	30—66
Напряжение холостого хода, В, не более	70	80	100	100
Полная энергетическая мощность, кВА	23	40	120	155
Точность стабилизации рабочего напряжения при жестких КПД, %, не менее и внешних характеристиках, В, не более	±5 %	±1 В	±1 В	±1 В
Точность стабилизации силы сварочного тока при падающих внешних характеристиках, %, не менее	±5	±5	±2,5	±2,5
Масса, кг	240	380	850	950

и полуавтоматической сварки в среде защитных газов и под слоем флюса, а выпрямители ВДУ-1201 и ВДУ-1601 — для сварки в среде защитных газов и под флюсом на автоматах с независимой от напряжения на дуге скоростью подачи электродной проволоки.

Сварка на переменном токе выполняется от трансформаторов передвижного типа ТД-300, ТД-500 и т. д. и стационарного типа ТДФ-1001, ТДФ-1601 и др. (табл. 4.2).

СВАРОЧНЫЕ ГОРЕЛКИ

Сварочные горелки делятся на два класса: для ручной и автоматической сварки. Горелки для ручной дуговой сварки неплавящимся электродом в среде защитных газов бывают для сварки на малых, средних и больших токах. Горелки, предна-

Таблица 4.2. Техническая характеристика сварочных трансформаторов

Параметр	Тип трансформатора			
	ТД-300	ТД-500	ТДФ-1001	ТДФ-1601
Номинальная сила сварочного тока, А	315	500	1000	1600
Пределы регулирования: сварочного тока, А	0—365	100—560	400—1200	600—1800
рабочего напряжения, В	—	—	36—44	50—60
Номинальное рабочее напряжение, В	32	40	—	—
Напряжение холостого хода, В, не более	—	—	80	110
Первичная мощность, кВт	20,5	32	82	182
КПД, %	88	85	87	88
Масса, кг, не более	140	210	720	1000

значенные для сварки на малых и средних токах, выполняются с воздушным охлаждением, а горелки, рассчитанные на сварку большими токами, изготавливаются с водяным охлаждением. Горелки оснащаются керамическими или медными водоохлаждаемыми соплами, изготовленными в виде цилиндров или конусов определенного размера. Медные сопла должны быть изолированы от токоподводящего мундштука текстолитовыми или другими изоляционными переходными втулками.

Широкое распространение получили горелки с воздушным охлаждением типа АР-3, АР-10-1, ЭЗР-3-58, ЭЗР-3-66, ЭЗР-4, ЭЗР-5, МГ-3 и др.; с водяным охлаждением типа АР-7Б, АР-9, АР-10, ГРАД-200, ГРАД-400, ЭЗР-4-61, МГВ-1, ГНР-315, РГА-400 и др.

При полуавтоматической сварке алюминия плавящимся электродом весьма сложно обеспечить равномерную подачу в зону дуги электродной проволоки и получить сварные швы высокого качества. Для надежной подачи электродной проволоки и обеспечения высокого качества сварных швов применяется сварочная горелка СГ-2 (рис. 4.18). Сварку алюминия можно выполнять полуавтоматом ПРМ-4, однако сопло горелки необходимо модернизировать с целью получения ламинарного истечения защитных газов.

Автоматическая сварка в среде защитных газов выполняется как плавящимся, так и неплавящимся электродами. Для сварки плавящимся электродом хорошие результаты позволяет получить горелка типа ГУ (рис. 4.19), рассчитанная на применение электродной проволоки диаметром от 1 до 4 мм.

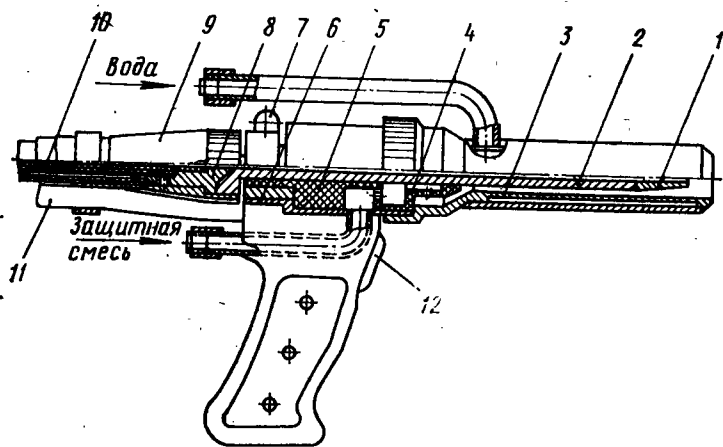


Рис. 4.18. Сварочная горелка для полуавтоматической сварки
1 — наконечник мундштука; 2 — мундштук; 3 — сопло; 4 — втулка 2-й успокоительной камеры; 5 — переходная втулка; 6 — корпус горелки; 7 — зажим; 8 — токоподвод; 9 — корпус токоподвода; 10 — фторопластовая трубка; 11 — кабель управления; 12 — кнопка «Пуск»

Для автоматической сварки плавящимся расщепленным электродом применяется горелка РГ-3 (рис. 4.20). Горелка позволяет вращением мундштука вокруг оси изменять ширину сварного шва и коэффициент его формы. При сварке в разделку кромок металла большой толщины электроды желательно располагать параллельно направлению сварки.

Для надежной защиты сварочной ванны сопло горелки должно обеспечивать строго ламинарное истечение защитных газов, которое не должно нарушаться при горении дуги. Кроме того, однородность потока и разность скоростей газа по сечению на всей длине ламинарного участка истекающего газа должна быть одинаковой, а расстояние от торца сопла горелки до свариваемого металла должно обеспечивать горение дуги в ламинарном участке потока.

Ламинарное истечение газа из горелки достигается при длине сопла, равном

$$l > 0,0015 [D^2 - d^2] Re.$$

Здесь l — длина цилиндрической части сопла горелки, мм; D — внутренний диаметр сопла, мм; d — диаметр мундштука или панги, мм; Re — число Рейнольдса, равное для кольцевого канала сопла $Re = \gamma v [D - d] \eta^{-1}$, где γ — плотность проходящего через горелку газа, г/см³; v — скорость движения газа в кольцевом канале сопла горелки, см/с, равная

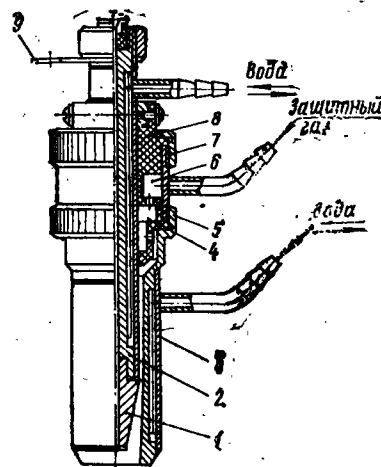
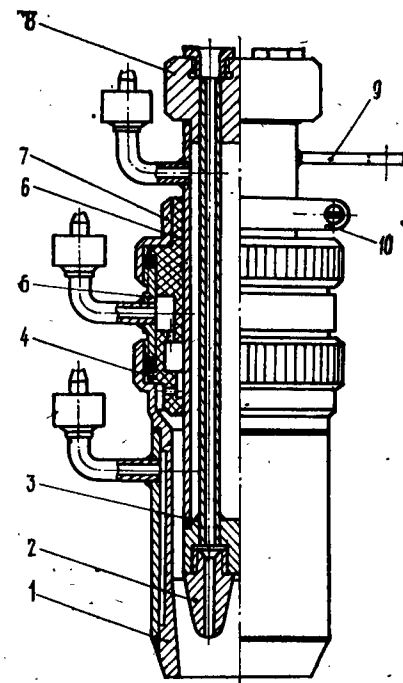


Рис. 4.19. Горелка типа ГУ:

1 — наконечник мундштука; 2 — мундштук; 3 — сопло; 4 — 2-я успокоительная камера; 5 — текстолитовая втулка 2-й успокоительной камеры; 6 — 1-я успокоительная камера; 7 — накидная гайка; 8 — текстолитовая втулка 1-й успокоительной камеры; 9 — токоподвод

Рис. 4.20. Сварочная горелка РГ-3:

1 — сопло; 2 — наконечник мундштука; 3 — мундштук; 4 — корпус второй успокоительной камеры; 5 — втулка; 6 — корпус 1-й успокоительной камеры; 7 — накидная гайка; 8 — зажимная втулка; 9 — токоподвод; 10 — винт фиксирующей скобы



$v = \omega [F\gamma]^{-1}$ (ω — расход газа, г/с; F — площадь кольцевого канала сопла горелки, см²); η — коэффициент динамической вязкости газа, Па · с.

При сварке в смеси газов их плотность и коэффициент динамической вязкости могут быть установлены по формулам:

$$\gamma_{см} = 0,01 [\gamma_1 A + \gamma_2 B];$$

$$\eta_{см} = 0,01 [\eta_1 A + \eta_2 B],$$

где $\gamma_{см}$ — плотность смеси газов, г/см³; γ_1 и γ_2 — плотность первого и второго газа, г/см³; $\eta_{см}$ — коэффициент динамической вязкости, Па · с; η_1 и η_2 — коэффициенты динамической вязкости первого и второго газа, Па · с; A и B — доля первого и второго газа в смеси, %.

Автоматическая сварка в среде защитных газов неплавящимся электродом выполняется горелками разных конструкций, но лучшие результаты получены при использовании

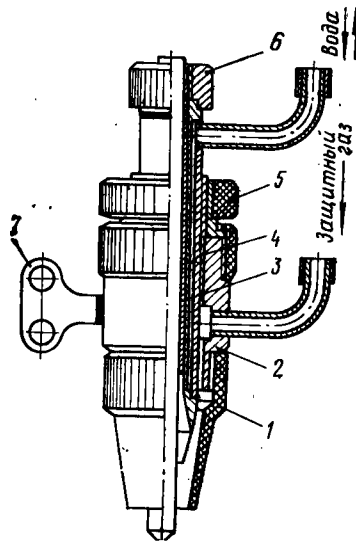


Рис. 4.21. Горелка ГН-6:
1 — сопло; 2 — корпус; 3 — цапга; 4 —
штулка перемещения; 5 — гайка регули-
рования вылета; 6 — зажимная гайка;
7 — токоподвод

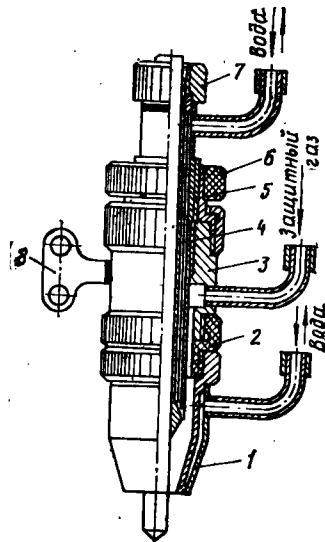


Рис. 4.22. Горелка ГН-12
1 — сопло; 2 — переходная текстолитовая
штулка; 3 — корпус; 4 — цапга; 5 —
штулка перемещения; 6 — гайка регули-
рования вылета; 7 — зажимная гайка;
8 — токоподвод

горелок типа ГН. Для сварки электродами диаметром 3—6 мм служит горелка ГН-6 (рис. 4.21), а электродами диаметром 6—12 мм — горелка ГН-12 (рис. 4.22).

СВАРОЧНЫЕ АВТОМАТЫ И ПОЛУАВТОМАТЫ

Автоматическая сварка и наплавка плавящимся электродом могут выполняться с помощью автоматов подвесного или тракторного типа. При автоматической сварке неплавящимся электродом горелки на автоматы устанавливаются с таким расчетом, чтобы присадочная проволока подавалась в зону дуги подающей системой автомата.

Сварку и наплавку выполняют автоматами АБСК, А-1416, ТС-56, АДС-1000-5, АДФ-1004, АДФ-1602, А-1181 и другими, обеспечивающими равномерную с заданной скоростью подачу электродной проволоки. Для полуавтоматической сварки и наплавки меди, никеля и их сплавов используют полуавтоматы А-1197П, А-1114М, А-547Р, А-547У, А-765, А-1503П и др.

Чтобы обеспечить ламинарное истечение и равномерную плотность истекающего газа в поперечном сечении потока

с целью надежной защиты зоны дуги от окружающего воздуха и получения сварных швов высокого качества, удлиняют сопло горелок, помещают в них камеры успокоения, а внутренней части сопла и мундштука придают благоприятную форму. Надежность работы полуавтомата после установления заданной скорости подачи электродной проволоки определяют следующим образом: нажатием кнопки «Пуск» пропускают электродную проволоку в течение 15 с и повторяют эту операцию 5 раз, затем сравнивают пять отрезков проволоки по длине. Если они отличаются друг от друга не более чем на ± 5 мм, подачу можно считать равномерной. Такой контроль особенно важен при сварке алюминия и его сплавов плавящимся электродом в среде защитных газов, когда надежность работы сварочного оборудования оказывает решающее влияние на качество сварных швов.

Для ручной и автоматической дуговой сварки алюминия и его сплавов неплавящимся электродом в среде защитных газов используют установки УДГ-301 и УДГ-501, выпускаемые на номинальный ток 315 и 500 А при ПР—60 %. В установках УДГ-301 сварочный ток регулируется от 15 до 315 А в трех диапазонах: 15—25, 20—100 и 100—315 А. В установках УДГ-501 сила сварочного тока изменяется от 40 до 500 А в двух диапазонах: 40—200 и 200—500 А, напряжение холостого хода 70 ± 2 В.

Установки выполнены в однокорпусном исполнении. Внутри корпуса размещены трансформатор ТРПШ-300 или ТРПШ-500 с подмагничивающим шунтом, дроссель для малых токов, осциллятор, блок цикла сварки, конденсаторная батарея для подавления постоянной составляющей сварочного тока, магнитный усилитель для управления током подмагничивания трансформатора и регулирующая аппаратура.

Установка УДГ-301 снабжена горелкой на 200 А, рассчитанной для сварки неплавящимися электродами от 0,8 до 4,0 мм, и горелкой на 400 А для электродов от 3 до 6 мм. Установка УДГ-501 укомплектована дополнительной горелкой на 500 А с водоохлаждаемым соплом для сварки электродами от 5 до 10 мм.

ВСПОМОГАТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА

Снижение давления газа, обеспечение его постоянства, регулировка давления и автоматическое перекрытие клапана при прекращении отбора газа осуществляются с помощью редукторов: для гелия Г-70, для аргона Ар-10, Ар-40, Ар-150, для азота А-30, А-90, для кислорода ДКР-8-65, ДКП-1-65, ДКМ-1-70.

Смеси защитных газов готовят в смесителях СМГИ-2, АКУП-1, УКП-1-71, типа УСД, гарантирующих достаточную точность смешения.

Защитные газы и охлаждающая вода к сварочным горелкам подаются по резиноканевым рукавам (ГОСТ 9355—75) с внутренним диаметром 8—10 мм. Для свободного протока газа длина шлангов при внутреннем диаметре 8—10 мм не должна превышать 10 000 мм. Расход защитных газов согласно ГОСТ 13045-81 регулируют с помощью ротаметров РМ-5, РМ-1, РМ-II, РМ-III и РМА-1. Градуируются ротаметры по формуле:

$$Q_r = Q_a k_r \sqrt{p_r + 1},$$

где Q_r — расход контролируемого газа, л/мин; Q_a — расход воздуха, взятый из паспорта для каждого деления шкалы ротаметра, л/мин; k_r — коэффициент, равный отношению плотности воздуха к плотности исследуемого газа (для аргона — 0,852, гелия — 2,700, кислорода — 0,951 и азота — 0,983); p_r — давление контролируемого газа.

Для определения давления газа, поступающего в горелку, между ротаметром и сварочной горелкой через переходной штуцер подключается водяной манометр. В процессе градуировки поплавков устанавливается на каждом, например, десятом делении шкалы ротаметра и по манометру определяется давление поступающего в горелку газа. Давление рассчитывают по формуле:

$$p_r = 0,001 (h'_1 + h'_2) \gamma,$$

где h'_1 и h'_2 — значения высоты жидкости в правой и левой трубках манометра, см. При сварке в смеси расход составляющего газа устанавливается по зависимости:

$$Q_1 = 0,01 Q'_2 Q'_r,$$

где Q_1 — расход газа смеси, л/мин; Q'_2 — содержание газа в смеси, %; Q'_r — общий расход смеси, л/мин.

Чтобы облегчить зажигание дуги и повысить устойчивость ее горения при сварке неплавящимся электродом, применяют осцилляторы. Их подключают параллельно или последовательно сварочной дуге. Наиболее широко используют осцилляторы ОС-1, М-3, ОСП-3-2М, ТУ-2, ТУ-77, ТУ-177 и др.

Образование падающих характеристик дуги и регулировка силы сварочного тока производятся с помощью балластных резисторов РБ-201, РБ-301, РБ-501 и РБГ-301.

Для механизации работ применяют сварочные вертикальные (ГОСТ 19141—78) или горизонтальные (ГОСТ 19140—78)

вращатели, роликовые опоры (ГОСТ 21327 - 81) с приводами, обеспечивающими регулировку их частоты вращения по ГОСТ 21328—81. При необходимости используют сварочные кайтователи с подъемными центрами (ГОСТ 19142—78).

Площадь сечения кабелей для подвода сварочного тока от источника питания к рабочему посту может быть выбрана исходя из данных: для $I_{св} = 150 \text{ А}$ $S = 25 \text{ мм}^2$; $I_{св} = 300 \text{ А}$ $S = 50 \text{ мм}^2$; $I_{св} = 450 \text{ А}$ $S = 70 \text{ мм}^2$; $I_{св} = 600 \text{ А}$ $S = 95 \text{ мм}^2$. При использовании в сварочной цепи шин площадь сечения их рассчитывают согласно нормам допустимой плотности тока: медные шины — 150...200 А/см²; алюминиевые шины — 110...150 А/см² и стальные шины — 45...60 А/см².

Глава 5. ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

СВАРКА АЛЮМИНИЯ И ЕГО СПЛАВОВ

Подготовка под сварку металла и электродной проволоки. Для получения качественных сварных соединений алюминия и его сплавов свариваемые кромки и электродную проволоку очищают от загрязнений и окисной пленки. Наиболее эффективным способом очистки является химическая обработка. Для удаления консервирующего смазочного материала металл и профильный прокат протирают древесными опилками и промывают горячей водой, а бухты проволоки с внешней стороны протирают ветошью и обрабатывают растворителями с помощью волосяных щеток. В качестве растворителей используются технический ацетон, авиационный бензин и др. Затем обезжиренный металл и сварочную проволоку подвергают дальнейшей химической очистке.

Технический алюминий и проволоку такого состава обрабатывают в растворе, содержащем едкого натра NaOH — 45—55 г/л, фтористого натрия NaF — 45—55 г/л и воду 1000 см³. Температура раствора 60—70 °С. После этого металл и проволоку промывают в проточной воде при температуре не ниже 50 °С и в холодной воде. По окончании промывки осветляют в течение 2—5 мин в водном растворе азотной кислоты HNO₃ концентрацией 350—450 г/л. Температура раствора 20—25 °С.

Алюминиевые сплавы и проволоку для их сварки травят 5—8 мин в ванне при температуре раствора 60—70 °С. Состав раствора, г/л: тринатрийфосфат Na₃PO₄ — 35—50, уголекислая сода Na₂CO₃ — 35—50, жидкое стекло Na₂SiO₃ — 35—55. Далее промывают в проточной воде при температуре 25—

30 °С, затем осветляют в течение 8—12 мин в растворе, содержащем ортофосфорную кислоту H_3PO_4 — 200—250 см³, хром-пик калиевый $K_2Cr_2O_7$ — 4—6 г и воду 1000 см³ при температуре раствора 45—50 °С.

Алюминий, его сплавы и сварочную проволоку после осветления промывают в горячей проточной воде, а затем в холодной воде и сушат на воздухе.

Крупногабаритные листы, плиты и детали, подлежащие сварке, допускается не обрабатывать химическим путем. В этом случае разрешается после обезжиривания всей детали свариваемые кромки и прилегающие к ним поверхности на 40—50 мм в обе стороны от стыка зачищать шабером до металлического блеска.

Сварка подготовленных таким образом изделий должна быть выполнена в течение 16 ч. Сварочную проволоку после химической обработки можно хранить на открытом воздухе не более 12 ч, а в герметической упаковке не более 36 ч. Проволоку, не использованную в указанное время, можно без предварительного обезжиривания вновь химически обработать и допустить в производство. Разрешается не более чем двукратная химическая подготовка сварочной проволоки. Разметка заготовок керном или чертилкой допускается по линии обреза, а на изделии разметку выполняют только краской или карандашом. Режут заготовки плазменной дугой или на гильотинных ножницах, специально оборудованных и предназначенных для резки алюминия и его сплавов.

Кромки под сварку подготавливают строганием или фрезерованием. В процессе сборки смещение кромок и зазор между ними не должны превышать 10 % толщины свариваемого металла, но не более 2 мм.

При понижении температуры в цехе увеличивается относительная влажность воздуха и образуется конденсат на поверхности свариваемого металла, что ведет к появлению пор в металле шва. Поэтому сборку и сварку изделий из алюминия и его сплавов допускается выполнять в помещениях с окружающей температурой не ниже +10 °С при отсутствии сквозняков и потоков воздуха, нарушающих защиту дуги. При температуре воздуха в помещении ниже +10 °С кромки свариваемого металла необходимо подогревать до температуры 80—100 °С. Если температура ниже +5 °С, сваривать алюминий и его сплавы не разрешается.

Сборка под сварку. Сборку конструкций по возможности следует выполнять без прихваток в жестких кондукторах, центраторах и других приспособлениях. При сборке изделий из технического алюминия и его сплавов, например, АД0,

Таблица 5.1. Электродные проволоки для сварки алюминия и его сплавов

Марка свариваемого металла	Марка проволоки для сварки со сплавами					
	АД33	АВ	АМг6	АМг3	АМц	АД1
АД1	СвАК5	СвАК5	СвАМг6	СвАМг3	СвАМц	СвА5
АМц	СвАК5	СвАК5	СвАМг6	СвАМг3	СвАМц	—
АМг3	СвАК5	СвАК5	СвАМг6	СвАМг3	—	—
АМг6	СвАМг6	СвАМг6	СвАМг6	—	—	—
АВ	СвАК5	СвАК5	—	—	—	—
АД33	СвАК5	—	—	—	—	—

АД1, АМ, АМц и АМцС, прихватки производят полуавтоматической сваркой плавящимся электродом в среде аргона полуавтоматом ПРМ-4. Сборка изделий из сплавов алюминия выполняется с помощью прихваток ручной дуговой сваркой неплавящимся электродом на переменном токе или полуавтоматической сваркой плавящимся электродом на постоянном токе обратной полярности в среде защитных газов.

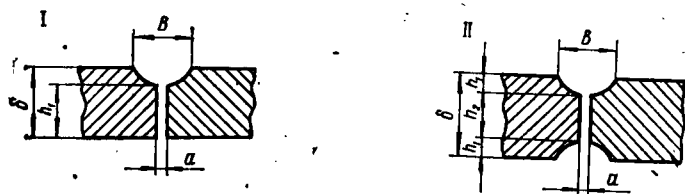
Проволока для прихватки и сварки применяется согласно табл. 5.1. В качестве защитной среды служит аргон, гелий или смесь гелия (50—75 %) с аргоном. Длина прихваток $l_n = (2...3)\delta$, расстояние между прихватками $L_n = (25...30)\delta$, где δ — толщина свариваемого металла, см.

Прихватки с дефектами удаляются механическим путем и выполняются снова. Усиление прихваток снимается механическим способом заподлицо с основным металлом, а места прихваток зачищаются от налета и брызг стальной щеткой из нержавеющей проволоки. Щетки должны быть чистыми и обезжиренными.

Механизированная сварка плавящимся электродом. Автоматическая сварка алюминия толщиной до 25 мм, а сплавов алюминия толщиной до 20 мм производится без разделки кромок за два прохода с двух сторон. При большей толщине свариваемого металла применяются разделки кромок согласно ГОСТ 14806—80 или основным размерам, приведенным в табл. 5.2.

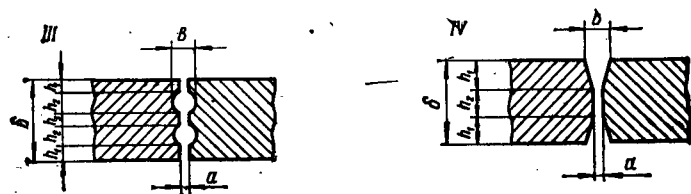
Сварку в аргоне и смеси аргона с гелием выполняют горелкой углом вперед с наклоном на 10—15° от вертикали на постоянном токе обратной полярности (табл. 5.3). Алюминий толщиной 14—16 мм сваривают проволокой 2,5 мм (при большей толщине алюминия применяется сварочная проволока диаметром 3,15 мм) или производят многопроходную сварку с разделкой кромок проволокой диаметром 2,5 мм.

Таблица 5.2. Размеры разделок кромок стыковых соединений



Толщина металла, мм	Параметры
	I
20	$h_1 = 10 \pm 1$ $B = 15 \pm 1$ $a = 0 + 1$
25	$h_1 = 12 \pm 1$ $B = 15 \pm 1$ $a = 0 + 1$
28	$h_1 = 14 \pm 1$ $B = 15 \pm 1$ $a = 0 + 1$
32	$h_1 = 14 \pm 1$ $B = 15 \pm 1$ $a = 0 + 1$
Примечание. Приняты следующие типы разделок: I — галтельная односторонняя,	

алюминия и его сплавов



разделок		
II	III	IV
— — —	— — —	$h_1 = 4 \pm 1$ h_2 — остальное $B = 4 \pm 1$ $a = 0 + 1$
$h_1 = 5 \pm 1$ h_2 — остальное $B = 15 \pm 1$ $a = 0 + 1$	$h_1 = 5 \pm 1$ $h_2 = 5 \pm 1$ h_3 — остальное $B = 8 \pm 1$ $a = 0 + 1$	$h_1 = 6 \pm 1$ h_2 — остальное $B = 4 \pm 1$ $a = 0 + 1$
$h_1 = 5 \pm 1$ h_2 — остальное $B = 15 \pm 1$ $a = 0 + 1$	$h_1 = 5 \pm 1$ $h_2 = 5 \pm 1$ h_3 — остальное $B = 10 \pm 1$ $a = 0 + 1$	$h_1 = 8 \pm 1$ h_2 — остальное $B = 4 \pm 1$ $a = 0 + 1$
$h_1 = 6 \pm 1$ h_2 — остальное $B = 15 \pm 1$ $a = 0 + 1$	$h_1 = 5 \pm 1$ $h_2 = 5 \pm 1$ h_3 — остальное $B = 10 \pm 1$ $a = 0 + 1$	$h_1 = 9 \pm 1$ h_2 — остальное $B = 4 \pm 1$ $a = 0 + 1$
носторонняя; II — галтельная двусторонняя; III — внутренняя; IV двусторонняя		

Таблица 5.3. Режимы сварки алюминия и его сплавов плавящимся электродом в среде аргона и смеси аргона с гелием

Толщина металла, мм	Диаметр сварочной проволоки, мм	Сила тока, А	Напряжение на дуге, В	Скорость сварки, м/ч
16	2,2	340—360	30—32	16—18
16	2,5	380—420	32—34	12—14
25	3,15	430—460	32—34	12—14
28	3,15	430—460	32—34	12—14

При сварке на флюсовой подушке, во избежание попадания флюса в зазор между кромками, сварку первого прохода выполняют на полосе из нержавеющей стали толщиной 2—4 мм, укладываемой на флюсовую подушку. Ширина полосы равна 150—200 мм, а длина ее равна длине свариваемого шва.

Вместо флюсовой подушки также может быть применена войлочная подкладка, пропитанная специальным составом. Для этого войлок толщиной 25—30 мм подготавливают в виде полосы заданной длины и шириной 150—200 мм. Затем полосы скручивают в рулоны и выдерживают в ванне в течение 1—1,5 ч при температуре 80—100 °С в растворе (%): SiO_2 —33...37; Al_2O_3 —8...12; CaCO_3 —43...47; MgO —5...9; CaF_2 —1...5. Вместо мрамора может быть применена гашеная известь, а MgO заменен TiO_2 (массовые доли те же).

Шихту разводят до полувязкого состояния на водном растворе жидкого стекла плотностью 1,2—1,4 г/см³ из расчета его массовой доли 30—40 % от массы сухой шихты. Подготовлен-

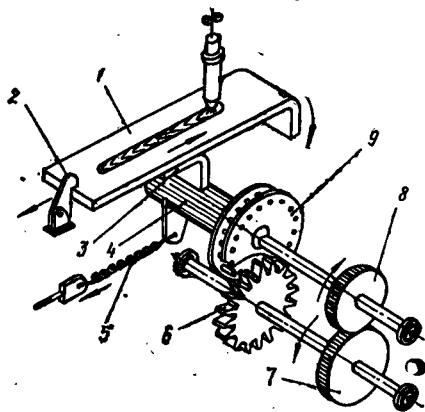


Рис. 5.1. Установка для определения удельной энтальпии металла сварочной ванны

ную таким образом войлочную подушку сушат и для предотвращения смещения укладывают на стальную полосу шириной 140—160 мм с продольными пазами глубиной 3—5 мм и шириной 5—6 мм. Расстояние между пазами 15—20 мм.

Для оценки защитных сред применяется установка (рис. 5.1), которая позволяет определять удельную энтальпию металла сварочной ванны, ее массу и глубину проплавления. Эффективность защитных сред оценивается наплавкой валика на образец 1 (пластину) с окончанием у загнутого края. Для возможности подхода к краю пластины и сохранения при этом квазистационарного температурного поля, оказывающего влияние на массу и параметры сварочной ванны, одна сторона пластины изогнута под углом 90°.

Длина большей части образца составляет (350 ± 10) мм, длина меньшей изогнутой — (90 ± 5) мм, ширина (150 ± 5) мм. Толщина образца может изменяться в пределах от 10 до 30 мм.

Автомат в конце сварки замыкает конечный выключатель, и процесс сварки прекращается. Одновременно с помощью электромагнита оттягивается фиксирующий упор 2, и пластина под действием пружины 5 отбрасывается вперед и вниз, поворачиваясь на 90°. В конце движения пластина загнутым краем ударяется о пружинный упор, и металл ванны выбрасывается в калориметр. При повороте пластины, лежащей на основании 3 установки, а следовательно, и втулки 4, движение через зубчатые пары 9 и 6, 7 и 8 передается валу, который заканчивается эксцентриком и, разворачиваясь, придает движению пластины траекторию, обеспечивающую полный выброс, минимальный путь и точное попадание металла ванны в калориметр. Собравшийся в калориметре металл взвешивается на аналитических весах, и определяется удельная энтальпия по формуле:

$$l = 1,05 (\bar{H} \Delta t / m_a),$$

где l — удельная энтальпия металла ванны, Дж/кг; $\bar{H}$ — постоянная калориметра, Дж/°С; Δt — разность температур воды в калориметре до и после опыта, °С; m_a — масса металла ванны, кг.

Если режим наплавки: $I_{св} = 380...400$ А, $U_d = 32...36$ В, $v_{св} = 12...14$ м/ч; $d_0 = 2,5$ см, расход защитной среды 25—30 л/мин, то при наплавке валика алюминия примесь к аргону кислорода увеличивает массу сварочной ванны от 3,5 г при наплавке в аргоне до 10,4 г при наплавке в среде аргона с добавкой 5—7 % кислорода. Такое изменение состава защитной среды уменьшает удельную энтальпию металла сварочной ванны от $1415,2 \cdot 10^{-3}$ Дж/кг при наплавке в аргоне

до $1339,8 \cdot 10^{-3}$ Дж/кг при наплавке в смеси аргона с кислородом. При добавке к аргону гелия масса сварочной ванны также увеличивается, но на меньшую величину и при наплавке в гелии составляет 6,6 г, а удельная энтальпия уменьшается до $1373,2 \cdot 10^{-3}$ Дж/кг.

Таким образом, при неизменных параметрах режима наплавки тепловложение в металл ванны составляет в аргоне 4953 Дж, в гелии 9664,4 Дж, а в смеси аргона с кислородом 13933,7 Дж. Более высокое тепловложение в металл при сварке алюминия в смеси аргона с кислородом повышает глубину проплавления и эффективный КПД процесса сварки.

Кислород в дуге диссоциирует на атомарный по реакции $O_2 \rightleftharpoons 2O + 495$ с дальнейшей ионизацией и образованием отрицательных ионов O_2^- и O^- [15].

Отрицательные ионы кислорода вблизи катода повышают у катода плотность объемного отрицательного заряда. Образующиеся при этом положительные ионы у анода создают объемный положительный заряд. Наличие объемных зарядов в приэлектродных областях дуги увеличивают катодное и анодное падение напряжения.

Приэлектродные падения напряжения повышаются согласно зависимости:

$$I_d = [U_d - (U_k + U_a)]/E,$$

где I_d — длина дуги, мм; U_d — напряжение на дуге, В; U_k — катодное падение напряжения, В; U_a — анодное падение напряжения, В; E — градиент напряжения, В/мм.

Повышение приэлектродных падений напряжения уменьшает длину дуги и увеличивает ее эффективный КПД по формуле:

$$\mu = (U_d - EI_d)/U_d.$$

Уменьшение длины дуги и увеличение градиента напряжения повышают эффективный КПД дуги от 0,70—0,80 (при сварке алюминия плавящимся электродом в среде аргона) до 0,90—0,94 (при сварке в смеси аргона с добавкой 7—8 % кислорода).

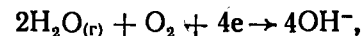
Затрата энергии на диссоциацию кислорода во внешней зоне дуги приводит к ее охлаждению и разделению на две зоны — центральный шнур и внешний ореол. Уменьшение длины дуги и разделение ее на две зоны без изменения напряжения увеличивает давление на поверхности сварочной ванны, повышая глубину провара [11].

Так, при сварке алюминия в аргоне электродной проволокой диаметром 2,5 мм в режиме: $I_{св} = 380...400$ А, $U_d = 32...$

...36 В, $v_{св} = 10...14$ м/ч, $Q_1 = 25...30$ л/мин, глубина проплавления 8—10 мм, ширина — 24—26 мм, высота усиления — 7,0—7,5 мм. Примесь к аргону до 8 % кислорода увеличивает глубину проплавления до 15—17 мм и ширину сварного шва до 26—28 мм, а высоту его усиления снижает до 6,2—6,8 мм.

Поэтому применение в качестве защиты аргонно-кислородной смеси позволяет выполнять сварку без разделки кромок алюминия толщиной до 25 мм при использовании электродной проволоки диаметром 2,5 мм и металла толщиной до 32 мм при сварке проволокой диаметром 3,15 мм.

Уменьшение внешней составляющей длины дуги и снижение этим поверхности ее контакта с окружающей атмосферой, образование термодинамически прочных, нерастворимых в сварочной ванне гидроксильных групп по реакции [15]:



а также выгорание водорода в низкотемпературной зоне дуги и испарение продуктов реакции при сварке в защитных средах с примесью кислорода предотвращает образование пор в металле шва. Так, при сварке в аргоне с точкой росы — 20 °С содержание водорода в алюминии достигает 0,8 см³/100 г, а швы поражаются порами общим объемом до 2 см³/100 г. Введение в аргон до 8 % кислорода при неизменных остальных условиях уменьшает содержание водорода в металле шва до 0,1 см³/100 г, а поры в шве отсутствуют.

Таким образом, защитными газами для сварки алюминия и его сплавов могут служить аргон, гелий и смеси аргона с гелием и аргона с кислородом: 50—75 % He + Ar остальное; He + 2 % O₂; Ar + до 8 % O₂ и 60—75 % He + до 4 % O₂ + Ar остальное.

Пост сварки в среде аргона с кислородом плавящимся электродом приведен на рис. 5.2, а номограмма для выбора режимов сварки — на рис. 5.3. Для сварки алюминия толщиной более 25 мм можно применять также электродную проволоку диаметром 3,15 мм.

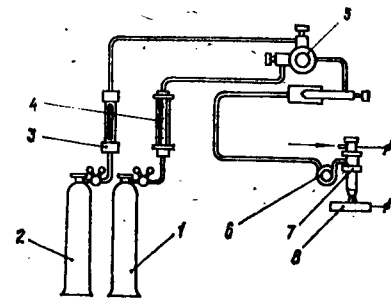


Рис. 5.2. Схема сварочного поста: 1 — баллон с защитным газом; 2 — баллон с кислородом; 3 — вентиль; 4 — ротаметр РМ-V; 5 — смеситель газов СМГИ-2; 6 — дуговой подогреватель защитной среды; 7 — сварочная горелка; 8 — свариваемый металл

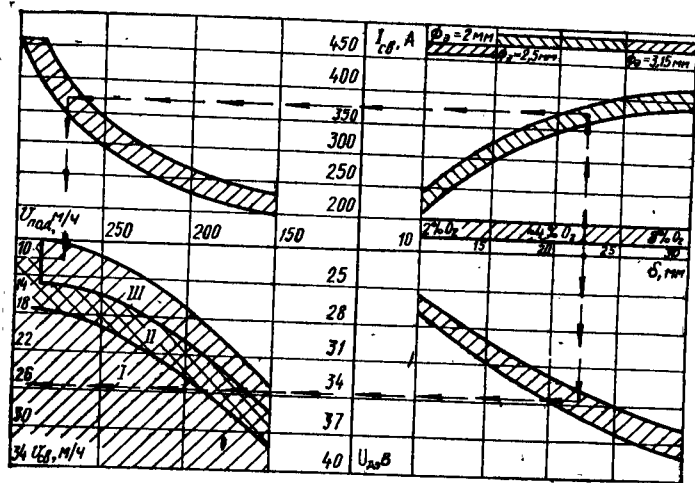


Рис. 5.3. Номограмма для выбора режимов сварки

Механические свойства металла шва и сварного соединения алюминия АД1, выполненных плавящимся электродом в среде аргона с кислородом: $\sigma_s = 72,5 \dots 79,4$ МПа; $\sigma_t = 41,2 \dots 51,9$ МПа; $\delta = 37,4 \dots 43,2$ %, $\psi = 65,8 \dots 70,7$ %, угол загиба кромки равен 180° . По коррозионной стойкости металл шва не уступает основному металлу.

При сварке без примеси кислорода абсолютная влажность защитных газов снижается тщательным их осушением, а уменьшение относительной влажности и повышение за счет этого плотности сварных швов достигается применением дугового подогревателя газа. Такой подогреватель выполнен в виде изогнутой в несколько витков медной трубки и располагается внизу горелки вблизи дуги. Поступая в сварочную горелку, защитный газ подогревается теплом дуги до температуры, пропорциональной ее мощности.

Снижение относительной влажности происходит в соответствии с зависимостью:

$$f_{\text{отн}} = (f_{\text{абс}}/f_{\text{нас}})100 \%,$$

где $f_{\text{отн}}$ — относительная влажность газов, %; $f_{\text{абс}}$ — абсолютная влажность газов, г/м³; $f_{\text{нас}}$ — влага, необходимая для насыщения газа при данной температуре, г/м³.

Длина и диаметр газоподводящих шлангов от смесителя или от ротаметра к сварочной горелке должны обеспечивать свободный проток защитного газа. Начинать и заканчивать

процесс сварки необходимо на технологических планках размером 100×100 мм с формой разделки и толщиной металла, соответствующих свариваемому металлу. Для этого необходимо, чтобы длина планки при внутреннем диаметре 8 мм не превышала 10 000 мм.

Сварка выполняется автоматами, способными обеспечить заданную скорость и необходимую стабильность подачи электродной проволоки. Для сварки металла толщиной до 25 мм автоматы снабжаются горелками ГУ-2,5, а для металла большей толщины — горелками ГУ-3 или другими, обеспечивающими надежную защиту дуги.

Сварные швы характеризуются глубиной проплавления — $h_{\text{пр}}$, шириной проплавления шва — $b_{\text{пр}}$, высотой усиления шва — a_y , толщиной шва — $H_{\text{ш}}$, коэффициентом формы проплавления — $\varphi_{\text{пр}} = b_{\text{пр}}/h_{\text{пр}}$ и коэффициентом формы усиления $\varphi_y = b_{\text{пр}}/a_y$. Параметры шва определяются режимами и технологией сварки. Так, при повышении силы сварочного тока увеличиваются глубина провара, ширина шва и высота его усиления. С ростом напряжения на дуге повышается ширина сварного шва, снижаются высота его усиления и глубина провара. С повышением скорости сварки уменьшается глубина провара и снижается ширина сварного шва, а высота усиления незначительно увеличивается. Кроме элементов режима сварки на параметры шва большое влияние оказывают положение электрода в пространстве и наклон изделия в процессе сварки.

При наклоне электрода углом вперед давление столба дуги на поверхности сварочной ванны перераспределяется, что приводит к уменьшению глубины провара и повышению ширины сварного шва. В процессе сварки углом вперед также улучшается защита дуги, особенно при больших скоростях сварки. При сварке на подъем толщина слоя жидкого металла под основанием столба дуги уменьшается. Это сопровождается более глубоким проплавлением основного металла, уменьшением ширины шва и увеличением высоты его усиления. При сварке на спуск соответственно уменьшаются глубина провара и высота усиления шва, а его ширина увеличивается.

Сварка на спуск применяется при выполнении кольцевых швов. В этом случае электрод смещается с зенита против вращения изделия, что приводит к увеличению ширины шва, улучшению его формирования и повышению качества сварки. При сварке на спуск с углом наклона изделия более 15° провар приближается к минимальному значению. При сварке сплавов алюминия с увеличением вылета и при неизменных параметрах

режима масса расплавленного в единицу времени электродного металла увеличивается, а глубина проплавления и доля основного металла в шве уменьшаются.

Полуавтоматическая сварка. Для сварки алюминия и его сплавов толщиной более 10 мм, где использовать другие способы невозможно или нецелесообразно, применяется полуавтоматическая сварка плавящимся электродом в среде защитных газов. При таком способе сварки, особенно технического алюминия, основной трудностью является обеспечение равномерной подачи сварочной проволоки и хорошей защиты дуги. Чтобы получить сварной шов высокого качества, необходимы надежные в работе полуавтоматы и строгое соблюдение правильной технологии сварки. Для этого используют модернизированные полуавтоматы ПРМ-4 с удлиненным на 40—50 мм соплом горелки или снабженные горелками СГ-2 с подачей проволоки роликами, покрытыми слоем резины, через шланг, снабженный внутри фторопластовой трубкой. Находят применение также полуавтоматы, протягивающие электродную проволоку по направляющей жесткой фторопластовой или полиэтиленовой трубке с внутренним диаметром 10—15 мм. Такая система обеспечивает надежную работу полуавтомата при длине направляющей трубки до 4000—6000 мм.

Шланги для подвода защитного газа к горелке должны быть одного диаметра без отслоений резины внутри газового канала и тщательно очищенные от талька и других загрязнений. Составные шланги применять не рекомендуется. Для удаления загрязнений шланги не реже одного раза в 3—4 мес следует промывать горячей водой при температуре 50—80 °С, в течение 10 мин, затем гидролизным спиртом, продуть сухим сжатым воздухом (15—20 мин) и аргоном.

Сварку выполняют горелкой, наклоненной углом вперед на 10—15° от вертикали, на постоянном токе обратной полярности (табл. 5.4). В качестве защитных сред для сварки алю-

Таблица 5.4. Режимы полуавтоматической сварки алюминия и его сплавов плавящимся электродом в среде защитных газов

Толщина металла, мм	Диаметр электродной проволоки, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение, на дуге, В
3—5	1,2—1,4	100—140	20—24
5—7	1,4—1,7	140—200	22—26
7—10	1,6—2,0	200—280	24—28
10—15	2,0—2,5	280—300	28—32
20 и более	2,0—2,5	300—380	30—34

миния и его сплавов можно применять аргон, гелий, смесь 70—75 % He + Ag остальное или смеси с активными добавками: Ag + до 4 % O₂, He + до 2 % O₂ и 60—75 % He + до 2 % O₂ + Ag остальное. Расход защитных сред 14—16 л/мин.

Расстояние сопла горелки от свариваемого металла должно быть 15—20 мм. Если предусмотрен припуск на механическую обработку в начале и конце шва, технологическими планками можно не пользоваться. В этом случае кратер в конце шва заваривают без перемещений горелки вперед.

Сварочную горелку в процессе сварки необходимо перемещать равномерно без поперечных колебаний. Как исключение, допускается небольшое поперечное движение горелки на величину не более 0,2—0,3 ширины шва. Для надежной защиты дуги резкие движения горелки не допускаются. В случае вынужденных перерывов сварки кратер ранее выполненного шва после предварительной вырубки и зачистки переплавляется на 15—20 мм.

В процессе полуавтоматической сварки шланг с проволокой следует располагать так, чтобы предупредить образование сгибов электродной проволоки. Такое условие наиболее просто выполняется, если шланг с проволокой сварщик держит на плече.

При сварке не допускаются короткие замыкания электродной проволоки на поверхность ванны. В этих местах образуются всплески металла, которые приводят к появлению в сварных швах пор и других дефектов. При многослойной сварке число слоев устанавливается до полного заполнения разделки или получения необходимого катета сварных швов. Поверхность каждого предыдущего валика должна быть тщательно зачищена щетками из нержавеющей стальной проволоки и продута сухим сжатым воздухом.

Пост сварки требует оборудовать шкафом для хранения баллонов, устройством для слива из сварочной горелки охлаждающей воды, амперметром, вольтметром и необходимым инструментом. Сток воды, охлаждающей горелку, должен быть видимым. В случае прекращения подачи охлаждающей воды в горелку процесс сварки необходимо немедленно прекратить.

Все посты газозлектрической сварки должны быть снабжены ротаметрами или другими индикаторами расхода и тарировочными графиками. При полуавтоматической сварке плавящимся электродом швы большой протяженности разбивают на короткие участки длиной 100—300 мм. При сварке металла большой толщины участки берут длиннее, а при сварке тонкого металла участки делают более короткими. Такие швы сварив-

ваются ступенчатым способом в направлении, обратном общему направлению.

В процессе сварки, если новый слой наплавляется на холодный предыдущий валик, в шве возможно образование трещин. Для уменьшения внутренних напряжений и снижения вероятности растрескивания швов при сварке металла больших толщин применяют сварку блоками и стремятся сократить время между сваркой каждого слоя. Сварку блоками начинают в начале стыка или в его середине и продолжают до полного заполнения разделки. Каждый последующий слой блока следует наплавлять на еще горячий предыдущий металл шва.

При сварке угловых швов применяют сварку в симметричную или несимметричную лодочку. Угловые швы металла одинаковой толщины сваривают в симметричную лодочку. При сварке таких соединений в несимметричную лодочку возможны подрезы на одной стенке и наплывы на другой, где угол между вертикальным электродом и металлом больше. Сварка элементов разной толщины выполняется в несимметричную лодочку с направлением провара в металл большей толщины, иначе угол между вертикальным электродом и стенкой большей толщины должен быть больше, чем угол между электродом и тонкой стенкой металла.

Автоматическая сварка неплавящимся электродом. Автоматическая сварка неплавящимся электродом в среде защитных газов может быть однодуговой или трехфазной. Однодуговая сварка используется для сварки сплавов алюминия толщи-

Таблица 5.5. Режимы однодуговой сварки неплавящимся электродом сплава АМг6

Толщина металла	Диаметр неплавящегося электрода	Сила тока, А	Скорость подачи присадочной проволоки, м/ч	Скорость сварки, м/ч
мм				
4	5	220—260	40—50	12—14
6	5	280—300	35—40	12—14
8	6	320—360	30—35	10—12
10	8	420—480	25—30	8—10
12	10	460—520	20—25	6—8

Примечание. Расход защитных газов при сварке металла толщиной до 10 мм составляет 14—16 л/мин, а при большей толщине — 25—30 л/мин. Диаметр присадочной проволоки для толщин 4—6 мм принимается равным 2,0 мм, а при больших толщинах — 2,5 мм.

ной до 12 мм. При большей толщине свариваемого металла более производительной является трехфазная сварка.

Для уменьшения сварочных деформаций и получения швов высокого качества автоматическую сварку стыковых соединений неплавящимся электродом стремятся выполнять за один проход с обратным формированием. Такую сварку осуществляют на стендах или с помощью других приспособлений, обеспечивающих надежное поджатие стыка к формирующей подкладке.

Однодуговую сварку выполняют на переменном токе в среде аргона или на постоянном токе прямой полярности в среде гелия погруженной дугой. Для сварки на переменном токе используют установки УДГ-301, УДГ-501 или упрощенную схему, снабженные сварочными горелками типа ГН или другими, обеспечивающими достаточное качество сварных соединений. Обратная сторона формируется подкладкой из нержавеющей стали толщиной 15—25 мм с канавкой в виде трапеции, шириной 7—12 мм, глубиной 0,5—1,5 мм и углом скоса 45°. Режимы однодуговой сварки в среде аргона стыковых соединений сплава АМг6 приведены в табл. 5.5.

Для питания трехфазной дуги применяются установки УДГ или трансформаторы, включенные по схеме, приведенной

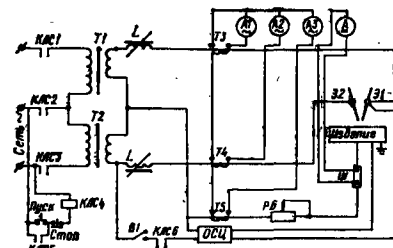


Рис. 5.4. Схема включения трансформаторов для сварки трехфазной дугой

Таблица 5.6. Режимы сварки сплава АМг6 трехфазной дугой неплавящимся электродом в среде аргона

Толщина металла, мм	Сила сварочного тока, А			Скорость сварки, м/ч	Скорость подачи присадочной проволоки, м/ч
	I_1	I_2	I_3		
10—14	520—560	500—540	680—720	14—16	55—75
14—18	540—560	520—540	700—750	12—14	45—55
18—22	560—580	540—560	720—750	10—12	35—45
22—24	580—600	560—580	720—750	6—8	25—35

Примечания: 1. Диаметр электрода для толщин 10—14 мм составляет 8 мм, для большей толщины свариваемого металла — 10 мм. 2. Расход аргона 25—30 л/мин.

на рис. 5.4. Расстояние сопла горелки от свариваемого металла 8—12 мм. Чтобы предупредить разбрызгивание металла, получить хорошее качество формирования шва, присадочная проволока не должна попадать под центральную часть дуги. При сварке неплавящимся электродом сплавов алюминия толщиной более 25 мм применяется двусторонняя X-образная разделка кромок. В этом случае при сварке первого прохода с обратной стороны используется призматическая прокладка с углом большим, чем угол разделки кромок. Такая формирующая подкладка, входящая в разделку, в случае прожога предохраняет металл от вытекания и легко отделяется от шва. Режимы односторонней сварки сплава АМг6 трехфазной дугой приведены в табл. 5.6.

В процессе сварки пары алюминия оседают на внутренней части сопла горелки, ухудшая качество защиты дуги. Поэтому сопло горелки рекомендуется периодически очищать от загрязнений и налета паров алюминия.

Для увеличения скорости сварки и повышения производительности труда может быть применен способ сварки двоящим электродом. В этом случае впереди располагают плавящийся электрод, который подают в зону дуги со скоростью, необходимой для образования усиления сварного шва или заполнения разделки. Неплавящийся электрод переплавляет закристаллизовавшийся сварной шов. Этот процесс обеспечивает высокое качество сварных швов и в 2—3 раза увеличивает глубину проплавления или позволяет повысить скорость сварки при неизменных остальных параметрах режима.

Ручная дуговая сварка неплавящимся электродом. Ручную дуговую сварку неплавящимся электродом в среде защитных газов алюминия и его сплавов применяют до толщины 10 мм.

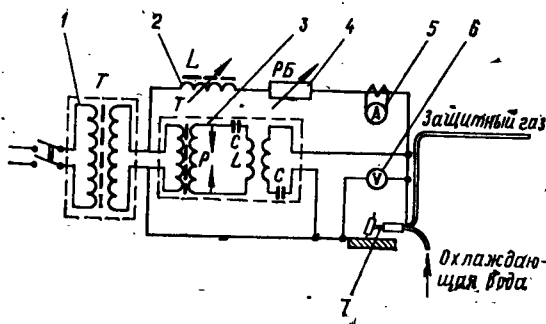


Рис. 5.5. Упрощенная схема для сварки алюминия неплавящимся электродом

Таблица 5.7. Рабочее значение сварочного тока для 3 типов вольфрамовых электродов

Диаметр электрода, мм	Сила сварочного тока, А			Постоянная составляющая тока, %
	ЭВЧ	ЭВИ	ЭВЛ	
4	180—190	300—350	200—220	0—10
6	240—260	410—480	300—340	0—10
8	360—390	490—590	450—500	0—10
10	450—500	650—750	600—650	0—10

Примечание. При сварке алюминия и его сплавов толщиной от 1 до 5 мм диаметр электрода выбирается равным толщине свариваемого металла. С увеличением толщины металла диаметр электрода увеличивается незначительно и не превышает 6 мм. Присадочная проволока принимается диаметром, равным толщине свариваемого металла, но не более 5 мм.

Сварка выполняется на переменном токе от установок УДГ-301, УДГ-501 или по упрощенной схеме (рис. 5.5) с наложением на сварочную цепь переменного тока высокой частоты от осциллятора. Осциллятор позволяет зажигать дугу, не касаясь непосредственно электродом изделия.

Для защиты дуги служит аргон (40 %), гелий (60 %) или смесь He + Ar. Расход аргона 8—12 л/мин. В случае применения в качестве защитной среды гелия его расход должен быть не менее 20—25 л/мин. Силу сварочного тока выбирают в зависимости от диаметра вольфрамового электрода по табл. 5.7.

Чтобы получить качественный сварной шов, скорость ручной сварки должна быть согласована с элементами режима и расходом защитной среды. Зажигается дуга на угольной или графитовой пластине и после нагрева торца электрода быстро возбуждается в месте сварки. Однако при зажигании дуги нельзя касаться изделия электродом, так как из-за загрязнения торца вольфрамового электрода свариваемым металлом нарушается устойчивость горения дуги и ухудшается качество шва. В случае касания алюминий из электрода удаляют, возбуждая дугу на графитовой пластине.

Присадочную проволоку в зону дуги вводят только после образования сварочной ванны. Сварку выполняют слева направо с углом между присадочной проволокой и электродом 90°, а углом между присадочной проволокой и свариваемым металлом 15—25°. Сварку ведут при минимальной длине дуги (2—5 мм), максимальной силе тока и предельно возможной скорости. Заканчивают сварку гашением дуги методом плавного ее удлинения.

Для предохранения вольфрама и металла сварочной ванны от окисления защитный газ после обрыва дуги должен поступать еще 5—7 с. В случае продолжения сварки дугой зажигают на шве на расстоянии 15—20 мм от конца закристаллизовавшейся сварочной ванны.

При сварке на весу без подкладок трудно обеспечить равномерный провар корня шва. Чтобы предупредить провалы и вытекания металла ванны при сварке таких швов, с обратной стороны устанавливают формирующие подкладки. Перед наложением второго шва с обратной стороны при двусторонней сварке корень шва вырубляют, а при сварке сплавов алюминия его удаляют переносной механической фрезой, затем выполняют сварку второго шва. При односторонней сварке на весу без формирующей подкладки трудно создать качественное формирование шва. В этом случае металл проседает и при кристаллизации растрескивается.

Проплав с такими дефектами обычно удаляют механическим путем, однако во многих случаях к нему нет доступа или он весьма ограничен. Для получения качественных швов торцы стыка под сварку обрабатывают механическим путем с целью закругления кромок радиусом, равным половине толщины свариваемого металла.

Хорошие результаты позволяет получить вставка проволоки диаметром 2,0—3,0 мм в разделку кромок с обратной стороны стыка. При сварке труб с наружной стороны проволока такого диаметра в виде нестыкованного кольца помещается в разделку кромок внутри трубы. Подготовленные таким образом стыки сваривают в среде защитных газов плавящимся или неплавящимся электродом.

Если толщина металла превышает 10 мм, сварку производят (особенно в холодный период года) с предварительным подогревом свариваемых кромок до температуры 150—300 °С. Горелки подогрева необходимо направить на 70—100 мм по обе стороны стыка, а их пламя при перемещении горелок не должно попадать на кромки шва.

Механизированная сварка по слою флюса. При сварке алюминия по слою флюса дуга только частично закрыта флюсом, поэтому такой способ получил название сварки по слою флюса. Находит применение сварка одним и расщепленным электродом. Автоматическая сварка по флюсу одним электродом применяется для алюминия толщиной от 5 до 10 мм. При большей толщине металла сварку выполняют расщепленным электродом. В процессе сварки расщепленным электродом, благодаря образованию широкого шва, обеспечивается надежный провар обеих кромок даже при недостаточно точной

Таблица 5.8. Размеры насыпной горки флюса

Толщина металла, мм	Размеры сечения горки флюса, мм		
	ширина внизу	ширина вверху	высота
14	45—50	35—40	8—10
16	50—55	40—45	8—10
25	55—60	45—50	10—12
28	60—65	55—60	10—12
32	65—70	55—60	12—14

Таблица 5.9. Режимы автоматической сварки алюминия АД1 по слою флюса расщепленным волнообразно-изогнутым электродом

Толщина металла, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение на дуге, В	Скорость сварки, м/ч
14	600—650	40—45	20—22
16	600—650	45—50	20—22
25	750—800	50—55	16—18
28	800—850	50—55	14—16
32	850—900	50—55	14—16

сборке. Кроме того, большое тепловложение позволяет обойтись без предварительного подогрева свариваемого металла.

Флюсы, используемые для сварки алюминия и его сплавов, должны обеспечивать высокие механические и антикоррозионные свойства сварных соединений, удовлетворительное отделение шлака, отсутствие в швах пор и трещин, а также хороший внешний вид сварных швов. Кроме того, флюсы должны обладать высокой активностью и способностью очищать металл от окисной пленки, создавать дополнительную защиту сварочной ванны от окружающего воздуха, иметь небольшую плотность и плавиться при температуре, близкой к температуре плавления свариваемого металла. Наиболее полно таким требованиям удовлетворяют флюсы на основе хлористых и фтористых солей, например флюс АН-А1. Могут применяться также флюсы типа МАТИ и др. Перед сваркой флюс с заданной высотой и шириной горки (табл. 5.8) с помощью дозатора засыпают на кромки. При большей толщине флюса ухудшается формирование сварного шва и плохо отделяется шлак, а при малой — в сварных швах образуются поры.

Для повышения качества сварных швов предложена сварка по слою флюса расщепленным волнообразно-изогнутым электродом (табл. 5.9, рис. 5.6). При плавлении волнообразных электродов дуга совершает гармонические колебания, улучшая тем самым дегазацию сварочной ванны и повышая качество сварных швов.

Сварка стыковых соединений алюминия толщиной более 14 мм расщепленным электродом по слою флюса выполняется с двух сторон за два прохода без разделки кромок на флюсовой подушке. Для алюминия толщиной более 35 мм может быть применена многопроходная сварка. Но при этом требуется

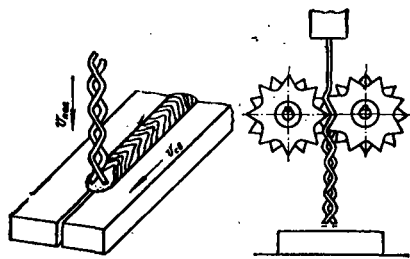


Рис. 5.6. Схема сварки волнообразно-изогнутым электродом

тщательная зачистка от шлака каждого слоя шва, связанная с большими технологическими трудностями.

Сварку кольцевых швов выполняют на роликовых стендах за два прохода с двух сторон. Вначале сваривают на флюсовой подушке внутренний шов, а затем наружный. Такая технология обеспечивает

получение внутреннего шва без прожогов и других дефектов.

Алюминий толщиной 14—32 мм сваривают проволокой диаметром 2,5 мм. Расстояние между электродами 8—12 мм, величина изгиба проволоки 6—8 мм, расстояние между двумя ближайшими изгибами 14—16 мм.

Ручная дуговая сварка покрытыми электродами. Для ручной дуговой сварки технического алюминия применяют электроды 4Ф-4аКр, А1-1Ф1 или другие с покрытием галогенидного типа, которое нанесено на прутки из электродной проволоки Св-А5. Применение таких электродов обеспечивает предел прочности металла шва 63,7—83,3 МПа и угол загиба сварного соединения 180°. Для сварки изделий из литейных алюминиевых сплавов применяют электроды ОЗА-1, ОЗА-2 или другие, изготовленные из проволоки Св-АК5 с покрытием галогенидного типа. Электроды следует хранить в плотно закрываемой таре, а перед сваркой просушивать в электрической печи при температуре 140—180 °С в течение 1,5—2,0 ч.

Сварка алюминия и его сплавов выполняется в нижнем положении на постоянном токе обратной полярности. Сила сварочного тока выбирается из расчета 30—50 А на 1 мм диаметра электрода. Свариваемый металл в зависимости от толщины предварительно подогревают до температуры 150—300 °С. Шлаковую корку смывают горячей водой и очищают металлическими щетками.

Ручная дуговая сварка штучными электродами сопровождается значительным разбрызгиванием электродного металла, большой трудоемкостью процесса и низким качеством сварных швов, что требует ее замены полуавтоматической сваркой плавящимся электродом в среде защитных газов.

Сварка алюминиевых котлов железнодорожных цистерн

Котлы цистерн для перевозки концентрированной азотной кислоты изготавливаются из алюминия АД1 (ГОСТ 4784-74). Толщина стенки котла 25 мм, толщина днища 28 мм.

Вначале производится разметка и раскрой листов, затем пакеты, состоящие из четырех листов (для изготовления одной обечайки), поступают на строгание продольных и фрезерование поперечных сторон под углом 90°.

Подготовленные таким образом листы поступают на сборку полотнищ. Для этого с помощью мостового крана и тяговых приспособлений листы выкладывают в полотнище. Кромки на расстояние 100—150 мм в обе стороны от стыка протирают растворителем и производят прихватку ручной дуговой сваркой электродами А1-1Ф1 диаметром 8 мм на постоянном токе обратной полярности. Режим сварки: $I_{св} = 400...450$ А, $U_d = 36...38$ В. Длина прихваток 100—150 мм, расстояние между ними 600—800 мм. Места прихваток зачищаются от шлака, брызг металла и налега хлористых соединений.

Собранное на прихватках полотнище тяговыми захватами перемещают на стенд для автоматической сварки и устанавливают таким образом, чтобы все три стыка располагались над флюсовыми подушками. Сварочная головка находится на перемещающемся портале, снабженном пневматическими прижимами. Вначале полотнище прижимается к флюсовой подушке, а затем электрод выставляется относительно стыка. Сварку выполняют по слою флюса АН-А1 расщепленными волнообразно-изогнутыми электродами проволоки марки Св-А5 (ГОСТ 7871—75) диаметром 2,5 мм с двух сторон за два прохода без разделки кромок на постоянном токе обратной полярности. Режим сварки: $I_{св} = 800...850$ А; $U_d = 40...45$ В; $v_{св} = 16...18$ м/ч. Толщина насыпного слоя флюса 14—16 мм, его максимальная ширина 60—70 мм, минимальная 50—60 мм. На таком же режиме свариваются все швы, выполняемые автоматической сваркой.

Заваренные с одной стороны швы зачищают от шлака, и полотнище с помощью кассетного кантователя переворачивают на 180°. Затем заваренное с одной стороны полотнище снова поступает на стенд для автоматической сварки стыка с другой стороны. Режим сварки второй стороны такой же, как и у первой стороны.

После сварки трех швов второй стороны и их тщательной зачистки от шлака и других загрязнений полотнище подают на гибочные вальцы для гибки в обечайку. Далее обечайка

поступает на стенд для прихватки и сварки продольного за-
мыкающего стыка. При сварке стык располагают внизу.
Снаружной стороны к стыку с помощью пневмоприжимов под-
водится флюсовая подушка.

Вначале выполняется автоматическая сварка внутреннего
шва на флюсовой подушке волнообразно-изогнутым электро-
дом. После сварки флюсовая подушка отводится от стыка,
а шов тщательно зачищается от шлака и других загрязнений.
Затем обечайка поворачивается кантователем на 180° и на этом
же стенде выполняется сварка расщепленным волнообразно-
изогнутым электродом продольного стыка с наружной сто-
роны.

Полотнища и наружные швы обечайки сваривают голов-
ками АБСК, а для сварки внутренних швов применяется трак-
тор ТС-32. Головки и трактор модернизированы для сварки
волнообразно-изогнутой электродной проволокой. Заваренная
обечайка поступает на калибровку, вырезку плазменной ду-
гой отверстия для люка и сварку с днищами. В связи с боль-
шим диаметром днища сваривают из двух половинок на флю-
совой подушке автоматической сваркой расщепленным волно-
образно-изогнутым электродом без разделки кромок за два
прохода с двух сторон. Днища после сварки заготовки посту-
пают на разметку, предварительную обрезку по периметру

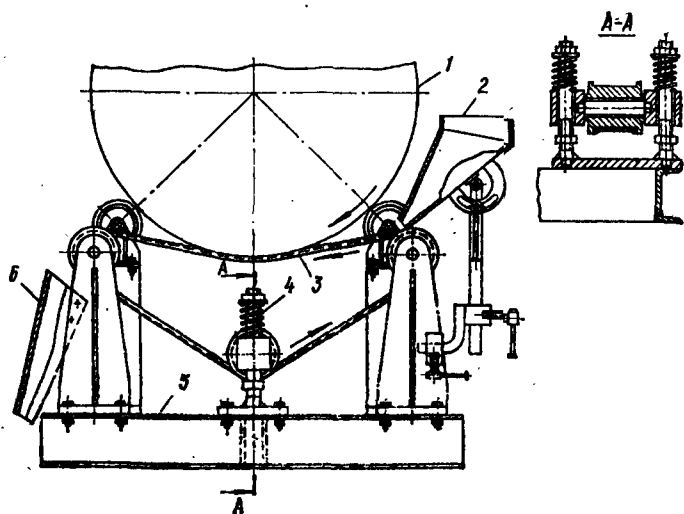


Рис. 5.7. Схема сварки кольцевых швов на флюсоремной подушке
1 — котел; 2 — бункер для флюса; 3 — флюсоремная подушка; 4 — пружина натя-
жения; 5 — основание; 6 — направляющая для флюса

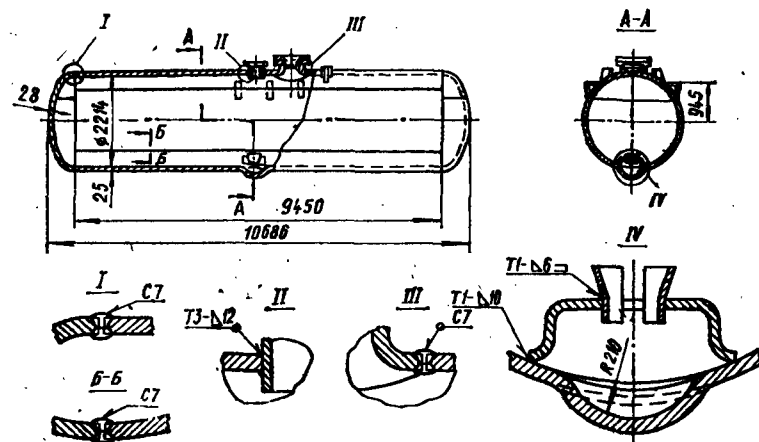


Рис. 5.8. Схема котла цистерны

на механических ножницах и штамповку. Отштампованные та-
ким образом днища при необходимости по кольцу обрезаются
плазменной дугой и обрабатываются с внутренней стороны до
толщины 25 мм на глубину 125 мм и по торцу до необходимого
размера на карусельном станке или механической переносной
головкой.

Готовые днища поступают для сборки и сварки с обеча-
йкой. С помощью захватов днища подводят к обечайке и при-
хватывают ручной дуговой сваркой. Затем через горловину
люка внутрь котла помещают трактор ТС-32 и выполняют
сварку с внутренней стороны на флюсоремной подушке
(рис. 5.7) двух кольцевых швов. В качестве флюсовой подуш-
ки служат флюс ОСЦ-45.

После сварки внутренних швов от котла отводят флюсо-
ремные подушки и сваривают два кольцевых шва с наружной
стороны головкой АБСК. Схема котла приведена на рис. 5.8.

Заваренный котел поступает на контроль сварных швов
рентген- или гамма-просвечиванием. Дефекты в случае выяв-
ления вырубает пневматическим зубилом и заваривают руч-
ной дуговой сваркой.

СВАРКА МЕДИ И ЕЕ СПЛАВОВ

Подготовка под сварку металла и электродной проволоки.
Проволоки, листы, плиты, трубы и другие полуфабрикаты
из меди и ее сплавов должны иметь сертификаты, определяю-
щие их марку и химический состав. На заводе работники ОТК

проверяют поступившие медь и ее сплавы на соответствие свойств и состава сертификатам, ГОСТам или техническим условиям.

Медные листы и плиты в процессе хранения укладывают в горизонтальное положение без провисания с прокладкой между ними алюминия меди или мягких пород дерева, исключая образование на меди вмятин и других повреждений.

В меди, предназначенной для изготовления ответственных сварных конструкций, перед запуском в производство необходимо проконтролировать содержание кислорода, которое не должно превышать 0,01 %. Кроме того, требуется определить содержание висмута и свинца с помощью химического анализа или качественной пробы. Для этого испытывают стандартные образцы на разрыв при температуре 550 °С. Если относительное удлинение составляет более 5 %, медь можно применять для изготовления сварных конструкций ответственного назначения.

Режут металл на гильотинных ножницах или плазменной дугой, а кромки под сварку разделяют механическим путем на строгальном или фрезерном станке.

Сборка под сварку. При сборке под сварку тщательно подгоняют стык по всей длине в приспособлениях, обеспечивающих надежное поджатие свариваемых кромок. Однако при этом должен быть исключен натяг, вызывающий дополнительные напряжения в металле. Смещение кромок и зазор между ними для большинства медных конструкций допускается не более 10 % толщины свариваемого металла, но не более 2 мм.

В процессе сборки прихватки производят таким образом, чтобы их высота не превышала $\frac{1}{3}$ глубины разделки или катета шва. При сварке по таким прихваткам образуется качественный сварной шов, не требующий подрубki прихваток перед сваркой. Длина прихваток должна равняться толщине свариваемого металла, а расстояние между ними не превышать $L = (15...20)\delta$ при толщине свариваемого металла до 10 мм. При сварке меди большей толщины расстояние между прихватками составляет $L_n = (6...8)\delta$. Перед прихваткой свариваемый металл предварительно подогревают. Зависимость температуры от толщины меди представлена ниже.

Толщина меди, мм	6—10	10—20	20—40	40 и более
Температура нагрева, °С	200—250	250—300	300—400	400—500

При охлаждении ниже 200 °С и повторном предварительном нагреве свариваемого изделия прихватки могут разрушиться, поэтому в перерывах между технологическими операциями изделие не должно охлаждаться ниже температуры 200—250 °С.

Прихватки выполняют ручной дуговой сваркой покрытыми электродами, ручной дуговой сваркой неплавящимся электродом в среде защитных газов или полуавтоматической сваркой плавящимся электродом в среде защитных газов. При ручной дуговой сварке прихватки выполняют электродами КОМ-1, ЭМ-1, ЭМ-2, ЭМ-3 и другими на постоянном токе обратной полярности. Силу сварочного тока выбирают по зависимости $I = (60...70)d$, где d — диаметр электрода, мм. При полуавтоматической сварке прихватки производят на постоянном токе обратной полярности проволоками МНЖКТ 5-1-0,2-0,2; БрКМц3-1, БрХ0,7 или другими диаметром 1,2—2,0 мм в зависимости от толщины свариваемого металла. В качестве защитных сред служат аргон, азот или гелий. Расход защитных газов составляет 14—16 л/мин.

Для предупреждения проплавления металла, при необходимости, с обратной стороны стыка устанавливают формирующие графитовые, магнетитовые или медные водоохлаждаемые подкладки. В зависимости от конструктивных особенностей свариваемых деталей можно применять остающиеся подкладки в виде лент, полос или проволоки.

Механизированная сварка плавящимся электродом. При сварке меди и ее сплавов основной трудностью является получение сварных швов без пор, окисных включений и трещин. Образование пор в металле шва может быть представлено зависимостью изменения растворимости водорода в меди от содержания в ней кислорода. Согласно диаграмме взаимной растворимости кислорода и водорода при снижении в металле кислорода меньше определенного значения расплавленный металл склонен к активному поглощению водорода. В этом случае в процессе сварки при высокой влажности защитных газов и окружающего дугу воздуха, повышенном содержании водорода в металле и электродной проволоке или их загрязнении органическими веществами, металл шва насыщается водородом.

Если содержание водорода в металле превышает его растворимость, в процессе кристаллизации сварочной ванны образуется перенасыщенный раствор водорода в меди, который приводит к образованию пор, а при наплавке больших толщин металла и к трещинам. На поры и трещины такого происхождения активные раскислители влияния не оказывают и не предотвращают их образование. В целях борьбы с порами и трещинами такого происхождения в активную зону дуги вводят небольшие доли кислорода.

Для получения металла шва высокого качества содержание кислорода в смеси с инертными по отношению к меди газами

должно быть достаточным для полного связывания водорода в зоне дуги и предотвращения этим попадания его в сварочную ванну, и недостаточным для образования в шве закиси меди.

В случае если водорода в меди меньше критического значения по диаграмме взаимной растворимости, медь может усваивать кислород в значительных объемах. В этом случае водород, попадающий из зоны дуги в ванну, восстанавливает закись меди. Образующиеся при этом в металле шва пары воды способствуют образованию пор и трещин. В этом случае для борьбы с кислородом в меди применяют активные раскислители: фосфор, марганец, кремний, титан, цирконий и другие активные к кислороду элементы.

Для меди характерно отсутствие внутреннего окисления и весьма интенсивное образование окислов на ее поверхности при высоких температурах. Толщина образуемых окислов тем больше, чем выше температура нагрева и больше при ней время выдержки. Поэтому нагрев меди в процессе сварки и особенно предварительный ее подогрев приводят к окислению поверхности металла с образованием закиси меди значительной толщины.

При нарушении технологии сварки расплавленный металл затекает вперед движения дуги, заплывая окислы меди на свариваемых кромках. В этом случае окислы меди остаются в шве в виде неметаллических включений. В зависимости от массы попавших в наплавленный металл окислов в швах образуются несплавления или черноты, располагающиеся между цвом и основным металлом или между отдельными валиками или слоями.

Для предотвращения образования таких дефектов процесс сварки в среде защитных газов выполняется таким образом, чтобы дуга частично горела на расплавленном металле ванны, а часть дуги располагалась на окисленной поверхности свариваемых кромок. Под воздействием температуры дуги окислы меди на свариваемых кромках диссоциируют и в сварочную ванну не попадают.

Такая технология может быть выполнена только при строгом соответствии требованиям силы тока, скорости подачи электродной проволоки, ее диаметра, скорости сварки, напряжения на дуге, наклона электрода и соблюдении других параметров режима и технологических приемов сварки.

В этом случае ручная дуговая сварка неплавящимся электродом в среде защитных газов предпочтительна слева направо, а полуавтоматическая сварка плавящимся электродом в газовой среде — справа налево. При сварке неплавящимся

электродом горелка должна располагаться для сварки углом назад на $40\text{--}45^\circ$ от металла, а присадочный металл подаваться с хвостовой части ванны под углом $30\text{--}35^\circ$ к свариваемому металлу. В процессе полуавтоматической сварки угол наклона горелки от металла при расположении углом вперед должен составлять $75\text{--}80^\circ$.

Так же располагается горелка или электрод при автоматической сварке как в среде защитных газов, так и под слоем флюса. Ввиду высокой тепло- и температуропроводности изделия из меди подвергают предварительному подогреву и повышенной погонной энергии сварки. Температура предварительного подогрева зависит от массы и химического состава свариваемого изделия, условий сварки и ее погонной энергии, выдержки между наплавленными валиками, применяемой защитной среды и других факторов [5]. В процессе сварки предварительно нагретое изделие остывает, а теплота, вводимая в процессе сварки, способствует его восстановлению до заданной температуры. Такой оптимальный вариант на практике встречается весьма редко.

При сварке изделий большой массы тепла дуги недостаточно для поддержания заданной температуры нагрева. В этом случае основной металл не смачивается наплавленным металлом и образуются несплавления шва. Если температура нагрева изделия будет выше оптимальной, расплавленный металл становится жидкотекучим и затекает вперед дуги. Это снижает глубину проплавления и образует в шве наплывы и непровары. Для поддержания заданной температуры в этом случае процесс сварки периодически прекращают, охлаждая изделие до заданной температуры. Чтобы получить сварные швы высокого качества и обеспечить необходимую производительность процесса, температура изделий при сварке не должна отличаться более чем на $\pm 50^\circ\text{C}$ от оптимального значения. Такие условия обеспечивают угол смачивания $70\text{--}90^\circ$, что позволяет получать высокое качество сварных швов (рис. 5.9).

В зависимости от конструктивных особенностей свариваемого изделия из меди технология сварки должна обеспечивать выполнение всех сварочных операций не более чем за три-четыре предварительных подогрева свариваемого изделия.

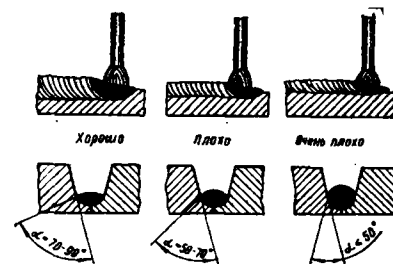


Рис. 5.9. Влияние температуры предварительного подогрева на угол смачивания при сварке меди

Если изделие остыло ниже температуры 100—150 °С, очередной предварительный подогрев его считают следующим циклом нагрева. При несоблюдении таких условий в зоне сплавления и в сварных швах возможно появление трещин, заметно снижаются также механические свойства сварных соединений.

Перед нагревом и сваркой кромки на 30—50 мм в обе стороны от стыка зачищают стальной щеткой. Для предотвращения окисления в процессе сварки и предварительного подогрева кромки после зачистки покрывают спиртовым раствором графита и переплавленной буры. Горелки подогрева должны быть направлены на 70—100 мм по обе стороны стыка, а их пламя при перемещении горелок не должно попадать на кромки.

Медь толщиной до 10 мм сваривают без разделки кромок. При толщине свариваемого металла от 10 до 25 мм производится V-образная разделка кромок, а при толщине более 25 мм — X-образная разделка кромок с притуплением 2—3 мм и углом раскрытия 60—70°.

Для металла толщиной более 20 мм кромки разделяют согласно рис. 1—IV из табл. 5.2. Основные размеры разделок приведены в табл. 5.10. Сварку начинают и заканчивают на технологических планках размером 100 × 100 мм с формой разделки и толщиной металла, соответствующей свариваемому металлу. Если предусмотрен припуск на механическую обработку в начале и конце шва, технологические планки можно не применять. При отсутствии технологических планок кратер в конце шва заваривают без перемещения горелки

Таблица 5.10. Размеры разделок кромок стыковых соединений меди и ее сплавов

Толщина металла, мм	Параметры разделок (табл. 5.2)			
	I	II	III	IV
20	$h_1 = 8 \pm 1$ $B = 12 \pm 1$ $a = 0 \pm 1$	—	—	$h_1 = 5 \pm 1$ h_2 — остальное $B = 4 \pm 1$ $a = 0 \pm 1$
25	$h_1 = 8 \pm 1$ $B = 12 \pm 1$ $a = 0 \pm 1$	$h_1 = 6 \pm 1$ h_2 — остальное $B = 12 \pm 1$ $a = 0 \pm 1$	$h_1 = 4 \pm 1$ $h_2 = 5 \pm 1$ h_3 — остальное $B = 8 \pm 1$ $a = 0 \pm 1$	$h_1 = 8 \pm 1$ h_2 — остальное $B = 4 \pm 1$ $a = 0 \pm 1$

вперед. В случае вынужденных перерывов сварки кратер ранее выполненного шва после предварительной вырубки и зачистки перекрывают на 15—30 мм. Допускается выплавка кратера дугой с последующей непрерывной его заваркой. Автоматическую и полуавтоматическую сварку меди и ее сплавов в среде защитных газов производят плавящимся электродом, а автоматическую и ручную дуговую сварку — неплавящимся электродом.

Дуговая сварка неплавящимся электродом применяется для сварки меди толщиной до 10 мм. Медь большей толщины сваривают плавящимся электродом автоматической или полуавтоматической сваркой. При автоматической сварке меди и ее сплавов плавящимся электродом для защиты дуги используют аргон, гелий или азот. Полуавтоматическая сварка применяется для сварки мелких узлов, прихватки изделий перед сваркой, приварки технологических планок и ремонта дефектных участков сварных швов.

При неизменном режиме сварки ($I_{св} = 400...450$ А, $U_d = 32...34$ В, $v_{св} = 14...16$ м/ч, температура предварительного подогрева меди 400—450 °С) примесь к аргону азота увеличивает глубину провара и массу ванны от 4 г при сварке в аргоне до 9 г при сварке в азоте. Такое изменение состава защитной среды уменьшает удельную энтальпию металла сварочной ванны от $2156 \cdot 10^{-3}$ Дж/кг при сварке в аргоне до $1960 \cdot 10^{-3}$ Дж/кг при сварке в азоте. Добавка к аргону гелия повышает массу ванны до 6 г, а удельная энтальпия ее по сравнению с защитой дуги аргоном уменьшается до $2055 \cdot 10^{-3}$ Дж/кг.

Таким образом, при неизменных параметрах режима тепловложение в металл ванны составляет (Дж) в аргоне 3684,4, в гелии 5275,4 и в азоте 7536,2. Приведенные данные показывают, что с энергетической стороны в качестве защитной среды лучше применять азот, затем гелий и аргон. В результате более высокого тепловложения в металл при сварке меди в среде азота увеличивается глубина провара, что позволяет снизить температуру предварительного подогрева свариваемых изделий и повысить эффективный КПД процесса.

Для получения сварных швов без пор и других дефектов к защитным газам добавляют небольшие доли кислорода [12]. Кислород, поступающий в зону дуги с защитным газом, расходуется на потери в окружающее пространство, на взаимодействие с водородом диссоциации влаги защитного газа и окружающего воздуха, на взаимодействие с водородом, поступающим в зону дуги с электродным и свариваемым металлом, на окисление свариваемого металла и его легирующих добавок, на образование озона и других химических соединений.

Водород, находящийся в атмосфере дуги, взаимодействует с кислородом смеси в первую очередь, а оставшийся после этого кислород затрачивается на окисление металла. Поэтому добавка кислорода, необходимая для взаимодействия с водородом в зоне дуги и устранения этим причин образования пор в металле шва, считается полезной и не должна превышать допустимых норм.

Смеси защитных газов, удовлетворяющие таким требованиям: $Ar + \text{до } 2\% O_2$; $N_2 + \text{до } 4\% O_2$; $He + \text{до } 2\% O_2$; $25 - 35\% He + \text{до } 4\% O_2 + Ar$ остальное; $25 - 35\% N_2 + \text{до } 4\% O_2 + Ar$ остальное III.

Для сварки меди применяются проволоки МНЖКТ 5-1-0,2-0,2; БрНЦрТ; БрНЦр; БрКМц 3-1; БрХ0,7 и БрХНТ. Сварка бронзы БрОЦС-5-5 выполняется проволоками БрКМц3-1 или БрАМц9-2, для сварки бронзы БрАЖ9-4 используется проволока БрАМц9-2, а бронзы БрКМц3-1 — проволока БрКМц3-1.

Автоматическая сварка плавящимся электродом в среде защитных газов производится на постоянном токе обратной полярности сварочными автоматами, снабженными горелками типа ГУ. Размер горелки выбирается в зависимости от диаметра применяемой сварочной проволоки. Сварка выполняется горелкой, наклоненной углом вперед на $10 - 15^\circ$ от вертикали, на режимах, приведенных в табл. 5.11. Расход защитных газов для сварки металла толщиной 8—16 мм составляет 20—25 л/мин, при большей толщине металла расход возрастает до 25—30 л/мин. Для надежной защиты дуги расстояние от сопла горелки до свариваемого металла должно быть 20—25 мм, а длина дуги должна быть в пределах $(1...2)d_s$.

В связи с большой жидкотекучестью расплавленной меди глубина проплавления в значительной степени зависит от угла наклона изделия. Так, при сварке на спуск металл ванны подтекает под дугу. Это уменьшает глубину проплавления, увеличивает ширину сварного шва и снижает высоту его усиления.

Таблица 5.11. Режимы автоматической сварки меди и ее сплавов плавящимся электродом в среде защитных газов

Толщина металла, мм	Диаметр электродной проволоки, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение на дуге, В	Скорость сварки, м/ч
8—10	2,5	320—360	24—26	16—22
10—16	3,0	380—450	28—30	14—18
16—22	3,0	450—550	30—34	12—16
22—28	3,0	550—600	34—36	12—16

При сварке на подъем увеличивается глубина проплавления, уменьшается ширина и возрастает высота усиления сварного шва, поэтому для увеличения глубины проплавления иногда сварку ведут на подъем с наклоном изделия на $4 - 6^\circ$.

В зависимости от конструкции изделия сварку выполняют на стендах, снабженных флюсовыми подушками, в кантователях или на манипуляторах.

Угловые и нахлесточные соединения сваривают в симметричную лодочку. В этом случае оба листа соединения (при условии их нагрева до одинаковой температуры) проплавляются на одинаковую глубину. Угловой шов, состоящий из медного и стального листов одинаковой толщины, сваривают в несимметричную лодочку, при этом изделие должно располагаться таким образом, чтобы вертикально расположенный электрод образовывал со стальным листом угол 30° . При такой технологии будет равномерное проплавление как стального, так и медного листа. Если стальной лист по толщине больше медного, применяют сварку в симметричную лодочку. Автоматическая сварка неплавящимся электродом выполняется на постоянном токе прямой полярности или переменном токе в среде аргона, азота, гелия и их смесей горелками ГН или другими, обеспечивающими достаточное качество сварных соединений.

Полуавтоматическая сварка плавящимся электродом применяется для сварки меди и ее сплавов толщиной от 2—3 мм и выше и выполняется на постоянном токе обратной полярности в среде аргона, азота, гелия и их смесей с кислородом. Режимы полуавтоматической сварки приведены в табл. 5.12.

Полуавтоматическую сварку швов длиной 500—700 мм производят без перерыва, а швы большей длины сваривают обратноступенчатым способом. Порядок сварки таврового соединения приведен на рис. 5.10, а стыкового соединения — на рис. 5.11, а, б. При сварке горелку наклоняют углом вперед на $10 - 15^\circ$ от вертикали. Расстояние от сопла горелки до свариваемого металла 20—25 мм. В процессе сварки шлак с проволокой следует располагать так, чтобы не допустить образования сгибов проволоки.

Сварка латуни связана с трудностями из-за интенсивного испарения цинка. Латунь сваривают плавящимся электродом в среде аргона или гелия проволоками БрКМц3-1 или БрАМц9-2. Латунь толщиной до 20 мм сваривают без предварительного подогрева. Сварку латуни с медью выполняют в аргоне, гелии или азоте проволоками БрКМц3-1, БрАМц9-2 или МНЖКТ 5-1-0,2-0,2.

Таблица 5.12. Режимы полуавтоматической сварки меди и ее сплавов плавящимся электродом в среде защитных газов

Марка свариваемого металла	Марка сварочной проволоки	Диаметр сварочной проволоки, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение на дуге, В
M006; M06; M16; M1y; M1ф; M1; M1p; M2p; M3p	MHЖКТ5-1-0,2-0,2; BrHЦpT	1,2 1,6 2,0	140—160 200—240 280—340	20—22 22—24 26—28
BrKMц3-1	BrKMц3-1	1,2—2,0	220—340	24—32
BrAJ9-4; BrAJMц10-3-1,5; BrAMц9-2	BrAMц9-2	1,2 1,6 2,0	220—240 260—280 280—340	26—28 28—30 30—34
BrOЦ5-5-5	BrOЦ4-3; BrOF6,5-0,15	1,2 1,6 2,0	200—220 240—260 260—280	26—28 28—30 28—32

Для сварки или заварки дефектов на бронзах, содержащих свинец, применяют порошковые проволоки сходного состава. Например, для бронзы BrOЦ6-6-3 используется проволока ПП BrOЦ6-6-3, а для бронзы BrOC10-10 — проволока ПП BrOC10-10. Оловянные бронзы, не содержащие свинца, сваривают проволокой из фосфористой бронзы, содержащей 4,5—7,5 % олова, а сварку кремнистых и алюминиевых бронз с медью — проволоками BrKMц3-1 и BrAMц9-2.

Ручная дуговая сварка неплавящимся электродом. Ручная дуговая сварка неплавящимся электродом в среде защитных газов выполняется на постоянном токе прямой полярности и переменном токе. Медь сваривать лучше постоянным током прямой полярности, а бронзы — переменным током от источников питания УДГ-301 или УДГ-501.

Для защиты дуги при сварке используют аргон, гелий, азот или их смеси. Наибольшую глубину проплавления обеспечивает в качестве защитной среды азот, затем гелий и аргон. Однако качество швов лучше при сварке в среде гелия, затем аргона и азота. Рекомендуемые режимы ручной дуговой сварки приведены в табл. 5.13.

При сварке меди неплавящимся электродом обычно используются источники питания дуги постоянного тока с крутопа-

Таблица 5.13. Режимы ручной дуговой сварки меди и ее сплавов неплавящимся электродом в среде защитных газов

Толщина металла, мм	Диаметр неплавящегося электрода, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение на дуге, В	Толщина металла, мм	Диаметр неплавящегося электрода, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение на дуге, В
2—4 4—6	2 3—4	100—200 200—280	24—28 28—32	6—8 8 и более	4—6 6	280—360 360—420	32—34 34—36
Примечание. Расход защитных газов 14—16 л/мин.							

дающей внешней характеристикой. Возможно применение источников питания дуги с пологопадающей внешней характеристикой. В качестве присадки при сварке оловянных бронз служит проволока BrKMц3-1 или прутки состава, %: Sn = 7,5...8,0; Si = 0,55...0,60; Fe = 0,12...0,15; P = 0,20...0,25 и Cu = 91. Такие бронзы сваривают с предварительным подогревом до температуры 250—300 °С.

Токоподводы мощных

энергетических установок работают в тяжелых условиях, воспринимая значительные динамические и токовые нагрузки. Поэтому соединения токоподводов с медными шинами должны быть надежными и не оказывать значительного сопротивления электрическому току. Изготавливают токоподводы в виде медной фольги и подключают к шинам с помощью болтов и медных накладок. Такие соединения требуют большого расхода металла, а в процессе эксплуатации их необходимо периодически разбирать

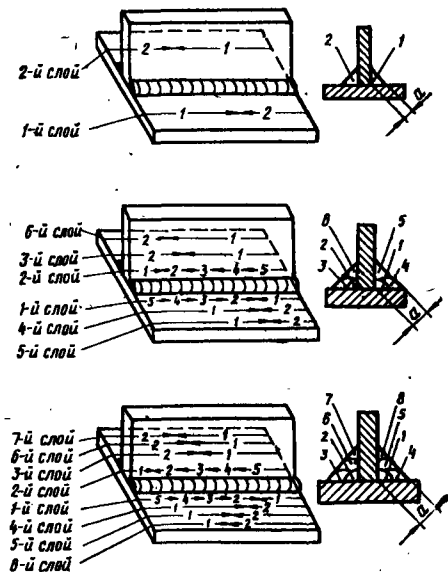


Рис. 5.10. Порядок сварки таврового соединения

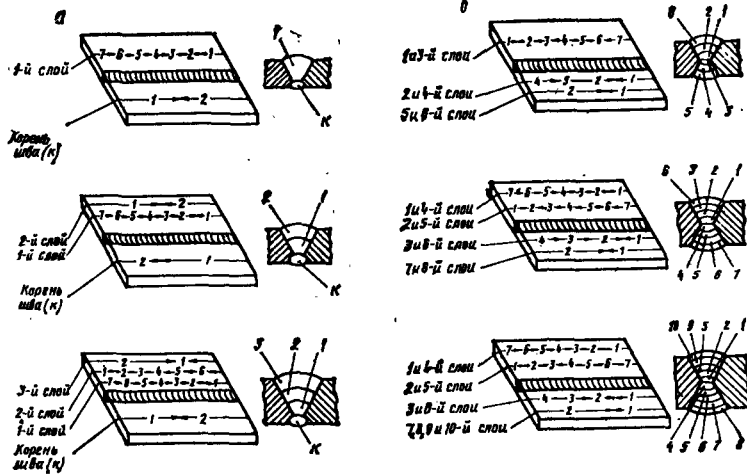


Рис. 5.11. Порядок сварки стыкового соединения
а — одностороннего; б — двустороннего

для удаления окисной пленки. Это снижает надежность работы оборудования и требует значительных затрат труда и средств.

Соединения высокой надежности могут быть получены с помощью сварки. Перед сваркой кромки на медном листе обрабатывают под углом 30—35° с притуплением 1 мм. Медную фольгу укладывают в пакет и надежно закрепляют таким образом, чтобы свариваемая кромка также имела угол 30—35°. Затем на кромку пакета фольги наплавляют слой меди толщиной 4—5 мм (рис. 5.12).

Подготовленные таким образом медный лист и пакет фольги с оплавленной кромкой укладывают в приспособление так, чтобы общий угол разделки составлял 60—70°. Перед

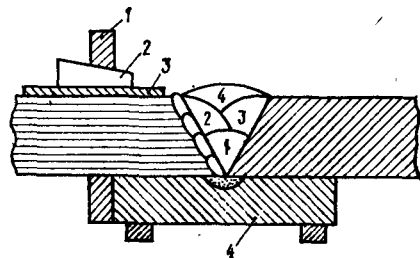


Рис. 5.12. Схема сварки меди с медной фольгой:
1 — скоба; 2 — стальной клин; 3 — стальная накладка; 4 — стальная формирующая подкладка

сваркой стыки подогревают газовыми горелками до температуры согласно [5]. Применяется ручная дуговая сварка неплавящимся электродом в среде азота, аргона, гелия или их смесей на постоянном токе 400—450 А прямой полярности. Диаметр электрода 6 мм. Расход защитных газов 14—16 л/мин. Присадочный металл — проволока М1 диаметром 3 мм.

Контролируют сварные соединения рентгенопросвечиванием стыка и механическими испытаниями контрольных образцов. Предел прочности таких соединений 0,85—0,90 прочности листовой меди, а разрыв происходит по фольге в зоне термического влияния.

Сварка конических кристаллизаторов

Кристаллизатор — одна из главных сменных рабочих частей печи электрошлакового переплава, в котором происходит плавление электродного металла, принудительное охлаждение, кристаллизация расплавленного металла и формирование слитка. В связи с высокой тепловой мощностью в период технологического процесса кристаллизатор работает в тяжелых условиях и поэтому должен быть высоко надежным в эксплуатации.

Форма кристаллизатора определяет форму получаемых слитков. В зависимости от сортамента требующихся слитков печи электрошлакового переплава и особенно литья обеспечиваются набором кристаллизаторов необходимой формы. Кристаллизаторы делятся в основном на кристаллизаторы-изложницы, скользящие кристаллизаторы и комбинированные. Кристаллизаторы-изложницы по сравнению с кристаллизаторами скользящего типа характеризуются отсутствием относительного перемещения кристаллизатора и слитка в процессе плавки и применяются наиболее широко. В комбинированных кристаллизаторах одна часть в процессе плавки является неподвижной относительно слитка, а другая — подвижной.

На рис. 5.13 показан конический кристаллизатор, предназначенный для выплавки слитков массой до 7 т методом электрошлакового переплава. Кристаллизатор изготовлен из меди М1 (ГОСТ 859—78) методом автоматической и полуавтоматической сварки плавящимся электродом в среде аргона и азота с кислородом.

Металл для изготовления двух фланцев и гильзы кристаллизатора подвергается холодной правке на пятивалковых листопрямильных вальцах. Затем из плит толщиной 45 и 60 мм на карусельном станке вырезают верхний и нижний фланцы, механическим путем выполняют на них двустороннюю разделку кромок под углом 60° и притуплением 5 мм, а также сверловку отверстий. На фланце большей толщины разделку смешают в одну сторону на 2,5 мм.

Гильза кристаллизатора состоит из двух сваренных между собой листов толщиной 24 мм. Листы, идущие на изготовление

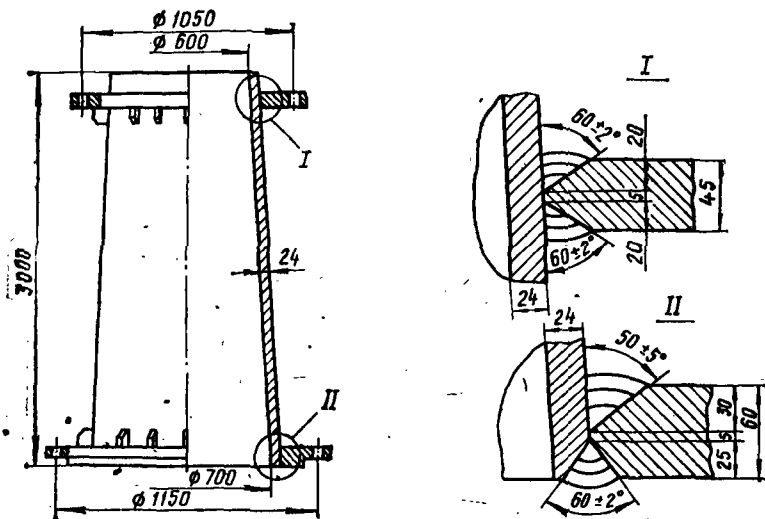


Рис. 5.13. Конический кристаллизатор

гильзы, обрабатывают по периметру на продольно-строгальных станках, и на листе большей длины производится скобление кромок под углом $(30 \pm 2)^\circ$ с притуплением (3 ± 1) мм. Затем листы сваривают в полотнища. Для уменьшения циклов нагрева и предотвращения этим ухудшения механических свойств свариваемого металла применяется односторонняя сварка полотнищ.

Перед сваркой листы укладывают на стенд, снабженный графитовой формирующей подкладкой, подогревают газовыми горелками из расчета поддержания температуры стыка в пределах $350\text{--}400^\circ\text{C}$. Потом выполняют сквозной провар с обратным формированием корня шва. Провар корня шва производится от края стыка обратноступенчатым способом с длиной ступени $200\text{--}250$ мм. Сварку каждой ступени ведут в направлении, обратном общему направлению, с использованием незначительных добавок присадочного металла в среде аргона, на постоянном токе обратной полярности. Режим сварки: $I_{\text{св}} = 400\text{--}450$ А, $U_{\text{д}} = 30\text{--}34$ В, $d_s = 6$ мм, расход аргона $14\text{--}16$ л/мин.

После провара корня шва производится автоматическая сварка стыка за два прохода плавящимся электродом МНЖКТ 5-1-0,2-0,2 (ГОСТ 16130—72) диаметром 3 мм в среде аргона с добавкой 2—4 % кислорода на постоянном

токе обратной полярности. Режим сварки: $I_{\text{св}} = 400\text{--}450$ А, $U_{\text{д}} = 32\text{--}34$ В, $v_{\text{св}} = 12\text{--}16$ м/ч, расход защитной среды $25\text{--}30$ л/мин.

По окончании сварки стыка заготовка гильзы кристаллизатора поступает на подгибку кромок и вальцовку обечайки. Готовую обечайку, стягивают тремя хомутами, расположенными равномерно по ее длине, и фиксируют прихватками. Длина прихваток $100\text{--}120$ мм, расстояние между ними $350\text{--}400$ мм. Высота прихваток не превышает $\frac{2}{3}$ глубины разделки. После предварительного контроля размеров обечайку устанавливают на стенд, подогревают место сварки до температуры $350\text{--}400^\circ\text{C}$, подваривают корень шва и сваривают за два прохода стык с наружной стороны по технологии сварки шва полотнища. Заваренная обечайка поступает на калибровку и контроль качества сварных швов методом рентгенопросвечивания.

Далее гильзу кристаллизатора устанавливают на стенд вертикально большим диаметром вниз для приварки кольцевых фланцев. На нижнем фланце большего диаметра равномерно по окружности устанавливают 12 упоров, прогревают места сварки верхнего и нижнего фланцев с обечайкой до температуры $450\text{--}500^\circ\text{C}$. Затем выполняют прихватку двух фланцев и нижних упоров и многопроходную полуавтоматическую сварку кольцевых швов плавящимся электродом из проволоки МНЖКТ 5-1-0,2-0,2 в смеси аргона с добавкой 2—4 % кислорода. Сварку осуществляли два сварщика одновременно обратноступенчатым способом (длина ступени $150\text{--}200$ мм) до полного заполнения разделки. Режим сварки: $I_{\text{св}} = 320\text{--}360$ А, $U_{\text{д}} = 30\text{--}34$ В, $d_s = 2$ мм, расход смеси $14\text{--}16$ л/мин.

Сварщики располагаются таким образом, чтобы один из них сваривал кольцевой шов верхнего фланца, а второй — шов нижнего фланца. После сварки фланцев сваривают швы двух нижних угловых упоров, расположенных на нижнем фланце. Затем гильзу переворачивают на 180° , укладывают равномерно по большому периметру на внутреннюю сторону фланца 12 упоров, производят их прихватку и полуавтоматическую сварку двух угловых швов в нижнем положении. Сварку выполняют электродной проволокой МНЖКТ 5-1-0,2-0,2 диаметром 2 мм в среде аргона с добавкой 2—4 % кислорода на постоянном токе обратной полярности. Режим сварки: $I_{\text{св}} = 320\text{--}360$ А, $U_{\text{д}} = 30\text{--}34$ В, расход смеси $14\text{--}16$ л/мин.

После сварки нижних швов упоров гильзу кристаллизатора устанавливают на роликоопору и выполняют сварку в нижнем положении двух оставшихся угловых швов каждого упора. Температура в местах сварки поддерживается в задан-

ных пределах с помощью двух горелок, работающих на природном газе.

Сваренный кристаллизатор подвергают окончательному контролю и монтируют с корпусом.

Сварка кристаллизаторов для выплавки заготовок коленчатых валов

Такие кристаллизаторы изготавливаются цилиндрические и конические длиной от 250 до 1250 мм внутренним диаметром от 100 до 350 мм (рис. 5.14). При изготовлении кристаллизатора вначале производят раскрой медного листа для двух фланцев и двух обечаек, а также разметку чертилкой и легким накерниванием. Из размеченных листов на ножницах и ручной плазменной резкой вырезают заготовки для обечаек и фланцев. Заготовки под обечайки обрабатываются на строгальном станке по периметру до заданного размера с точностью $\pm 0,2$ мм и поступают на гибку. Заготовку для большего фланца обрабатывают на токарном станке окончательно только по внутреннему диаметру и предварительно с допуском $+2$ мм на остальных размерах. Заготовку для меньшего фланца обрабатывают окончательно с точностью $\pm 0,2$ мм. После гибки на торцах обечаек механическим путем выполняют фаски заданной формы.

Подготовленные таким образом детали кристаллизатора в необходимой последовательности собирают с помощью кон-

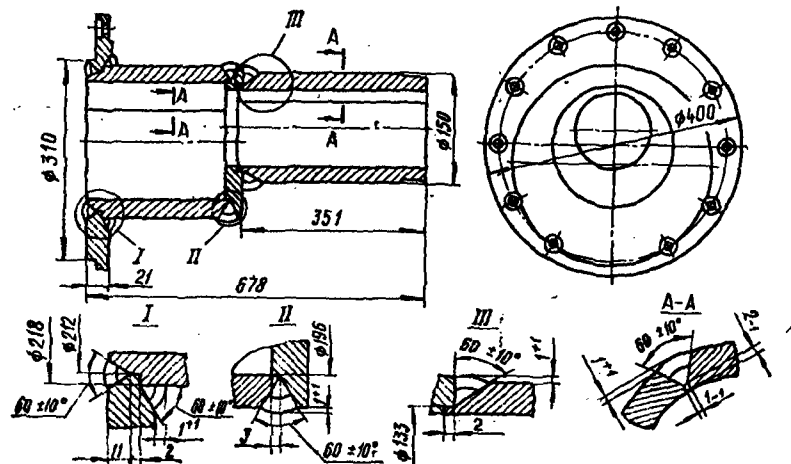


Рис. 5.14. Кристаллизатор для выплавки заготовок коленчатых валов

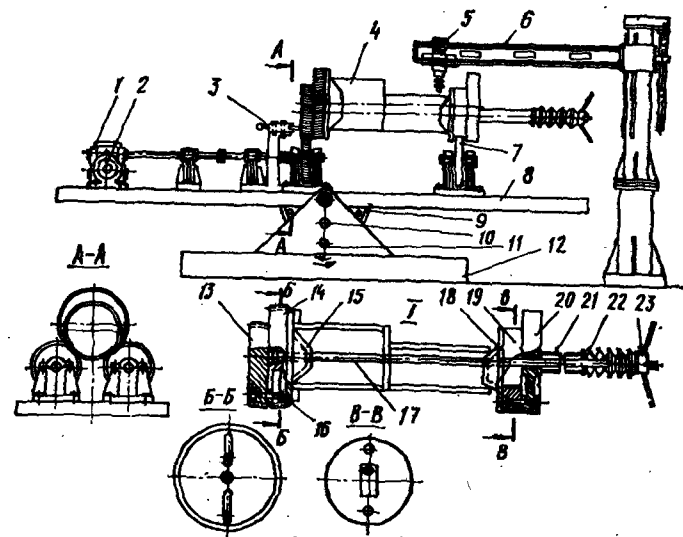


Рис. 5.15. Стенд для автоматической сварки кристаллизаторов

дуктора 1 и тяги 17 (рис. 5.15). Кондуктор снабжен направляющими конусами 15 и 18 и сжимается рукояткой 23 с помощью удлинителя (трубы) 21 и тарельчатых пружин 22. Центровка кристаллизатора выполняется смещением шестерни 13 и колеса 19, болтами 16 на необходимую величину. Затем кондуктор вместе с собранным кристаллизатором крапом устанавливают в кантователь, закрепленный на плите 8, и предварительно подогревают его газовыми горелками до температуры 350—400 °С.

Вначале сваривают два продольных шва обечаек головкой АБСК 5, расположенной на консоли 6 и снабженной горелкой ГУ-3, затем выполняют кольцевые швы. Сварку производят на постоянном токе обратной полярности в смеси аргона с добавкой 2—4 % кислорода проволокой диаметром 3 мм марки МНЖКТ 5-1-0,2-0,2. Режим сварки: $I_{св} = 400...450$ А, $U_d = 32...36$ В, $v_{св} = 12...16$ м/ч, расход смеси газов 25—30 л/мин.

Источником питания служит выпрямитель ВДУ-504. Вращение кондуктора с кристаллизатором 4 производится через редуктор 1 электродвигателем 2 с помощью зубчатых приводных и не приводных роликов 7.

Сварку кольцевого шва большей обечайки с меньшим фланцем производят при горизонтальном расположении кристаллизатора. В этом случае кондуктор устанавливают на зубчатых

колесах 14 и гладких роликах 20. Затем рукояткой 11 кантователь относительно станины 12 разворачивают для сварки в лодочку с помощью зубчатой передачи 9 и фиксируют упором 10. В таком положении сваривают угловой шов большей обечайки с большим фланцем.

Для сварки кольцевого углового смещенного шва меньшей обечайки с меньшим фланцем кондуктор с кристаллизатором с помощью крана устанавливают на другую систему зубчатых колес 13 и гладких роликов 19. Для предотвращения смещения при сварке в лодочку кондуктор с кристаллизатором фиксируется в заданном положении упором 3, снабженным вращающимся роликом. После сварки всех швов кристаллизатор вместе с кондуктором краном снимают с кантователя, а на его место для сварки устанавливают новый вращающийся кондуктор с кристаллизатором.

Остывший кондуктор с заваренным кристаллизатором разбирают, и кристаллизатор поступает для полуавтоматической сварки в лодочку кругового шва большого фланца с большей обечайкой. Сварку выполняют в нижнем положении на постоянном токе обратной полярности проволокой МНЖКТ 5-1-0,2-0,2 диаметром 2 мм в смеси аргона с добавкой 2—4 % кислорода. Режим сварки: $I_{св} = 320...380$ А, $U_d = 30...34$ В, $Q_r = 14...16$ л/мин. Длина прихваток 20—40 мм, расстояние между ними 100—150 мм.

В заваренном кристаллизаторе окончательно обрабатывают до заданного размера большой фланец, затем выполняют проточку на меньшей обечайке и производят сверловку отверстий в большем фланце. Готовый кристаллизатор контролируют внешним осмотром, подвергают цветной дефектоскопии и гидравлическим испытаниям, после чего он поступает на окончательную сборку.

Сварка панельных кристаллизаторов

Панельные кристаллизаторы состоят из четырех или шести сборных панелей толщиной 80 мм. Внутри панелей для подачи охлаждающей воды на длину 1100 мм просверлены сквозные отверстия диаметром 30 мм, которые с одной стороны завариваются вставной пластиной. По бокам с двух сторон к панелям приваривают медные короба (внутренний размер 180 × 180 мм, толщина стенки 20 мм). Края коробов заваривают заглушками с патрубками из нержавеющей стали, снабженными фланцами, через которые в короба поступает охлаждающая вода.

Короба, состоящие из трех отдельных листов меди М1р толщиной 20 мм (рис. 5.16), собирают в приспособлении с помощью прихваток. Перед прихваткой элементы короба в сборе

подогревают газовыми горелками до температуры 350—400 °С. Прихватки выполняют на постоянном токе обратной полярности полуавтоматической сваркой проволокой МНЖКТ 5-1-0,2-0,2 диаметром 2 мм в аргоне. Режим сварки: $I_{св} = 320...380$ А, $U_d = 30...34$ В, $Q_r = 14...16$ л/мин. Длина прихваток 20—40 мм, расстояние между ними 100—150 мм.

Для автоматической сварки панель 7 кристаллизатора и собранные на прихватках короба устанавливают в горизонтальном положении на основание 6 стэнда (рис. 5.17). Панель и короба подогревают газовыми горелками до температуры 350—400 °С и прихватывают полуавтоматической сваркой. После прихватки, в случае охлаждения, панель и короба дополнительно подогревают до заданной температуры и выполняют автоматическую сварку головкой АБСК 4, снабженной горелкой ГУ-3, четырех продольных швов коробов и четырех швов, соединяющих короба с панелью. Сварка производится на постоянном токе обратной полярности в среде аргона про-

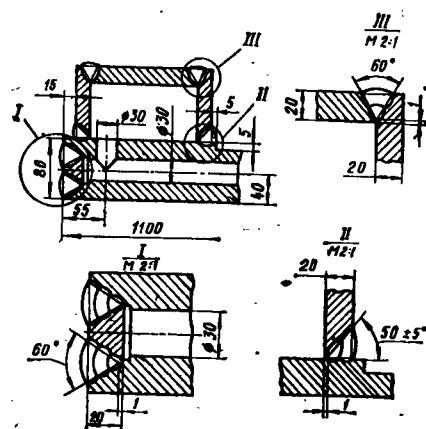


Рис. 5.16. Сварные соединения панельного кристаллизатора:
I — соединение планки с торцом плиты;
II — соединение плиты со стенкой короба;
III — соединение элементов короба

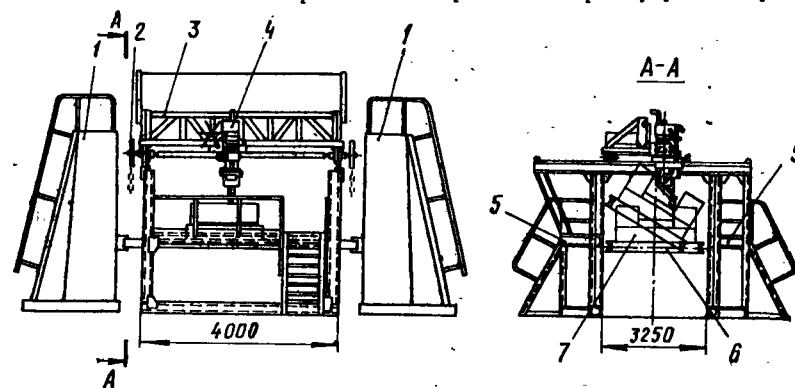


Рис. 5.17. Стенд для автоматической сварки панельных кристаллизаторов

волокой МНЖКТ 5-1-0,2-0,2 диаметром 3 мм. Режим сварки: $I_{св} = 400...460$ А, $U_d = 32...36$ В, $u_{св} = 14...18$ м/ч, $Q_r = 25...30$ л/мин.

После сварки панелей производят заглушку коробов. Для этого короба с двух противоположных краев заваривают медными планками размером 180×180 мм, толщиной 20 мм, в которые предварительно вварены штуцера из нержавеющей труб диаметром 80 мм с приваренными к ним нержавеющими фланцами. Полуавтоматическая сварка выполняется на постоянном токе обратной полярности электродной проволокой МНЖКТ 5-1-0,2-0,2 диаметром 2 мм в аргоне. Режим сварки: $I_{св} = 320...340$ А, $U_d = 30...32$ В, $Q_r = 14...16$ л/мин.

Сварные швы готовых панелей кристаллизаторов контролируют внешним осмотром, а затем подвергают цветной дефектоскопии и гидравлическим испытаниям. При удовлетворительном качестве сварных швов панели поступают на сборку кристаллизатора.

Панели кристаллизаторов вместо широко применяемых медных могут быть изготовлены также биметаллическими (сталь—медь) путем наплавки медного сплава на стальную основу. В этом случае на стальную плиту необходимой толщины наплавляют слой меди или бронзы БрХ0,7. Лучшие результаты позволяют получить наплавленный металл, химический состав которого приведен в табл. 5.14.

Наплавленный на стальную плиту медный сплав обрабатывают обычно на строгальном станке до получения слоя необходимой толщины. С обратной стороны на стальной плите механическим путем вырезаются полуцилиндрические водоохлаждающие каналы. Затем их накрывают накладками и заваривают. Шаг между каналами может быть приближенно

Таблица 5.14. Химический состав медных сплавов для панелей кристаллизаторов

Составы сплавов	Химический состав, %				
	Al	Mn	Si	Cr	N
1	5—7	1—1,5	0,6—0,8	0,5—1,2	—
2	6—8	1—1,6	0,6—1,0	0,8—1,4	0,7—1,5
3	7—9	1,5—2,5	1,8—2,7	—	0,8—1,7
4	6—9	1,3—1,7	1,8—2,3	0,8—1,5	0,6—1,8

Примечания. 1. В сплав состава 4 вводится также 0,2—0,8 % титана.
2. В сплавы всех составов обязательна добавка меди (остальное).

установлен по зависимости: $A_c = A_m k$. Здесь A_c — шаг между каналами на стальной плите, мм; A_m — шаг между каналами на такой же медной плите, мм; $k = c_m S_c b / (c_s S_m \delta)$, где c_m и c_s — теплоемкость меди и стали, Дж/(кг · К); S_m и S_c — площади поперечного сечения канала соответственно в медной и в стальной плите, мм²; b — толщина наплавленного медного сплава, мм; δ — общая толщина биметаллической плиты, мм.

Для придания повышенной износостойкости на стальную плиту или наплавленный медный сплав наплавляют также точками композитным сплавом, содержащим тугоплавкие элементы или их карбиды с последующим заполнением пространства между ними согласно табл. 5.14.

Сварка бронзовых втулок большого диаметра

При ремонте прессов большой мощности возникает необходимость в изготовлении втулок из бронзы БрАЖ9-4 с внутренним диаметром 1340 мм, толщиной стенки 35 мм, длиной 2570 мм. В целях экономии бронзы втулки изготовили из двух частей необходимой длины с последующей их сваркой кольцевым швом. Для этого отлили и предварительно механически обработали две полуvtулки с внешней разделкой одной кромки на каждой полуvtулке под углом 30° и притуплением 3 мм. Учитывая, что втулки работают в весьма тяжелых условиях, сварные швы должны быть высокого качества, без пор, трещин и других дефектов.

Собирали втулки в вертикальном положении путем установки верхней части на нижнюю. На нижней части втулки с наружной стороны были приварены по периметру три центрирующие планки через 120°, которые с достаточной точностью фиксировали верхнюю часть втулки.

Восемь прихваток кольцевого шва длиной по 100 мм производили с внутренней стороны стыка (без предварительного подогрева втулки) полуавтоматической сваркой в аргоне плавящимся электродом (проволока БрАМц9-2 диаметром 2 мм) на постоянном токе обратной полярности от выпрямителя ВДУ-504 полуавтоматом А-537. Режим сварки: $I_{св} = 250...300$ А, $U_d = 28...30$ В, $Q_r = 14...16$ л/мин.

Собранную с помощью прихваток втулку устанавливали горизонтально на роликоопору, размечали на участке длиной $\pi D : 8$ (D — наружный диаметр втулки, мм) и сваривали. Перед сваркой втулку подогревали газовыми горелками до температуры $(250 \pm 50)^\circ\text{C}$. Температуру предварительного подогрева контролировали термощупом.

После нагрева образовавшиеся на 100 мм в обе стороны от стыка окислы удаляли стальной механической вращающейся щеткой. Для удаления окислов и других загрязнений проволоку перед сваркой обрабатывали травлением в ванне состава, г/л: азотная концентрированная кислота — 250, серная концентрированная кислота — 700, соляная концентрированная кислота — 40. Температура раствора 18—25 °С. Травили в течение 2—3 мин. Затем проволоку промывали в проточной воде и сушили на открытом воздухе при температуре 20—25 °С.

Первым сваривали в пять слоев наружный кольцевой шов проволокой БрАмц9-2 диаметром 2 мм в среде аргона полуавтоматом А-537 на постоянном токе обратной полярности. Режим сварки: $I_{св} = 350...400$ А, $U_d = 32...34$ В, $v_{св} = 12...14$ м/ч, $Q_r = 14...16$ л/мин.

После сварки наружного шва прихватки срубывали пневматическим зубилом, выплавляли корень шва ручной дуговой сваркой неплавящимся электродом в среде аргона на постоянном токе прямой полярности ($I_{св} = 400...450$ А), более тщательно зачищали корень шва механической фрезой с радиусом закругления 5 мм. Питание дуги от выпрямителя ВДУ-504.

Подготовленные таким образом швы заваривали в два прохода полуавтоматической сваркой плавящимся электродом в среде аргона на том же режиме, что и наружный шов. На режиме сварки втулки заваривали контрольную планку и определяли механические свойства основного металла, металла шва и сварного соединения.

Контролировали швы внешним осмотром и 100 %-ным рентгенопросвечиванием.

Сварка трубопроводов

При изготовлении изделий из цветных металлов приходится выполнять большой объем работы по сварке трубопроводов. Сваривают трубопроводы в колено под углом 90°, сбоку под углом, равным 90° и не равным 90°. Разметка, обрезка концов и вырезка отверстий в трубах под такие соединения весьма трудоемкая операция.

Чтобы облегчить процесс разметки под вырезку отверстий или обрезку торцов труб, применяют специальные приспособления. В этом случае трубу в месте разметки покрывают водным меловым раствором и после его высыхания на трубу устанавливают разметочное приспособление. При расположении труб под углом 90° используют приспособление (рис. 5.18),

которое с помощью упора 1 устанавливают на трубу. Затем кольцом, расположенным на вертикальной штанге 4 и снабженным зажимным винтом 2, подбирают необходимую высоту штанги в чертилке 7. После этого с помощью зажима 3 перемещением направляющей 5 устанавливают заданный радиус, освобождают зажим 6 и вращением направляющей 5 вокруг штанги 4 на 360° чертилкой размечают необходимое отверстие.

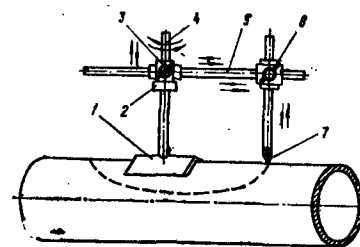


Рис. 5.18. Приспособление для разметки труб, расположенных под углом 90°

При сварке труб под прямым или непрямым углом разметку выполняют с помощью приспособления, изображенного на рис. 5.19. Для этого приспособление помещают в трубе и закрепляют упорами 1 вращением рукоятки 11, расположенной и закрепленной зажимом 7 в горизонтальном положении. Затем зажимами 5 и 7 рукоятку 11 смещают по шкале 6 на заданный угол.

В зависимости от диаметра трубы штанги 2 и 9 с помощью зажимов 8 и 10 выдвигают на необходимую величину. После этого освобождают зажим 4 и вращением штанги 9 на 360° вокруг рукоятки 11 производят разметку чертилкой 3.

При разметке труб под наклонные угловые соединения служит приспособление (рис. 5.20). Его упором 1 помещают на

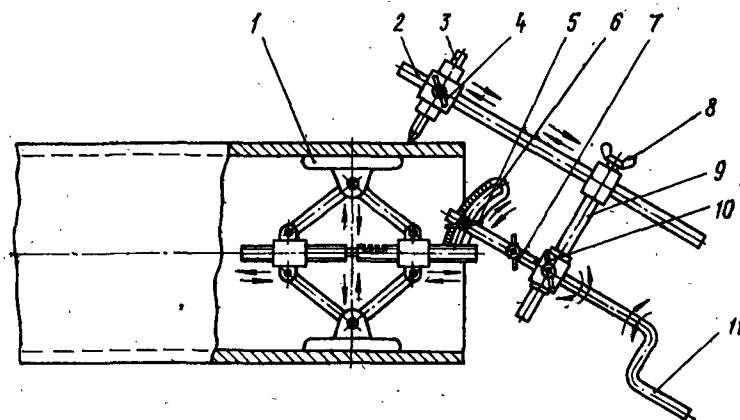


Рис. 5.19. Приспособление для разметки труб, расположенных под заданным углом

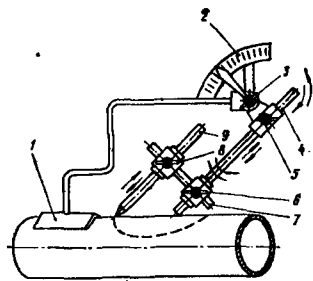


Рис. 5.20. Приспособление для разметки труб под наклонные угловые соединения

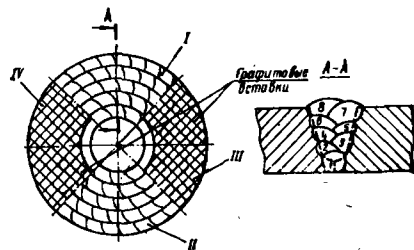


Рис. 5.21. Порядок сварки толстостенных труб

поверхность трубы, а по шкале 2 с помощью зажима 3 устанавливают необходимый угол, равный углу наклона трубы, под которую выполняется разметка. Затем штангу 4, ослабляя зажим 5, опускают в нижнее положение, а чертилку 9, расположенную на штанге 7, с помощью зажимов 6 и 8 выдвигают на величину, равную радиусу привариваемой трубы. Разметку выполняют вращением чертилки 9 на 360° вокруг штанги 4.

При сварке медных толстостенных труб, особенно малых диаметров, основной трудностью является удержание металла сварочной ванны и обеспечение удовлетворительного формирования сварного шва. Поэтому производственным объединением «Ждановтяжмаш» для сварки медных труб с наружным диаметром 220 мм и внутренним 80 мм разработана специальная технология.

Предварительно механическим путем производят рюмкообразную подготовку кромок. По форме разделки изготавливают два графитовых сектора, устанавливают их в разделку и закрепляют струбциной (рис. 5.21). Собранный таким образом стык подогревают до температуры 400°C и выполняют сварку I, а затем II сектора. Заполняют разделку электродной проволокой МНЖКТ 5-1-0,2-0,2 диаметром 2 мм полуавтоматической сваркой в среде аргона, плавящимся электродом на постоянном токе обратной полярности. Режим сварки: $I_{\text{св}} = 320 \dots 360 \text{ А}$, $U_{\text{д}} = 32 \dots 34 \text{ В}$, $Q_{\text{г}} = 14 \dots 16 \text{ л/мин}$. Последовательность наложения валиков показана на рис. 5.21 в сечении А—А.

После сварки I и II секторов графитовые вставки удаляют и сваривают III и IV сектора. Каждый сварной шов перед наложением очередного валика тщательно зачищают щеткой

до металлического блеска. Заваренный стык подвергают тщательному контролю внешним осмотром и гидравлическими испытаниями.

Механизированная сварка под слоем флюса. При сварке меди используют плавные и керамические флюсы. Предпочтение отдается керамическим флюсам, так как они активно влияют на металлургические процессы и обеспечивают высокое качество сварных швов. Однако значительная трудоемкость изготовления керамических флюсов, зависимость химического состава металла шва от режима сварки и отсутствие возможности автоматизации процесса затрудняют широкое их применение в промышленности. Из плавных флюсов используют АН-20, АН-26 и т. д., из керамических — К-13, ЖН-1, КМ-1 и др.

Сварку меди и ее сплавов выполняют на постоянном токе обратной полярности на режимах, приведенных в табл. 5.15.

Металл толщиной 16—18 мм и более сваривают расщепленным электродом. Расстояние между электродами для толщины металла 18 мм составляет 10—12 мм, для толщины 24 мм — 16—18 мм и для толщины 28 мм — 20—22 мм.

Для сварки бронзы БрАЖ9-4 или БрАМц9-2 применяется флюс АН-60 с добавкой 17 % мрамора. Сварку выполняют на постоянном токе обратной полярности проволокой БрАМц9-2. Режим сварки: $I_{\text{св}} = 300 \dots 350 \text{ А}$, $U_{\text{д}} = 32 \dots 36 \text{ В}$, $v_{\text{св}} = 20 \dots 26 \text{ м/ч}$, $d_{\text{э}} = 3 \text{ мм}$.

При сварке кольцевых швов цилиндрических изделий малых диаметров применяются флюсоудерживающие приспособления.

Ручная дуговая сварка покрытыми электродами. Ручная дуговая сварка выполняется на постоянном токе обратной

Таблица 5.15. Режимы автоматической сварки меди и ее сплавов под слоем флюса

Толщина металла	Диаметр электродной проволоки	Сила сварочного тока, А	Напряжение на дуге, В	Скорость сварки, м/ч
мм				
8	4,0	600—620	40—42	30—35
12	4—5	700—720	42—44	18—20
16	4—5	800—820	42—44	14—16
20	4,0	1000—1100	44—46	10—12
24	4,0	1150—1200	46—48	8—10
28	4,0	1500—1600	46—48	6—8

полярности электродами КОМ-1, ЭМ-1, ЭМ-2, ЭМ-3 и другими диаметром 3—6 мм, короткой дугой без колебаний конца электрода. Силу сварочного тока выбирают по зависимости $I_{св} = (50...70)d_{э}$. Перед сваркой изделие предварительно подогревают до температуры, приведенной в работе [5], и поддерживают ее с отклонением от оптимального значения в процессе сварки не более чем на $\pm 50^\circ\text{C}$.

Механические свойства металла шва и сварного соединения, выполненных электродами ЭМ-1, ЭМ-2 и ЭМ-3: $\sigma_b = 200...240\text{ МПа}$, $\delta = 42...48\%$, угол загиба соединения 180° .

СВАРКА НИКЕЛЯ, МАГНИЯ, СВИНЦА И ИХ СПЛАВОВ

Сварка никеля и его сплавов. Сварка никеля толщиной до 5 мм осуществляется без разделки кромок. При толщине никеля от 6 до 12 мм применяется V-образная разделка кромок, а при толщине более 12 мм — X-образная разделка кромок с углом раскрытия $60\text{--}70^\circ$ и притуплением 2—4 мм в зависимости от толщины свариваемого металла.

Кромки подготавливают на строгальных или фрезерных станках. Зазоры в собранном под сварку стыке не должны превышать 1,0—1,5 мм. Перед сваркой кромки на 20—30 мм по обе стороны стыка зачищают до металлического блеска и обезжиривают ацетоном или авиационным бензином.

Из-за высокого электрического сопротивления проволок из никеля, и особенно его сплавов, вылет электродной проволоки при автоматической и полуавтоматической сварке следует уменьшать в 1,5—2,0 раза по сравнению с вылетом электрода при сварке сталей.

Чтобы предупредить образование пор по линии сплавления, рекомендуется перед сваркой предварительно подогревать металл до температуры $250\text{--}300^\circ\text{C}$, а чтобы снизить сварочные напряжения и повысить механические свойства, после сварки изделия подогревают до температуры $250\text{--}300^\circ\text{C}$ с последующим охлаждением на воздухе.

Автоматическая и полуавтоматическая сварка никеля и его сплавов плавящимся электродом в среде защитных газов производится на постоянном токе обратной полярности и применяется для сварки металла толщиной более 5—8 мм. В качестве защитных сред служат аргон высшего сорта, гелий особой или высокой чистоты и их смеси. Повысить качество сварных швов можно введением в аргон до 20 % водорода. Однако использование водорода по условиям техники безопасности во многих случаях значительно затруднено.

Таблица 5.16. Режимы сварки никеля и его сплавов плавящимся электродом в среде защитных газов

Толщина металла, мм	Диаметр электродной проволоки, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение на дуге, В	Скорость сварки, м/ч
6	2	300—340	24—26	—
10	3	360—400	26—28	20—22
14	3	420—460	28—30	18—20
18	3	480—500	30—34	17—19
22	4	480—500	30—34	16—18

Сварка выполняется стандартными автоматами или полуавтоматами с горелкой, наклоненной углом вперед на $10\text{--}15^\circ$ от вертикали, проволоками Н1, НП1, НП2, НМц2,5 или др. Для предупреждения образования пор в шве рекомендуется сварочная проволока, легированная до 3% титаном или небольшими добавками редкоземельных элементов.

Для предупреждения прожогов и для формирования обратной стороны шва применяются флюсовые подушки или медные формирующие подкладки. Режимы сварки приведены в табл. 5.16. Расход защитных газов при полуавтоматической сварке составляет 14—16 л/мин, при автоматической сварке с использованием горелок типа ГУ — 25—30 л/мин. В случае применения для защиты дуги гелия его расход увеличивается в 1,4—1,6 раза по сравнению с расходом аргона. Начинается и заканчивается сварка на технологических планках с разделкой кромок и толщиной, равной толщине свариваемого металла.

Механические свойства металла шва и сварных соединений никеля, выполненных плавящимся электродом в среде аргона: $\sigma_b = 493,9...520,4\text{ МПа}$, $\delta = 32,1...49,7\%$, угол загиба 180° .

Ручная дуговая сварка неплавящимся электродом производится в среде аргона или гелия без присадочного металла или с присадкой на постоянном токе прямой полярности. Возможна также сварка на переменном токе от установок УДГ-301 и УДГ-501. Расход аргона (л/мин) при сварке 10—12, а гелия 14—18. Сварку выполняют преимущественно на медных подкладках справа налево. В процессе сварки горелку наклоняют на угол $45\text{--}65^\circ$ к оси шва. Вылет вольфрамового электрода поддерживают 12—15 мм. Присадочный пруток подают впереди движения горелки под углом $25\text{--}35^\circ$ к свариваемому металлу. Диаметр неплавящегося электрода в зависимости от толщины свариваемого металла принимается рав-

ным $d_s = \delta : 2$, но не менее 1 мм и не более 6 мм. Сила сварочного тока выбирается из расчета $I_{св} = (30...50) d_n$, где d_n — диаметр неплавящегося электрода, мм.

Механические свойства металла шва и сварного соединения никеля, выполненных ручной дуговой сваркой неплавящимся электродом в среде защитных газов: $\sigma_b = 444,9...473,3$ МПа, $\delta = 32,3...39,8$ %, угол загиба сварного соединения 180° .

Автоматическая сварка никеля марок Н1, Н2, НП1, НП2 и других может также выполняться под керамическим флюсом ЖН-1 проволоками Н1, НП1, НП2, НМц2,5 и др. Сварку выполняют на постоянном токе обратной полярности на стандартных автоматах, обеспечивающих необходимую скорость подачи электродной проволоки и скорость сварки. Режимы автоматической сварки никеля и его сплавов приведены в табл. 5.17. Напряжение на дуге 30—34 В.

Механические свойства металла шва и сварных соединений никеля, выполненных под флюсом ЖН-1: $\sigma_b = 515,5...534$ МПа, $\delta = 36,1...51,3$ %, угол загиба 180° [2].

Ручная дуговая сварка покрытыми электродами применяется для никеля толщиной от 2 мм и больше. Сварку выполняют в нижнем положении на постоянном токе обратной полярности электродами «Прогресс-50», Н-10, Н-37, ИМЕТ-7, ИМЕТ-10 и др. Сила сварочного тока выбирается из расчета $I_{св} = (25...30) d_s$. Сварку производят короткой дугой с поперечными колебаниями на величину не более трех диаметров электрода (по возможности за один проход.) Для предупреждения прожогов металла применяют формирующие пластины, устанавливаемые с обратной стороны стыка.

Таблица 5.17. Режимы автоматической сварки никеля и его сплавов под керамическим флюсом ЖН-1

Толщина металла, мм	Диаметр электродной проволоки, мм	Сила сварочного тока, А	Скорость сварки, м/ч	Толщина металла, мм	Диаметр электродной проволоки, мм	Сила сварочного тока, А	Скорость сварки, м/ч
5	3	340—360	23—25	9	3	380—400	19—21
	4	360—390	26—28		4	440—470	22—24
	5	380—420	29—31		5	490—530	25—27
7	3	360—380	21—23	11	3	400—420	17—19
	4	400—430	24—26		4	480—510	20—22
	5	430—470	27—29		5	550—590	23—25

Механические свойства металла шва и сварных соединений никеля, выполненных электродами «Прогресс-50»: $\sigma_b = 466,5...503,7$ МПа, $\delta = 36,8...42,4$ %, угол загиба сварного соединения 180° .

Сварка магниевых сплавов. Для изготовления конструкций используются сплавы магния, обладающие высокой удельной прочностью при сравнительно небольшой массе. Магниевые сплавы недостаточно пластичны, поэтому отбортовка кромок не применяется. Встык магниевые сплавы рекомендуется сваривать на формирующих подкладках за один проход с одной стороны.

При сварке металла толщиной 6—20 мм выполняют V-образную разделку кромок, при толщине металла более 20 мм — двустороннюю X-образную разделку. Иногда применяется другая разделка кромок, зависящая от конструктивных особенностей свариваемых изделий.

Перед сваркой детали обрабатывают в следующей последовательности. Вначале их обезжиривают в ванне состава, г/л: трехзамещенный фосфорнокислый натрий ($Na_3PO_4 \times 12H_2O$) — 20—30; углекислый натрий (Na_2CO_3) — 30—50, едкий натр ($NaOH$) — 20—50 и жидкое стекло (Na_2SiO_3) — 3—5. Затем промывают в проточной горячей воде в течение 0,5—1,0 мин. Защитное покрытие удаляют в ванне, содержащей $NaOH$ — 200—300 г/л при температуре 70—80 °С в течение 10—15 мин. Потом идет промывка в проточной воде при температуре 50—60 °С в течение 1—2 мин и промывка в холодной воде. Далее следует химическое травление в ванне состава, г/л: трехокись хрома (CrO_3) — 150—200, $NaOH$ — 25—35, фтористый кальций (CaF_2) — 2—3. Время травления 1,5—2,0 мин при температуре 20 °С. Промывка в холодной проточной воде и сушка на воздухе.

Присадочный металл обрабатывается по технологии подготовки свариваемого металла или подвергается травлению в растворе, содержащем 180 г/л CrO_3 при температуре 70—80 °С в течение 4—6 мин. Подготовленные таким образом свариваемые детали и электродная проволока могут храниться не более 24 ч. Перед сваркой кромки свариваемых деталей рекомендуется зачищать шабером, особенно после хранения их на открытом воздухе сверх допустимого времени.

Сварку магниевых сплавов выполняют плавящимся электродом на постоянном токе обратной полярности и неплавящимся электродом на переменном токе от установок УДГ-301, УДГ-501 или по упрощенной схеме, приведенной на рис. 5.5. Находит применение также сварка неплавящимся электродом трехфазной дугой. В качестве защитной среды служит

аргон или гелий. Сварочная проволока используется сходная по составу со свариваемым металлом.

Режимы сварки магния и его сплавов незначительно отличаются от режимов сварки алюминия и его сплавов [6]. После сварки первого шва выбирается корневая часть с обратной стороны стыка, а затем накладывается второй шов. Прочность сварного соединения составляет 75—85 % прочности основного металла.

Сварка свинца. Низкая температура плавления и незначительная теплопроводность свинца требуют применения небольшой погонной энергии сварки. Считают, что сварка свинца может выполняться в любом пространственном положении, однако опыт показывает, что металл ванны при наклоне изделия более 10—15° стекает и это требует применения специальных мер для обеспечения качественного формирования сварных швов. Наиболее приемлемым является нижнее положение, на которое необходимо ориентироваться при выполнении сварки свинцовых изделий.

В связи с большой плотностью свинца и возможностью провалов ванны применяются передвижные формирующие пластины-подкладки. В процессе подготовки свинцовых изделий к сварке для удаления масел и других загрязнений кромки протирают бензином или четыреххлористым углеродом, а непосредственно перед сваркой их зачищают шабером до металлического блеска на ширину 20—25 мм.

Сварка свинца толщиной до 2 мм осуществляется с отбортовкой кромок высотой, равной толщине свариваемого металла; при толщине свинца до 8 мм — без разделки кромок; при большей толщине производится скос кромок с общим углом раскрытия 60—70° без зазора в стыке и притуплением 3—4 мм в зависимости от конкретных условий. В случае необходимости может выполняться двусторонняя подготовка кромок.

Наиболее часто применяется сварка свинца угольным электродом, в среде инертных газов плавящимся и неплавящимся электродами и газовая ацетилено-кислородная сварка. При газовой сварке вместо ацетилена могут применяться также его заменители, например пропан-бутан, природный газ или пары бензина и керосина.

Флюсами служат (объемные доли, %): расплав стеарина — 80 и канифоли — 20 или уксуснокислого аммония — 30, стеарина — 45, канифоли — 15 и хлористого аммония — 10. В качестве присадки при сварке используется свинцовая проволока диаметром 3—8 мм или нарезанные полосы из листового свинца. Длина присадки обычно не превышает 300—350 мм. Диаметр присадочной проволоки выбирается равным от 3 мм

Таблица 5.18. Режимы дуговой сварки свинца угольным (графитовым) электродом

Толщина свариваемого металла	Диаметр электрода	Сила сварочного тока, А	Длина дуги, мм	Толщина свариваемого металла	Диаметр электрода	Сила сварочного тока, А	Длина дуги, мм
мм				мм			
1—5	3—6	18—25	4—8	10—15	6—8	40—60	8—10
5—10	6—8	25—40	6—8	15—20	8—10	60—80	8—10

при сварке свинца толщиной от 2—3 до 6 мм при толщине свариваемого металла не более 15 мм. При большей толщине свинца диаметр присадочной проволоки составляет 8 мм.

Сварка угольным электродом выполняется на постоянном токе прямой полярности. Режим сварки угольным электродом приведен в табл. 5.18.

В процессе сварки электрод располагается перпендикулярно или с наклоном на 10—15° от вертикали в сторону движения сварки, а присадочный пруток подается в хвостовую часть ванны под углом 20—30° к свариваемому металлу. Режимы ручной дуговой сварки свинца вольфрамовым электродом в среде защитных газов приведены в табл. 5.19.

Сварка вольфрамовым электродом в среде инертных газов выполняется малоамперной короткой дугой на постоянном токе прямой полярности.

Газовая ацетилено-кислородная сварка применяется для получения неразъемных соединений свинца толщиной от 1,0 до 30 мм и выше. Сварка выполняется нормальным пламенем или с небольшим избытком ацетилена. При толщине свинца от 1,0 до 10 мм расход кислорода и ацетилена изменяется от 0,1 до 2,0 л/мин.

Таблица 5.19. Режим ручной сварки свинца вольфрамовым электродом в среде защитных газов

Толщина свариваемого металла	Диаметр электрода	Сила сварочного тока, А	Длина дуги, мм	Расход аргона, л/мин
мм				
1—3	2,0	12—18	1,5—2,0	8—10
3—8	2,0	18—20	1,5—2,0	8—10
8—10	3,0	20—25	2,0—3,0	10—14
10—15	3,0	25—40	3,0—4,0	14—16

Сварка свинцовых электролитических ванн

Из-за особенности свойств свинец широко применяется при изготовлении изделий, работающих в сильно агрессивных средах, в атомной промышленности и многих других отраслях техники. Основным, а во многих случаях и единственным технологическим процессом изготовления конструкций из свинца и его сплавов является сварка. Однако большая плотность, низкая температура плавления, высокая пластичность и небольшая твердость значительно затрудняют свариваемость свинца и связанные с ним работы. Поэтому при изготовлении из свинца сварных конструкций следует учитывать особенности его свойств. Если не принять специальных мер, то крупногабаритные изделия из свинца в процессе перемещения и кантовки при сварке деформируются под собственной массой и разрушаются. Это требует индивидуального подхода к разработке технологии сварки каждого изделия.

При изготовлении с помощью сварки электролитических ванн (рис. 5.22) в производственном объединении «Ждановтяжмаш» листы толщиной 5 мм из свинца С1 (ГОСТ 3778—77), содержащего не менее 99,985 % свинца и до 0,15 % примесей, массой не более 25 кг раскраивали так, чтобы сварку выполнять в нижнем положении. Для гибки листов и подгонки кромок использовали деревянные рейки и молотки из мягких пород дерева. Свинцовые листы укладывали на деревянную конструкцию, имеющую форму и внутренние размеры ванны, и в процессе сварки кантовку производили вместе с деревянной конструкцией. Кромки перед сваркой зачищали шабером до металлического блеска, сваривали графитовым электродом диаметром 8 мм на постоянном токе прямой полярности. Режим сварки: $I_{св} = 18...22$ А, $U_d = 16...18$ В, $v_{св} = 14...16$ м/ч.

Питание дуги производили от преобразователя ПСО-300 через балластный реостат РБ-300. Присадкой служили свинцовые полосы, нарезанные из основного металла. После сварки всех швов для сохранения жесткости с наружной стороны на ванну надевали металлический корпус, закрепляли к нему по краям ванну и после раскантовки удаляли изнутри деревянный сборочный каркас. Затем выполняли сварку всех швов с внутренней стороны.

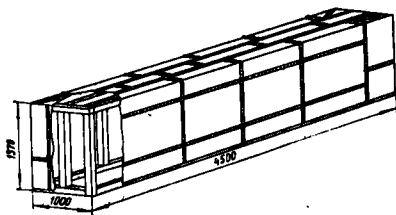


Рис. 5.22. Свинцовая электролитическая ванна

Сварные швы контролировали цветной дефектоскопией. При таком контроле очищенную поверхность шва смачивали проникающим раствором, состоящим из 20 % скипидара, 80 % керосина и 10 г краски «Судан-4» в 1 л раствора. С обратной стороны шов покрывали раствором из 400 г каолина в 1 л воды с добавкой 20—25 г моющего средства ОП-7. Через 25—30 мин швы пересматривали визуально. В случае появления дефектов проявляющийся раствор каолина окрашивался в красный цвет. Дефектные места при их выявлении вырубали и заваривали.

СВАРКА ТИТАНА И ЕГО СПЛАВОВ

Подготовка и сборка металла под сварку. Резка листов и заготовок титана, подлежащих сварке, выполняется механической, газовой или плазменной резкой. Подготовка кромок под сварку производится только механическим путем. Волнистость поверхности обработанных кромок с плавными переходами волны допускается на глубину не более 0,1 мм при длине более 30 мм.

На последующую обработку свариваемых кромок должен быть оставлен припуск после механической обработки не менее 3 мм, а после резки с расплавлением не менее 5—15 мм на сторону в зависимости от толщины металла. В тех случаях, когда невозможна механическая обработка, допускается подготовка кромок корундовым кругом на вулканитовой основе с зернистостью не более 80 ед (ГОСТ 2424—67). Таким же кругом выполняется выборка корня шва перед его сваркой. Сила прижатия корундового круга должна быть такой, чтобы исключить появление цветов побежалости.

При наличии на металле окиснонитридных пленок детали подвергаются травлению в растворе состава (мл/л): 220—300 плавиковой кислоты HF, 480—550 азотной кислоты HNO₃. Время травления в зависимости от толщины пленки 1—20 ч при температуре 20—25 °С. Затем следует осветление в растворе состава (мл/л): 600—750 азотной кислоты, 85—100 плавиковой кислоты. Время травления 3—10 мин при температуре 20—25 °С. Начинать и заканчивать сварку необходимо на технологических планках такой же толщины и состава, как и свариваемый металл.

Непосредственно перед сваркой кромки и прилегающий к ним металл на ширину 25—30 мм и сварочная проволока промываются бензином Б-70 с последующим обезжириванием этиловым спиртом-ректификатом или ацетоном с применением чистых бязевых салфеток. Для титана и его сплавов в основ-

ном применяют дуговую сварку в среде инертных газов, автоматическую сварку под слоем бескислородных флюсов, плазменную, электрошлаковую, контактную и др. Однако наиболее широко применяют сварку в среде аргона, гелия или их смесей плавящимся и неплавящимся электродом при минимальной погонной энергии с применением инертных газов высокой частоты.

При сборке под сварку смещение кромок и зазор в стыке должны соответствовать нижеприведенным.

Толщина металла, мм	2—3	4—5	6—10	11—15	16—35
Величина смещения (зазора)	0,1	0,2	0,5	0,5	1,0

При сборке и установке детали под сварку запрещается прикасаться к кромкам голыми руками и загрязненным инструментом. На кромки не должны попадать грязь, масло и влага. Сборка под сварку производится с помощью прихваток длиной 10—20 мм, расстоянием между ними 150—300 мм (в зависимости от толщины свариваемого металла) с обязательной защитой обратной стороны шва. Дефекты в прихватках не допускаются. В случае их появления прихватки должны быть удалены с помощью корундового круга с последующей шабровкой и промывкой ремонтируемых мест растворителем.

В помещениях, где выполняется сварка титана, скорость движения воздуха не должна превышать 0,5 м/с, а температура должна быть не ниже +15 °С. При этом необходима высокая культура производства. Марка сварочной или присадочной проволоки для титана и его сплавов приведена в табл. 5.20.

Для предохранения шва от наводороживания используют сварочную проволоку после предварительного вакуумного отжига. Массовая доля водорода в такой проволоке не должна превышать 0,002—0,004 %.

Титан при высоких температурах, и особенно в расплавленном состоянии, обладает высокой химической активностью

Таблица 5.20. Присадочная проволока для сварки титана и его сплавов

Марка свариваемого металла	Марка сварочной проволоки	Марка свариваемого металла	Марка сварочной проволоки
BT-0, BT1-00 BT-5, BT5-1 OT4, OT4-1 OT4-0	BT1-00, BT1-0 BT2св OT4, OT4-1 BT2св	BT6, BT6с BT14, BT22 BT20, BT22 BT3-1, BT9	BT6св, СПТ-2, BT2 СПТ-2 BT20-2св BT20-1св

к таким газам, как кислород, водород и азот. Поэтому для получения сварных швов высокого качества необходимо надежно защищать от окружающего воздуха сварочную ванну, шов и прилегающий к нему металл с температурой выше 400—450 °С. Защита должна быть обеспечена как с внешней, так и с обратной стороны шва. Для защиты хвостовой части ванны и металла вокруг сварного шва горелки дополнительно оборудуются защитными насадками для подачи защитного газа (рис. 5.23).

В зависимости от формы и размеров свариваемых изделий применяется струйная защита с непрерывным обдувом инертным газом сварочной ванны и прилегающих зон свариваемого металла, защиты сварного соединения с применением местных камер и общая защита узла при сварке в камере с контролируемой атмосферой. Для сварки трубчатых конструкций используются местные или малогабаритные накидные камеры с обеспечением надежной герметичности.

О надежности защиты и о качестве сварных соединений судят по внешнему виду шва и околошовной зоны. Серебристая поверхность характеризует хорошую защиту и удовлетворительные свойства соединений. Желто-голубой цвет образуется при плохой защите, а синевато-фиолетовая поверхность говорит о плохой защите и соответственно пониженной пластичности и вязкости металла шва и зоны термического влияния.

При сварке со сквозным проплавлением обратная сторона шва формируется медными или стальными подкладками с формирующими канавками и системой отверстий для подачи защитного газа. Подкладки могут быть как водоохлаждаемыми, так и не водоохлаждаемыми. При двусторонней сварке на весу обратная сторона шва защищается поддувом аргона с помощью специальных приспособлений (рис. 5.24). Содержание в инертных газах кислорода контролируется прибором «Иркон», а для определения в них влаги применяется установка «Байкал» и др.

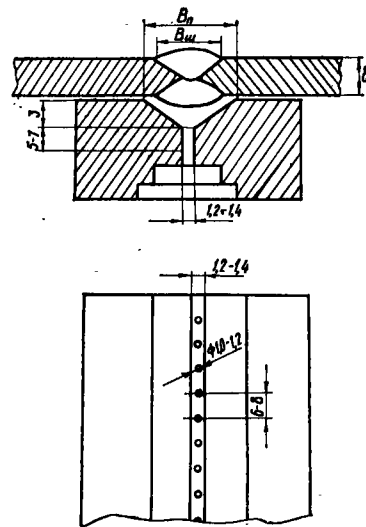


Рис. 5.23. Схема работы насадки для подачи защитного газа: B_n — ширина формирующей канавки; $B_{ш}$ — ширина сварного шва

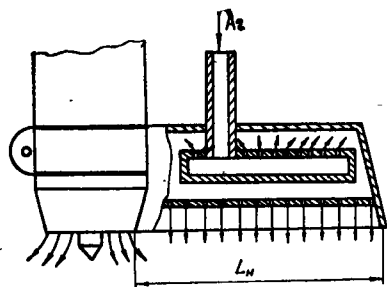


Рис. 5.24. Приспособление для защиты сварного шва поддувом аргона

Механизированная сварка плавящимся электродом. Автоматическая сварка плавящимся электродом применяется для тавровых, угловых и стыковых соединений из титана и его сплавов толщиной более 4 мм. Сварка выполняется в нижнем положении на постоянном токе обратной полярности. Для сварки электродной проволокой диаметром до 3 мм применяются

источники питания с жесткой или пологопадающей внешней вольт-амперной характеристикой. При большем диаметре электродной проволоки более предпочтительны источники питания с падающей характеристикой. Металл толщиной до 25 мм сваривается без разделки кромок в два прохода с двух сторон, для больших толщин рекомендуется применять многопроходную сварку с V- или X-образной (в зависимости от толщины свариваемого металла) разделкой кромок [5]. Угол раскрытия составляет 60—70°, а притупление — 3—4 мм.

Сварка выполняется стандартными автоматами, снабженными сварочными горелками типа ГУ или другими, обеспечивающими надежную защиту дуги с приставками для допол-

Таблица 5.21. Режимы автоматической сварки титана и его сплавов плавящимся электродом

Толщина свариваемого металла	Диаметр электродной проволоки	Сила сварочного тока, А	Напряжение на дуге, В	Скорость сварки, м/ч
мм				
8	1,0	200—250	22—24	25—30
12	2,0—2,5	350—450	24—28	25—30
16	3,0	450—650	28—32	20—25
20	4,0	650—850	32—34	18—22
24	5,0	850—1000	34—38	16—18

Примечание. Расход аргона для свариваемых толщин титана 16—20 мм составляет 20—25 л/мин. При сварке титана большей толщины расход аргона равен 25—30 л/мин. При сварке в среде гелия его расход по сравнению с аргоном увеличивается в 1,4—1,8 раза, а напряжение на дуге повышается на 8—12 В. Расход аргона в защитную насадку составляет 8—10 л/мин, а в формирующую защитную подкладку 4—8 л/мин в зависимости от толщины свариваемого металла.

нительной защиты зоны сварки и обратной стороны шва. Режимы автоматической сварки титана плавящимся электродом в среде защитных газов приведены в табл. 5.21.

Автоматы для сварки более целесообразно применять с независимой от напряжения и плавной скоростью подачи электродной проволоки. Режим сварки необходимо корректировать в каждом конкретном случае. Для этого на опытной пластине при наплавке валика устанавливается минимально необходимая сила сварочного тока, обеспечивающая струйный перенос электродного металла. Затем напряжением устанавливают нужную длину дуги. Если при этом струйный перенос электродного металла переходит в капельный, силу сварочного тока незначительно увеличивают, напряжением дуги снова устанавливают заданную ее длину. Такую корректировку режима сварки необходимо выполнять с каждым источником питания.

Полуавтоматическая сварка применяется в тех случаях, где другие механизированные способы сварки использовать нецелесообразно. Выполняется полуавтоматическая сварка на постоянном токе обратной полярности проволоками диаметром 0,5—2,0 мм на режимах, обеспечивающих струйный перенос электродного металла.

Горелки полуавтоматов должны обеспечивать надежную защиту дуги и сварочной ванны от окружающего дугу воздуха. Лучшие результаты позволяют получить полуавтоматы ПРМ-4 или другие, снабженные горелками ГСП-1. Для дополнительной защиты хвостовой части ванны и металла, нагретого выше 400—450 °С, горелки снабжаются насадками, в которые подается защитный газ. Сварку выполняют с наклоном горелки углом вперед под углом 10—15° от вертикали в режимах, приведенных в табл. 5.22.

Таблица 5.22. Режимы полуавтоматической сварки титана плавящимся электродом в среде защитных газов

Толщина свариваемого металла	Диаметр сварочной проволоки	Сила сварочного тока, А	Напряжение на дуге, В	Скорость сварки, м/ч	Вылет электрода, мм
мм					
4—6	0,8	150—200	24—26	30—35	10—14
5—10	1,0—1,2	250—300	24—26	30—35	14—18
8—12	1,4—1,6	300—340	28—32	26—30	14—18
10—16	1,6—2,0	350—400	30—34	20—24	18—20

Примечание. Расход аргона (л/мин) в горелку составляет 16—18, при подаче в насадку — 8—10, в защитную формирующую подкладку — 4—6. При защите зоны дуги гелием его расход увеличивается на 15—20 % по сравнению с расходом аргона.

Расстояние сопла горелки от свариваемого металла должно быть равно 14—20 мм в зависимости от толщины свариваемого металла. В качестве защитных сред применяется аргон, гелий или смесь аргона и гелия (60—80 %). При сварке не допускаются короткие замыкания электродной проволоки как на поверхность ванны, так и на свариваемый металл или шов.

Автоматическая сварка неплавящимся электродом в среде защитных газов. Сварка выполняется на постоянном токе прямой полярности. Сварка титана толщиной до 8 мм производится без разделки кромок. При толщине металла до 15 мм применяется V-образная разделка кромок с углом раскрытия 60—70°, а большая толщина титана сваривается с использованием рюмкообразной подготовки кромок с углом раскрытия 30° и радиусом в нижней части, равном 6 мм. Для защиты дуги применяется аргон, гелий или их смеси (например, 50—80 % гелия, остальное аргон). Сварка выполняется горелками типа ГУ или другими, обеспечивающими достаточное качество сварных соединений на режимах, приведенных в табл. 5.3.

В процессе сварки на верхнем пределе тока при падающей вольт-амперной внешней характеристике источника питания начинают появляться всплески металла ванны и нарушать этим формирование шва. Возможны две причины их образования.

1. Нарушается гидродинамическое равновесие в сварочной ванне, когда скорость протока металла в донной части ванны превышает скорость сварки. Это приводит к образованию в шве полостей или каналов. Для борьбы с дефектами такого рода уменьшают силу сварочного тока, снижают скорость сварки или увеличивают объем ванны за счет применения сварки расщепленным электродом. Также применяют успокаивающее внешнее давление на хвостовую часть ванны газовым потоком или сварку импульсным током с частотой, равной или кратной частоте гармоническим колебаниям металла ванны.

2. Металл ванны перегревается и становится более жидкотекучим. Давление дуги, воздействуя на такой металл, образует всплески, нарушает устойчивую кристаллизацию ванны и не позволяет получать качественное формирование сварочного шва. Для борьбы с такими дефектами уменьшают силу сварочного тока, увеличивают скорость сварки, снижают напряжение холостого хода источника питания или охлаждают свариваемый металл.

Вероятность появления всплесков тем больше, чем ниже температура плавления свариваемого металла и меньше его плотность. Поэтому такие дефектные процессы чаще наблюдаются при сварке алюминия, магния и их сплавов и реже — при сварке титана, меди, никеля и других металлов.

Практически для определения характера всплесков увеличивают скорость сварки. Если всплески ванны не прекращаются, считают, что нарушено гидродинамическое равновесие. Когда при повышении скорости сварки всплески исчезают, считают, что металл ванны перегревается.

Ручная дуговая сварка неплавящимся электродом. Сварка производится на постоянном токе прямой полярности. Сварка титана толщиной до 5 мм выполняется без разделки кромок. При толщине металла 5—10 мм производится многослойная сварка с разделкой кромок с общим углом раскрытия 70—90°. Двусторонняя разделка кромок осуществляется при сварке металла толщиной 10—15 мм с углом раскрытия 50—70°. При сварке металла толщиной более 15 мм применяется рюмкообразная разделка кромок с углом раскрытия 30° и радиусом в нижней части 5 мм. Сварка выполняется на режимах, приведенных в табл. 5.23.

Рабочая часть вольфрамового электрода затачивается на конус, равный в зависимости от толщины свариваемого металла 30—45°. Конус электрода притупляют до диаметра 0,5—0,8 мм. Это позволяет увеличить стойкость электрода, улучшить формирование сварного шва и получить за счет расфокусировки дуги более плавный переход от основного металла к усилению шва. Вылет электрода из сопла горелки устанавливается не более 10 мм. Перед сваркой система подачи газа продувается в течение 5—10 с защитным газом (расход 10—12 л/мин).

Дугу возбуждают в разделке или на ранее заваренном участке шва с последующим перекрытием этого места при сварке. Сварка выполняется без колебаний горелки, с непре-

Таблица 5.23. Режимы ручной аргонодуговой сварки титана неплавящимся электродом в среде аргона

Толщина свариваемого металла	Диаметр вольфрамового электрода	Сила сварочного тока, А	Диаметр присадочной проволоки, мм	Число проходов
мм				
2	2—3	70—100	1,5—2,0	1,0
4	3,0	130—140	1,5—2,0	1,0—2,0
6	3,0	160—180	2,0—3,0	2,0—3,0
8	4,0	180—220	2,0—3,0	3,0—6,0
10	5,0	220—260	2,0—3,0	8,0—10,0

Примечание. Расход аргона для сварки составляет 8—10 л/мин, для дополнительной защиты хвостовой части ванны и металла шва расход аргона равен 5—8 л/мин, а для защиты обратной стороны шва — 2—4 л/мин.

рывной подачей присадочной проволоки. Марка присадочной проволоки в зависимости от состава свариваемого металла приведена в табл. 5.18.

Первый проход при сварке с разделкой кромок выполняет- ся без присадочного металла. При сварке последующих про- ходов присадочный металл вводится в зону дуги непрерывно и равномерно под углом 25—35° к основному металлу в голов- ную часть сварочной ванны навстречу движению горелки. Угол между присадочной проволокой и горелкой должен со- ставлять 80—90°.

Присадочный пруток при сварке или прихватке необхо- димо выводить из зоны защиты только после его остывания ниже температуры 400 °С. При нарушении этого условия окис- ленный конец присадочного прутка необходимо отрубить. Пос- ле обрыва дуги или окончания процесса сварки горелка не должна отводиться от места сварки, а защитный газ подается до остывания ниже 400 °С.

Автоматическая сварка под слоем флюса. Этот вид сварки применяется для сварки металла толщиной от 3 до 40 мм. Сварку выполняют на постоянном токе обратной полярности стандартными автоматами с использованием бескислородных, нейтральных по отношению к титану флюсов типа АНТ на основе системы $\text{CaF}_2\text{—BaCl}_2\text{—NaF}$.

При сварке титана толщиной до 7 мм применяется флюс АНТ-1. Для титана толщиной 6—14 мм используется флюс АНТ-3, а при сварке титана толщиной более 14 мм применяется флюс АНТ-5 или АНТ-7.

Перед сваркой флюс прокаливают при температуре 300—350 °С в течение 2 ч до содержания влаги не более 0,05 %. По окончании сварки оставшийся флюс помещают в герметич- но закрывающуюся тару или в полиэтиленовые мешки. Слой флюса при сварке должен быть таким, чтобы исключить воз- можность прорыва дуги. Сварку производят на малых вылетах электродной проволоки, не превышающих 20—22 мм при напряжении на дуге не более 40 В.

Титан толщиной до 10—12 мм сваривают в один проход без разделки кромок. Листы толщиной до 14—16 мм целе- сообразно сваривать с двух сторон по V-образной разделке кромок с углом раскрытия 60° или Х-образной подготовке кромок с углом 90°. Притупление составляет 6—8 мм.

Обратная сторона сварного шва формируется водоох- лаждаемыми подкладками с подачей инертного газа встык. Применяется также сварка на флюсовых подушках. При всех неизменных остальных условиях, с увеличением угла раскрытия разделки от 60 до 90° глубина провара возрастает,

формирование шва улучшается, а стабильность процесса сварки возрастает.

Автоматическая сварка под слоем флюса выполняется в ре- жимах, приведенных в табл. 5.24.

Очистка валиков от шлаковой корки выполняется после остывания сварного шва и околошовной зоны ниже темпера- туры 300—350 °С. Находит также применение способ автома- тической сварки по слою флюса вольфрамовым электродом на постоянном токе прямой полярности. Применяемые для этого способа сварки флюсы АНТ-21А или АНТ-23А сушат при тем- пературе 250—300 °С в течение 1,5—2,0 ч. Затем их растворяют в спирте-ректификате (ГОСТ 18300—72) в соотношении по массе 1 : 1 до пастообразного состояния.

Непосредственно перед сваркой на кромки наносят кистью равномерный слой флюсовой пасты толщиной 0,10—0,15 мм и шириной 10—15 мм. Сварка выполняется через 1,5—3,0 мин после нанесения флюса на свариваемые кромки. Расход по такой технологии составляет 5—8 г на 1 м шва погонной длины.

Плазменная сварка. Наиболее широкое применение полу- чил способ сварки прямого действия. Для стабильного горения плазменной дуги применяются источники питания дуги с крутопадающими или вертикальными характеристиками, позволяющие изменять напряжение на дуге при неизменном значении сварочного тока.

Плотность теплового потока плазменной дуги составляет более 10^5 Вт/см², что в 10 раз превышает тепловой поток дуги при сварке неплавящимся электродом в среде аргона. Поэтому плазменная сварка листов титана возможна толщиной 10 мм и выше без разделки кромок. При плазменной сварке в каче-

Таблица 5.24. Режимы автоматической сварки титана под слоем флюса

Толщина свариваемого металла	Диаметр сварочной проволоки	Сила сварочного тока, А	Напряжение на дуге, В	Скорость сварки, м/ч
мм				
4	3	340—360	28—32	30—35
8	4	580—620	30—32	30—35
12	3	450—500	28—32	25—30
16	4	580—620	30—34	25—30
20	4	620—650	30—34	20—25

Примечание. Титан толщиной 12—20 мм сваривается с разделкой кромок.

стве плазмообразующего газа применяется аргон, а в качестве защитной среды — гелий или смесь аргона с гелием.

Титан толщиной до 18—20 мм сваривается без разделки кромок. При сварке титана большей толщины применяется V-образная разделка кромок с углом раскрытия 60° и притуплением 4—6 мм. Присадочная проволока подается в переднюю часть сварочной ванны. Режимы плазменной сварки титана приведены в табл. 5.25.

Для сварки титана малых толщин широкое применение находит микроплазменная сварка.

Электрошлаковая сварка. Этот вид сварки используется для сварки титана толщиной более 40 мм. Находит применение электрошлаковая сварка плавящимся мундштуком, пластинчатым электродом и проволоками. Однако наибольшее применение получила электрошлаковая сварка проволочными

Таблица 5.25. Режимы плазменной сварки титана

Толщина свариваемого металла, мм	Сила сварочного тока, А	Напряжение на дуге, В	Скорость сварки, м/ч	Расход плазмообразующего газа, л/мин
2	120—140	22—24	30—40	4—6
6	220—240	22—24	14—16	12—14
10	380—400	26—28	14—16	14—16
14	500—550	26—30	10—14	18—22

Примечание. Расход защитного газа составляет 6—12 л/мин, а расход газа для защиты шва с обратной стороны — 6—8 л/мин.

Таблица 5.26. Режимы электрошлаковой сварки титана проволочными электродами

Толщина свариваемого металла, мм	Количество проволочных электродов, шт.	Сила сварочного тока, А	Расход аргона, л/мин	Толщина свариваемого металла, мм	Количество проволочных электродов, шт.	Сила сварочного тока, А	Расход аргона, л/мин
40	1	680—1350	40	100	2	1360—2700	60
70	1	680—1350	50	150	2	1360—2700	70

Примечание. Зазор между кромками равен 30—34 мм, скорость подачи электродной проволоки 110—130 м/ч, сухой вылет электрода 50—70 мм, глубина шлаковой ванны 30—40 мм и напряжение на дуге 28—35 В.

электродами. На каждые 100 мм свариваемой толщины применяется одна электродная проволока диаметром 5 мм. Для крупногабаритных изделий из титана и его сплавов может использоваться сварка плавящимся мундштуком или пластинчатым электродом.

Электрошлаковая сварка выполняется под тугоплавкими бескислородными флюсами АНТ-2, АНТ-4 и другими с защитой поверхности шлаковой ванны и разогрего вылета электрода аргоном. Это достигается с помощью использования специальной конструкции сварочных мундштуков, служащих для направления электродных проволок и одновременной подачи аргона в зону сварки.

Режимы электрошлаковой сварки проволочными электродами технического титана приведены в табл. 5.26.

Глава 6. СВАРКА В РЕМОНТНЫХ И НАПЛАВОЧНЫХ РАБОТАХ

СВАРКА ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ В РЕМОНТНЫХ РАБОТАХ

Дуговая сварка и наплавка нашли широкое применение для ремонта литья, деталей машин, металлических моделей и других изделий из цветных металлов, вышедших из строя в результате литейных дефектов, износа и поломок. Основными дефектами в этом случае являются раковины, трещины, изношенные поверхности и отбитые части деталей. Литейные дефекты разделяют галтельным зубилом или переносной фрезой с механическим приводом до здорового металла.

Угол разделки таких дефектов в зависимости от их минимального размера и глубины залегания можно установить по номограмме (рис. 6.1). Трещины по краям засверливают сверлом диаметром 6—8 мм и разделяют под углом 60—70° переносной механической фрезой или зубилом до здорового металла. Кромки отбитых частей деталей или металлических моделей скашивают с одной или двух сторон под углом 30—

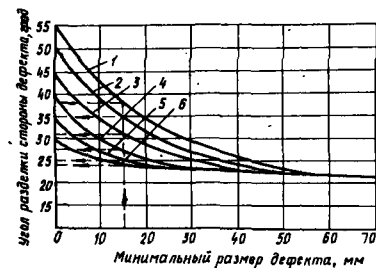


Рис. 6.1. Номограмма для выбора размеров разделки дефектных мест: 1 — 25 мм; 2 — 20—25 мм; 3 — 15—20 мм; 4 — 10—15 мм; 5 — 5—10 мм; 6 — до 5 мм

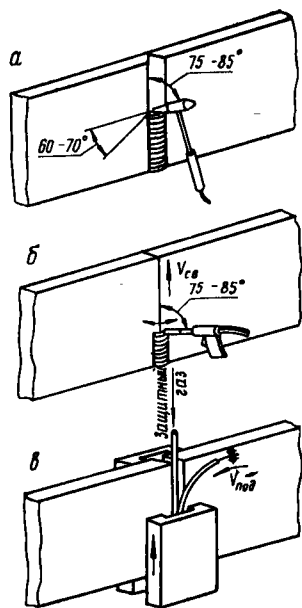


Рис. 6.2. Способы сварки вертикальных стыков алюминиевых шинопроводов:

а — ручная дуговая сварка неплавящимся электродом в среде защитных газов; б — полуавтоматическая сварка неплавящимся электродом в среде защитных газов; в — дуговая сварка плавящимся электродом в среде защитных газов

70° с притуплением 2—3 мм. Минимальный размер дефекта после его разделки равен толщине фрезы или зубила. Наиболее часто он составляет 10 мм.

Ремонт осуществляется ручной дуговой сваркой, полуавтоматической сваркой плавящимся электродом или ручной дуговой сваркой неплавящимся электродом в среде защитных газов с предварительным подогревом ремонтируемых изделий. Диаметр электрода для ремонта ручной дуговой сваркой выбирают исходя из следующих положений. Примем условно коэффициент $\Delta = M : G$, где M — минимальный размер дефекта, мм; G — глубина дефекта после разделки, мм; тогда при $\Delta < 0,5$ — диаметр электрода равен 3 мм; при $\Delta = 0,5$ — диаметр электрода 5 мм; при $\Delta > 0,5$ — диаметр электрода 6 мм и более.

Отделки из магниевых сплавов перед ремонтом сваркой нагревают до температуры 300—350 °С. Ремонт выполняют ручной дуговой сваркой неплавящимся электродом или полуавтоматической сваркой плавящимся электродом в среде защитных газов.

После сварки для снятия внутренних напряжений производится отжиг отремонтированных изделий.

При монтаже и ремонте алюминиевых шин токоподводов электрических установок основной проблемой является сварка вертикальных швов. Ее выполняют в среде защитных газов плавящимся и неплавящимся электродами. При толщине токоподвода до 8 мм лучшие результаты обеспечивает полуавтоматическая сварка плавящимся электродом в среде защитных газов. При толщине алюминия от 8 до 25 мм применяется многопроходная ручная дуговая сварка в среде защитных газов неплавящимся электродом, а для токоподводов толщиной более 25 мм применяется ручная дуговая сварка покрытыми электродами или полуавтоматическая сварка в узкий зазор. Способы сварки вертикальных швов приведены на рис. 6.2.

Алюминиевые токоподводы толщиной до 8 мм сваривают без разделки кромок. Вначале подгоняют стыки, затем кромки на 50—70 мм в обе стороны от стыка зачищают шабером до металлического блеска и тщательно промывают растворителем. Подготовленные таким образом стыки сваривают полуавтоматической сваркой плавящимся электродом (проволока Св-А5 ГОСТ 7871—75) диаметром 1,8—2,0 мм в среде аргона на постоянном токе обратной полярности. Режим сварки: $I_{св} = 280...320$ А, $U_d = 30...34$ В.

Для данного диаметра электродной проволоки сила тока должна иметь минимально возможное значение и находиться в интервале, обеспечивающем струйный перенос электродного металла, а длина дуги должна быть 3—5 мм.

В качестве источника питания служит выпрямитель ВДУ-504. Горелку в процессе сварки располагают перпендикулярно к шине или с небольшим наклоном вверх. После сварки стыка с одной стороны подрубывают корень шва, зачищают шабером поверхность металла на 30—50 мм в обе стороны от стыка, промывают кромки растворителем и сушат на воздухе. Затем стык заваривают с другой стороны.

Ручную дуговую сварку алюминия толщиной от 8 до 25 мм выполняют в среде аргона неплавящимся электродом на переменном токе от установок УДГ-301 или УДГ-501. Кромки металла перед сваркой разделяют с наиболее удобной стороны для многопроходной сварки под углом $(60 \pm 5)^\circ$ с притуплением 2—5 мм. Зазор между кромками не должен превышать 0,5 мм. В процессе сварки горелку располагают под углом 70—75° к поверхности металла и наклоняют на 10—15° в направлении будущего шва, а присадочный прутки располагают под углом 30—35° к плоскости свариваемого металла. Стык предварительно подогревают до температуры 150—200 °С. Режим сварки: $I_{св} = 320...360$ А, $d_s = 6$ мм, расход аргона — 14—16 л/мин.

После полного заполнения разделки вырубляют корень шва. Поверхность на 30—40 мм в обе стороны от стыка зачищают шабером до металлического блеска и обезжиривают растворителем. Затем сваривают обратную сторону стыка.

Шины толщиной более 25 мм сваривают по зазору между торцами, равному 15—25 мм. При таком способе сварки с одной стороны стыка на ширину токоподвода устанавливают графитовую формирующую подкладку, снабженную карманом для начала сварки. Перед сваркой стык токоподвода вместе с графитовыми подкладками подогревают газовыми горелками до температуры 150—200 °С. Сварка стыка выполняется сверху в зазор покрытыми электродами А1-1Ф1 диаметром 8 мм

(режим сварки: $I_{св} = 400...450$ А, $U_d = 36...40$ В) или сбоку со стороны движущегося ползуна полуавтоматической сваркой электродной проволокой Св-А5 диаметром 2,5 мм (режим сварки: $I_{св} = 380...420$ А, $U_d = 36...38$ В, расход аргона 14—16 л/мин. Сварку выполняют на постоянном токе обратной полярности от источника питания ВДУ-1201.

После сварки удаляют формирующие подкладки и снимают механическим способом усиление сварного шва. Заваренные стыки контролируют рентгенопросвечиванием и испытанием контрольных образцов, выполненных в условиях, соответствующих процессу сварки контролируемого стыка, и с применением таких же сварочных материалов и режимов сварки. Механические испытания сварных соединений показали, что предел прочности металла шва — 66,6—75,5 МПа, угол загиба 180° .

НАПЛАВКА МЕДИ И ЕЕ СПЛАВОВ

Наплавка меди и ее сплавов на стали и чугуны применяется для восстановления изношенных и получения новых би-металлических деталей машин. По технологии наплавки детали делятся на пять групп: 1) с плоскими наплавляемыми поверхностями; 2) цилиндрической формы с наружными или внутренними наплавляемыми поверхностями; 3) формы диска с боковыми наплавляемыми поверхностями; 4) конусной формы с наружными или внутренними наплавляемыми поверхностями; 5) типа сфер с внутренними или наружными наплавляемыми поверхностями.

Наплавка плоских деталей производится с перекрытием валиков на $1/3$ их ширины. Для этого электрод перемещают по зоне перехода предыдущего наплавленного валика к основному металлу.

Наплавка деталей цилиндрической формы, особенно малого диаметра, усложнена трудностью удержания металла ванны и формирования сварочного шва. При наплавке деталей формы дисков круговыми валиками, а сфер и конусов кольцевыми основной трудностью является регулирование скорости наплавки с изменением диаметра наплавляемых валиков.

При наплавке внутренней сферы и смещении электрода с нижней точки «на подъем» в сторону, обратную вращению, расплавленный металл стекает в хвостовую часть сварочной ванны. Это приводит к значительному провару основного металла и повышению его доли в наплавленном. В случае смещения электрода в сторону вращения сферы наплавляемый металл подтекает под дугу, что значительно уменьшает глубину провара.

Смещение электрода больше оптимального значения приводит к отсутствию проплавления основного металла и отделению от него наплавленного валика. Поэтому при наплавке сферических тел вращения медью и ее сплавами, обладающими высокой жидкотекучестью, качество наплавки определяется точностью смещения электрода с зенита. Для определения зенита применяется уровень, который закрепляют на двух опорах, расположенных в одной плоскости под углом 60° , а между ними находится фиксатор в виде стержня. Такая система устанавливается по уровню на сферу, а опускаемый вниз фиксатор указывает зенит, от которого ведут отсчет смещения электрода.

При наплавке сферы от максимального радиуса к ее центру уменьшают смещение электрода с зенита. Это, без изменения остальных параметров режима, приводит к увеличению глубины проплавления основного металла и повышению его доли в наплавленном. Для восстановления прежней глубины провара увеличивают угол наклона электрода вперед и повышают число оборотов наплавляемой детали. Наплавку выполняют в среде защитных газов плавящимся электродом на постоянном токе обратной полярности стандартными сварочными автоматами, снабженными горелками типа ГУ. Наплавка меди и ее сплавов может выполняться также и под флюсом.

Большой частью наплавка производится проволоками: М1; МНЖКТ 5-1-0,2-0,2; БрХ0,7; БрКМц3-1; БрАМц9-2; БрХНТ; БрНЦр; БрОФ6,5-0,15 и др. При сварке в защитных средах газы, а также флюсы применяются такие же, как и для сварки меди. Смешивают газы в смесителе СМГИ-2 или в других, обеспечивающих точный состав смеси. Режим наплавки: $I_{св} = 400...450$ А, $U_d = 30...34$ В, $v_{св} = 18...22$ м/ч, $d_s = 3$ мм, расстояние горелки от наплавляемой детали 25—30 мм, расход защитной смеси 25—30 л/мин.

Для наплавки алюминиевых бронз с регулируемым химическим составом применяют две разнородные проволоки — медную сварочную и алюминиевую легирующую. Скорость подачи алюминиевой легирующей проволоки определяется по следующей зависимости:

$$v_{подА} = v_{подМ} (C_A D_M^2 / C_M D_A^2) 1,05,$$

где $v_{подА}$ и $v_{подМ}$ — скорости подачи алюминиевой легирующей и медной сварочной проволоки, м/ч; C_A и C_M — содержание алюминия и меди в наплавленном металле, %; D_A и D_M — диаметры алюминиевой и медной проволоки, мм; 1,05 — коэффициент потерь.

При наплавке разнородными лентами вместо диаметра проволоки в формуле ставится площадь сечения ленты ($мм^2$).

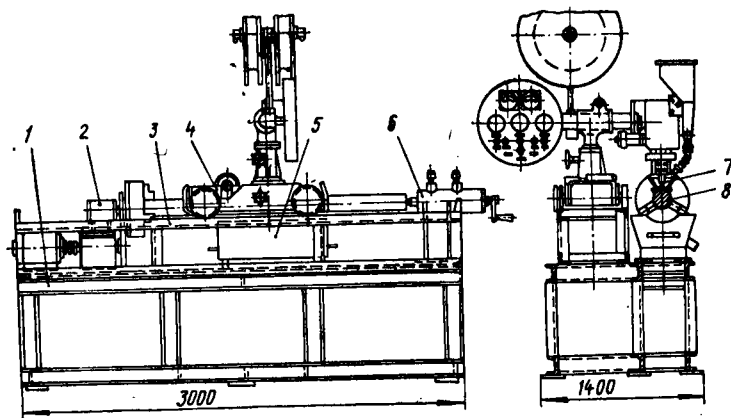


Рис. 6.3. Установка для наплавки цилиндрических деталей малого диаметра

Наплавка производится в среде защитных газов на постоянном токе обратной полярности. Алюминиевая легирующая проволока может быть как обесточенная, так и одноименного потенциала с наплавляемой деталью. Такой способ наплавки позволяет при необходимости изменять состав наплавляемой бронзы и особенно пригоден при наплавке больших объемов металла.

Детали небольшого диаметра наплавляют на установке (рис. 6.3) под слоем керамического флюса КМ-1 расщепленным плавящимся электродом. Установка состоит из станины 1, электродвигателя 2 с редуктором и патроном для крепления наплавляемых деталей, направляющих 3, сварочного трактора 4, флюсосборника 5, задней бабки 6 для крепления наплавляемой детали 8 и флюсоудержателя 7. Огневую часть трактора можно перестраивать для крепления сварочной горелки ГУ-3 и для наплавки расщепленным электродом под слоем флюса. Наплавка производится после механической обработки поверхности цилиндрических деталей диаметром от 40 до 100 мм, длиной от 500 до 1500 мм по винтовой линии.

Детали диаметром от 40 до 60 мм наплавляют в смеси аргона и азота с кислородом плавящимся электродом (проволока БрКМцЗ-1) диаметром 2 мм. При большем диаметре наплавляемых деталей используется проволока диаметром 3 мм. Детали диаметром более 70 мм можно наплавлять также под керамическим флюсом КМ-1 или другими расщепленным электродом диаметром 2,5 мм.

Наплавку деталей диаметром 40—60 мм выполняют горелкой ГУ-2,5. Диаметр сварочной проволоки 2 мм. Режим наплавки: $I_{св} = 280...320$ А, $U_d = 24...26$ В, $v_{св} = 12...16$ м/ч, длина дуги $l_d = (0,8...1,2) d_s$, где d_s — диаметр сварочной проволоки, расход газа 20—25 л/мин. Детали диаметром более 60 мм наплавляют горелкой ГУ-3. Режим наплавки: $I_{св} = 380...420$ А, $U_d = 26...30$ В, $v_{св} = 12...16$ м/ч, $d_s = 3$ мм, расход газа 25—30 л/мин. Длина дуги должна находиться в таких же пределах, как и при наплавке электродной проволокой диаметром 2 мм. Наплавка производится на постоянном токе обратной полярности от выпрямителя ВДУ-504.

Под керамическим флюсом детали наплавляют на постоянном токе обратной полярности от выпрямителя ВДУ-1201 с балластными реостатами РБ-300 в цепи дуги. Режим наплавки: $I_{св} = 400...450$ А, $U_d = 38...42$ В, $v_{св} = 16...18$ м/ч.

В различных отраслях промышленности широко применяются изделия из чугуна с контактными поверхностями из меди и ее сплавов. Наиболее производительным способом получения таких поверхностей является наплавка, однако при наплавке железо основного металла не смешивается с наплавленной бронзой и концентрируется в верхних слоях металла. Такие железные включения обладают твердостью цемента и резко ухудшают качество наплавленного металла.

При содержании основного металла в наплавленном до 5 % его равномерное распределение достигается легированием наплавленного металла никелем или наплавкой под керамическим флюсом, содержащим медную окалину и кремнезем. В этом случае происходит реакция



железо в меди и ее сплавах.	составляющие керамического флюса	удаляется в шлак
-----------------------------------	--	---------------------

Комплексное соединение Fe_2SiO_4 , удаляясь в шлак, освобождает наплавленный металл от железных включений.

В случае необходимости для уменьшения доли основного металла в наплавленном производится наплавка в кристаллизаторе, который может быть стационарным или движущимся вместе с огневой частью сварочного автомата. Кристаллизатор увеличивает скорость охлаждения металла и повышает отвод тепла из зоны дуги. Это снижает глубину провара основного металла и его содержание в наплавленной меди и ее сплавах.

Такой способ позволяет регулировать глубину провара, а следовательно, получать наплавленные на чугун медные сплавы с минимальными включениями железа основного ме-

талла. Наплавка в кристаллизаторе производится как под флюсом, так и в среде защитных газов плавящимся электродом. При необходимости наплавку можно выполнять неплавящимся электродом с подачей в кристаллизатор шихты в виде бронзовой стружки и раскислителей, например, переплавленной буры. Качество наплавки контролируют внешним осмотром, а толщину наплавленной бронзы при необходимости проверяют засверловкой.

НАПЛАВКА БАББИТА НА СТАЛИ

Наплавку баббита на стали осуществляют на предварительно механически обработанные поверхности с проточками в виде «ласточкина хвоста». Вначале наплавляемые поверхности подогревают до температуры 300—350 °С и производят их лужение под флюсом состава (%): ZnCl_2 — 75...77, NH_4Cl — 18...22, SnCl — 3...5. Далее, сохраняя начальную температуру изделия постоянной, луженную поверхность заливают предварительно расплавленным баббитом.

Глава 7. ДЕФЕКТЫ СВАРКИ И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ ШВОВ

ОСНОВНЫЕ ДЕФЕКТЫ СВАРКИ

Дефекты сварки появляются в результате нарушения технологии процесса, низкой квалификации сварщика, плохой подготовки свариваемых кромок, некачественной оборки под сварку и др. В случае появления дефектов, их удаляют, дефектные места заваривают. Дефекты сварных швов бывают внешние и внутренние.

Внешние дефекты — несоответствие геометрических размеров шва или наплавки установленным, подрезы, проплавы, наплывы, внешняя пористость, шлаковые включения и трещины, выходящие на поверхность шва, незаваренные края и глубокая чешуйчатость на поверхности шва.

Внутренние дефекты — непровары, несплавления, поры, внутренние трещины, шлаковые включения, полости и каналы гидродинамического происхождения, включения вольфрама и др.

Несоответствие геометрических размеров шва образуется при нарушении режимов сварки. Подрезы в сварных швах появляются в результате чрезмерно большой скорости сварки, а проплавы — при низкой скорости и излишне большом сва-

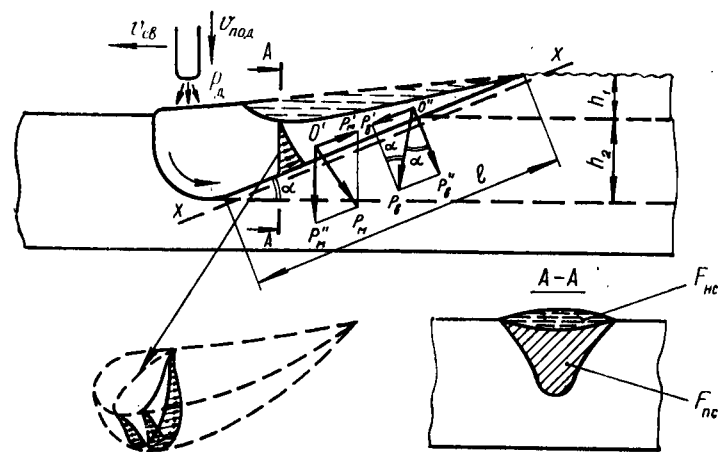


Рис. 7.1. Схема расположения сил в сварочной ванне

рочном токе. Наплывы наблюдаются при сварке на спуск или на подъем с повышенной скоростью подачи электродной проволоки.

Главной причиной образования пор является высокая влажность защитных газов и окружающего дугу воздуха. Кроме того, поры, шлаковые включения и трещины возникают из-за неправильно выбранных и влажных сварочных материалов, низкой квалификации сварщика, плохого качества свариваемого металла, неправильных режимов сварки и др. В сварных швах помимо названных дефектов в результате нарушения гидродинамического равновесия в сварочной ванне могут образовываться полости и каналы значительных размеров.

Процессы, протекающие в сварочной ванне, определяют характер кристаллизации металла, оказывающей решающее влияние на свойства и качество сварных швов. Дуга, воздействуя на поверхность сварочной ванны, создает в расплавленном металле силу $P'_м$ (рис. 7.1), которая перемещает слой металла из кратерной части по дну ванны вдоль поверхности кристаллизации в хвостовую ее часть.

Вначале объем ванны незначительный, и составляющая веса металла $P'_в$, поступающего в хвостовую часть ванны, меньше силы $P'_м$, наведенной в металле ванны давлением дуги, т. е. $P'_м > P'_в$. Под действием разности сил $P'_м - P'_в = \Delta P$ металл ванны вытесняется в хвостовую часть до наступления равенства $P'_м = P'_в$, а затем до условия, когда $P'_м$ станет меньше $P'_в$.

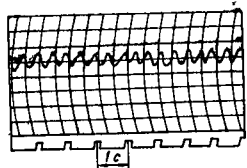


Рис. 7.2 Диаграмма колебаний металла в хвостовой части ванны

металла по закону:

$$x = A \sin(\omega t + \varphi_0),$$

где A — амплитуда колебания; ω — круговая частота; t — время; φ_0 — начальная фаза.

Частота колебаний перемещающегося в хвостовую часть слоя металла составит

$$v = \frac{1}{2\pi} \sqrt{(P_d - P_r) g \sin \alpha / (P_d - H)},$$

где P_d — давление дуги; P_r — сила трения в расплавленном металле сварочной ванны; g — сила тяготения; α — угол подъема хвостовой части ванны; H — сумма высоты усиления и глубины провара шва.

Для устойчивого процесса сварки с хорошим формированием шва режим сварки и скорость движения металла в донной части ванны должны быть согласованы. Нарушение этого условия приводит к отрыву расплавленного металла от донной части ванны, разрыву сплошности и образованию полостей. В дальнейшем металл в полости испаряется, увеличивая ее в размерах.

На образование полостей оказывают влияние свойства свариваемого металла, сила сварочного тока, диаметр электродной проволоки, угол наклона свариваемого металла и электродной проволоки, скорость сварки, напряжение на дуге и т. д. Так, чем меньше плотность свариваемого металла, тем больше вероятность образования в швах полостей.

Предварительный подогрев свариваемого металла, уменьшение скорости сварки и увеличение напряжения на дуге смещают начало образования полостей в сторону больших значений сварочного тока. Таким образом, увеличение глубины проплавления и повышение производительности процесса сварки ограничены параметрами режима сварки.

Дальнейшего улучшения параметров режима сварки и увеличения этим глубины проплавления и производитель-

ности процесса без образования в сварных швах полостей и других дефектов можно достигнуть уменьшением амплитуды колебаний металла в сварочной ванне за счет создания импульсного или статического давления на хвостовую часть ванны с помощью второго электрода, газового потока или магнитного потока, а также изменением формы ванны сваркой расщепленным электродом или электродной проволокой большего диаметра.

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ ШВОВ

Контроль качества сварных швов бывает предварительный, промежуточный и окончательный.

Предварительно контролируют соответствие основного металла, электродной проволоки, электродов, защитных газов, флюсов и других материалов требованиям стандартов, сертификатов и заводских документов.

В процессе промежуточного контроля проверяют качество подготовки кромок, правильность сборки согласно технологическому процессу, состояние сварочного оборудования и приспособлений, а также соблюдение режимов, последовательность выполнения операций и выборочно производят внешний осмотр сварных швов.

Окончательный контроль качества сварки производится после завершения сварочных работ.

Сварка цветных металлов требует от сварщика высокой теоретической и практической подготовки. Поэтому к выполнению работ по сварке и наплавке цветных металлов допускаются только сварщики, которые прошли специальную подготовку и аттестованы на право выполнения таких работ.

Сварные соединения проверяют внешним осмотром, механическими испытаниями контрольных образцов, металлографическими исследованиями, химическим анализом, просвечиванием рентгеновскими и гамма-лучами, с помощью ультразвука и другими способами.

Внешним осмотром невооруженным глазом или с помощью лупы выявляют наружные дефекты. Металлографические исследования производят засверловкой с последующим травлением и осмотром внутренней поверхности. При необходимости (предусмотрено техническими условиями на изделие) производят полные металлографические исследования. Для этого готовят макро- и микрошлифы из контрольных пластин или непосредственно из сварных соединений. Для выявления макроструктуры алюминия и его сплавов применяют травитель состава, %: H_3PO_4 — 4, HNO_3 — 24 и HCl — 72.

После шлифовки и полировки на кругах в мыльной или тальковой пасте травят составом, %: H_3PO_4 — 10, HNO_3 — 15, HCl — 25 и дистиллированная вода — 50. Время травления — до полного выявления макроструктуры. Выявление макроструктуры меди и ее сплавов производят в водном растворе надсернистого аммония $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ или в травителе состава: FeCl_3 — 5 г, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ — 10 г и дистиллированная вода — 50 мл. Время травления 5—10 с при температуре раствора 50—60 °С.

Механические испытания сварных соединений или металла шва производят на образцах, изготовленных из контрольных пластин или вырезанных непосредственно из сварного соединения, согласно техническим условиям на изделие и ГОСТ 6996—66. Для механических и коррозионных испытаний швов изделий ответственного назначения контрольные пластины должны быть одной плавки со свариваемым металлом, сварочная или присадочная проволока должна быть также одной плавки, плавленные флюсы одной выплавки, а керамические флюсы одной партии с теми, которые расходуются на сварку контролируемых изделий.

Химическим анализом устанавливают соответствие состава основного металла, металла шва и наплавленного металла техническим условиям. Рентгеновскими и гамма-лучами обнаруживают поры, полости, трещины, шлаковые включения и непровары. Максимальная толщина металла, контролируемая рентгенопросвечиванием, составляет 100 мм, а гамма-лучами — до 350 мм.

На непроницаемость сварные швы испытывают сжатым воздухом, керосиновой пробой, гидравлическим способом и др. При испытании сжатым воздухом в испытываемую емкость нагнетают сжатый воздух до давления, указанного в технических условиях на его изготовление, а снаружи швы покрывают мыльным раствором. Дефектные места определяют по наличию мыльных пузырей.

Керосиновой пробой испытывают сварные швы изделий, работающих без избыточного давления. При этом сварные швы с внешней стороны покрывают водным меловым раствором, а с внутренней — смачивают керосином. В случае дефектов на меловой стороне появляются керосиновые пятна. Контроль керосиновой пробой позволяет обнаруживать только сквозные дефекты.

Гидравлическим испытаниям подвергают сварные трубопроводы, сосуды и другие резервуары, работающие под давлением. Для этого все отверстия на изделии плотно закрывают заглушками и заполняют его водой. Гидравлическим прес-

сом создают давление, в 1,5 раза превышающее рабочее, и выдерживают при таком давлении в течение времени, оговоренного в технических условиях на изделие. Затем уменьшают давление до рабочего и контролируют наличие запотевания и воды на поверхности сварных швов в местах сквозных дефектов.

Швы и наплавленный металл с внутренними трещинами, несплавлениями или шлаковыми включениями вырубает пневмозубилом или удаляют переносной механической фрезой с последующей их заваркой. Наружные трещины устраняют путем засверловки по краям, разделки под углом 60—70° и заварки. Качество швов с отремонтированными дефектами контролируют вновь.

ИСПЫТАНИЕ НА КОРРОЗИЮ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Надежность работы конструкций в агрессивных средах определяется высокой коррозионной стойкостью сварных швов. Для испытания на коррозионную стойкость сварных соединений из заваренных контрольных пластин вырезают два образца из сварного шва в поперечном к нему направлении и два образца в том же направлении из основного металла. Длина вырезаемого образца должна быть равна $L = 3B_{\text{ш}}$, где L — длина образца, мм, $B_{\text{ш}}$ — ширина сварного шва до удаления усиления, мм. Ширина образца для всех случаев принимается равной 40 мм.

Вырезанные образцы обрабатываются строганием или фрезерованием со всех сторон с точностью $\pm 0,1$ мм. Измерение каждой ширины сварного шва выполняется на механически обработанном образце и принимается как среднее арифметическое из пяти замеров. Подготовленные таким образом образцы выдерживаются в растворе соответствующего состава. Например, для алюминия и его сплавов образцы испытываются в 50 %-ном водном растворе кипящей азотной кислоты в течение двух часов.

Критерий коррозионной стойкости, $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, определяется по зависимости:

$$K = \frac{1800(m'_{\text{ш}} - m''_{\text{ш}}) - [(m'_0 - m''_0) - X]}{10^{-6} B_{\text{ср}} (A + \delta) t} \quad (7.1)$$

Величина X показывает, на сколько граммов уменьшится масса металла шва после травления образца по отношению к травленой поверхности всего образца:

$$X = \frac{B_{\text{ср}} (A + \delta) (m'_0 - m''_0)}{A + \delta + L (A + \delta)}.$$

Здесь $m'_{ш}$, $m''_{ш}$ — масса образца со швом до травления и после травления, г; m'_0 , m''_0 — масса образца, изготовленного из основного металла, до травления и после травления, г; $B_{ср}$ — средняя ширина сварного шва, $B_{ср} = 0,5 (B_1 + B_2)$; мм (B_1 — ширина шва на обработанном образце с одной стороны, мм; B_2 — ширина шва на обработанном образце с другой стороны образца, мм); A — ширина образца, мм; δ — толщина образца, мм; L — длина образца, мм; t — время испытания, с.

Если критерий коррозионной стойкости K меньше или равен определенной величине K' , коррозионная стойкость сварных швов считается удовлетворительной. Так, например, для алюминия и его сплавов $K' \leq 500$ г/(м² · ч). Коррозионная стойкость сварных швов считается достаточной, если $K' < 500$ г/(м² · ч), и она будет тем выше, чем меньше K . Применительно к другим металлам критерий K' должен быть рассчитан и откорректирован опытным путем.

Пример. Необходимо испытать на коррозионную стойкость шов заваренной пластины алюминия АД1, толщиной 24 мм. Ширина шва до удаления усиления составила 25 мм.

Тогда длина образца равна $L = 3 \cdot 25 = 75$ мм. Ширина его 40 мм, а толщина металла после двусторонней механической обработки и снятия усиления швов с двух сторон составляет 20 мм. Ширина сварного шва после снятия усиления с одной стороны $B_1 = 24$ мм, а с другой — $B_2 = 25$ мм. Тогда $B_{ср} = 0,5 (B_1 + B_2) = 0,5 (24 + 25) = 24,5$ мм.

Масса образца со швом до травления составила $m'_{ш} = 162,6$ г, а после травления $m''_{ш} = 160$ г. Масса эталонного образца без сварного шва до травления составила $m'_0 = 162$ г, после травления $m''_0 = 161$ г.

Тогда $X = 0,28$ г, а критерий коррозионной стойкости рассчитывается по формуле (7.1):

$$K = \frac{1800 \cdot 2,6 - (1 - 0,28)}{10^{-6} \cdot 24,5 \cdot 60 \cdot 7200} = 451,23 \text{ г/(м}^2 \cdot \text{ч)}.$$

Так как критерий коррозионной стойкости меньше K' , т. е. $451,23 \leq 500$, коррозионная стойкость сварного шва считается приемлемой.

ИСПРАВЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ СВАРКИ

Обнаруженные дефекты в сварных швах могут быть допущены без устранения и ремонта, если они не оказывают влияния на прочность, плотность и работоспособность изделий.

В случае, когда размер и число дефектов больше нормы, установленной техническими условиями на изделие, швы бракуются и подлежат ремонту.

Трещины засверливаются по краям сверлом диаметром 3—5 мм и разделяются до здорового металла. Внутренние поры, полости и каналы также удаляются, а швы ремонтируются сваркой с применением тех же сварочных материалов, что и при сварке изделий. Отремонтированные сварные швы подлежат контролю вновь. Число возможных ремонтов должно быть оговорено в технических условиях на изделие.

Глава 8. ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОЧЕГО МЕСТА И ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

НОРМИРОВАНИЕ ТРУДА СВАРЩИКА ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Экономическая эффективность работы зависит от организации труда на каждом рабочем месте. Для определения экономической эффективности внедрения новых технологических процессов и оборудования необходимо знать себестоимость продукции, выпускаемой по заменяемой технологии и новому ее варианту.

Себестоимость продукции — это часть затрат общественного труда, выраженная в денежной форме на ее изготовление и реализацию. При расчете экономической эффективности вновь внедряемого технологического процесса или нового способа сварки рассчитывают полную, производственную, цеховую и технологическую себестоимости выпускаемых изделий (или отдельных операций их изготовления).

Полная себестоимость изготовления изделия представляет собой сумму затрат предприятия на его производство и реализацию и выражается зависимостью $C_x = C_{\phi} + C_n$, где C_x — полная себестоимость; C_{ϕ} — производственная себестоимость, C_n — непроизводственные расходы. Непроизводственные расходы состоят из расходов по реализации, расходов на тару, упаковку, перевозку и т. д.

Производственная себестоимость изделия объединяет все затраты предприятия на его производство и выражается зависимостью: $C_{\phi} = C_{ц} + C_n + C_6 + C_0$, где $C_{ц}$ — цеховая себестоимость; C_n — расходы на подготовку и освоение производства; C_6 — затраты, обусловленные браком; C_0 — общезаводские расходы, приходящиеся на изделие.

Цеховая себестоимость изделий $C_{ц}$ включает затраты на изготовление изделия и материалы и складывается из соответствующих затрат по отдельным цехам, которые участвуют в его изготовлении. В общем виде цеховая себестоимость определяется как сумма затрат на материалы и технологическую себестоимость процесса производства и выражается зависимостью: $C_{ц} = C_{м} + C_{т}$, где $C_{м}$ — затраты на материалы; $C_{т}$ — технологическая себестоимость.

Затраты на материалы могут быть рассчитаны по формуле $C_{м} = M_{н}C_{м}K_{т} - M_{о}C_{о}$, где $M_{н}$ — норма расхода материала на изделие; $C_{м}$ — оптовая цена на материал; $K_{т}$ — коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы при приобретении материалов (транспортировка, хранение, подготовка материалов к использованию в производстве и неизбежные потери при их хранении). Произведение $M_{о}C_{о}$ показывает стоимость использованных отходов на производство или полученную при их реализации на сторону.

В технологическую себестоимость $C_{т}$ входят: основная и дополнительная заработная плата с отчислениями в фонд социального страхования, затраты на содержание оборудования (амортизация, ремонт, энергия, смазочные материалы), затраты по эксплуатации приспособлений и оснастки, по содержанию зданий и сооружений, расходы на зарплату ИТР, служащих и младшего обслуживающего персонала и вспомогательных рабочих, расходы по эксплуатации транспортного и другого вспомогательного оборудования, не закрепленного за отдельными рабочими местами, расходы по охране труда и технике безопасности, хозяйственному инвентарю, сантехнике, а также другие расходы, относящиеся ко всей продукции цеха.

Расходы на подготовку и освоение производства охватывают затраты по технологической подготовке и освоению производства новых видов продукции и более совершенных технологических процессов. Если внедрению новой техники или технологии предшествует выполнение научно-исследовательских работ (НИР), то в величину $C_{п}$ включают также и долю предпроизводственных затрат по НИР.

Затраты на брак $C_{б}$ подлежат учету, если внедрение новой техники приводит к изменению реальной величины брака, имеющей место до ее внедрения. Общезаводские расходы $C_{о}$ состоят из расходов на содержание заводоуправления и других, связанных с производственной деятельностью предприятия в целом.

Организация рабочего места состоит в целесообразном оснащении, рациональной планировке, эффективном обслужи-

вании и обеспечении безопасной работы. Эти составляющие должны создавать условия для высокопроизводительного и качественного труда, а организация труда на рабочих местах — обеспечивать применение высокопроизводительных процессов и приемов работы сварщиков с минимальными затратами сил и рабочего времени.

Для восстановления изношенных биметаллических деталей широко применяется наплавка цветных металлов. При механической обработке наплавленных деталей значительная часть цветного металла уходит в стружку. Учитывая его высокую стоимость, а во многих случаях и большую дефицитность, необходимо применять способы наплавки и технологические приемы их выполнения, обеспечивающие наименьшие отходы цветного металла и максимальную экономичность процесса.

Экономичность наплавки можно выразить через показатель качества технологического процесса.

$$q_k = m_c / S_n,$$

где q_k — показатель качества технологического процесса, г/см²; m_c — масса металла, идущего в стружку при механической обработке наплавленной поверхности, г; S_n — площадь наплавленной поверхности, подлежащая механической обработке, см².

Если $q_k < 3$ г/см², технология наплавки считается удовлетворительной, при $q_k > 3$ г/см² технология наплавки неудовлетворительная. Чтобы получить минимальный показатель качества при наплавке, например, дисков, сфер, конусов, чаш и других деталей, необходимо согласовывать в каждый конкретный момент времени параметры режима наплавки и частоту вращения детали. Это можно достигнуть с помощью логической согласующей системы (Л—С—С), включенной в цепь: источник — автомат — дуга — шов — манипулятор (И—А—Д—Ш—М).

При нормировании труда по нормативам выполняют расчет штучного времени (время на изготовление одного изделия) и затраты на сварку партии изделий по формулам:

$$T_{шт} = [(T_0 + T_{в.ш})L + T_{в.и}]k; \quad T_{пар} = T_{шт}n + T_{п.з},$$

где $T_{шт}$ — штучное время, мин; T_0 — основное время сварки, мин/м погонной длины; $T_{в.ш}$ — вспомогательное время, зависящее от длины сварного шва, мин/м; L — длина шва, м; $T_{в.и}$ — вспомогательное время, зависящее от изделия и типа оборудования, мин; $T_{пар}$ — время сварки партии изделий, мин; n — число изделий, включенных в партию, шт.; $T_{п.з}$ —

подготовительно-заключительное время на партию, мин;
 k — коэффициент, учитывающий время на отдых, обслужива-
 ние рабочего места и естественные надобности.

Основное время сварки определяется по формуле:

$$T_o = 60F_{ш\rho}/(I_{св}\alpha_n) = 60/v_{св},$$

где $F_{ш}$ — площадь поперечного сечения сварного шва, мм²;
 ρ — плотность наплавленного металла, г/см³; $I_{св}$ — сила
 сварочного тока, А; α_n — коэффициент наплавки, г/(А · ч);
 $v_{св}$ — скорость сварки, м/ч.

Площадь поперечного сечения шва без учета потерь метал-
 ла на угар и разбрызгивание выражается зависимостью $F_{ш} =$
 $= F_s v_s / v_{св}$, где F_s — площадь сечения электродной проволо-
 ки, мм²; v_s — скорость подачи электродной проволоки, м/ч.

Зная время изготовления одного изделия $T_{шт}$, разряд
 выполняемой работы и сетку оплаты, устанавливают числен-
 ность рабочих, их заработную плату, трудоемкость произво-
 димых работ и степень механизации.

Численность основных рабочих рассчитывается по формуле:

$$N_{осн} = T_{шт} V_r / (\Phi_p K_n K_m),$$

где V_r — годовой объем выпуска, шт.; Φ_p — действительный
 годовой фонд времени рабочего, ч; K_n — коэффициент выпол-
 нения нормы (1,1–1,25); K_m — коэффициент многостаночного
 обслуживания, $K_m = T_{шт}/t_{всп}$ ($t_{всп}$ — вспомогательное вре-
 мя, ч).

Действительный годовой фонд времени рабочего равен:

$$\Phi_p = \Phi_n (1 - H_y / 100),$$

где Φ_n — номинальный фонд времени, ч; H_y — невыход по
 уважительным причинам, в % от номинального фонда времени
 (выполнение государственных обязанностей, болезни, отгу-
 лы и др.).

Номинальный фонд времени рассчитывается по формуле:

$$\Phi_n = (365 - П - В - ПП - ПВ)de + (ПП + ПВ)d'e,$$

где $П$ — число праздничных дней в году; $В$ — число выходных
 дней в году; $ПВ$ — число предвыходных дней в году; $ПП$ —
 число предпраздничных дней в году; d — длительность смены,
 ч; d' — длительность смены в предпраздничные и предвыход-
 ные дни, ч; e — число смен в сутки.

Зарботная плата производственных рабочих при наиболее
 широко применяемой сдельной системе оплаты определяется по
 формуле:

$$C_p = T_{шт} C_T K_n,$$

где C_p — заработная плата производственных рабочих, руб.;
 C_T — часовая тарифная ставка, руб.

При расчете экономической эффективности внедрения но-
 вого технологического процесса или оборудования учитыва-
 ется дополнительная заработная плата и отчисление в фонд
 социального страхования.

Дополнительная заработная плата рассчитывается по фор-
 муле:

$$C_d = C_p a / 100,$$

где C_d — дополнительная заработная плата, руб.; a — отчисление
 дополнительной заработной платы от основной, %.

Отчисление в фонд социального страхования определяет-
 ся по зависимости:

$$C_o = (C_p + C_d) b / 100,$$

где C_o — отчисление в фонд социального страхования, руб.;
 b — отчисление на социальное страхование от суммы основной
 и дополнительной заработной платы, %.

Трудоемкость выполняемых работ рассчитывается следую-
 щим образом:

$$T = BK_p d K_n / (1 + \eta),$$

где T — трудоемкость, чел.-ч; B — время выполнения работы
 в рабочих днях; k_p — количество рабочих, участвующих од-
 новременно в работе; d — длительность смены, ч; η — коэф-
 фициент отвлечения на другие работы, $\eta \approx 0,1$.

Одним из важнейших показателей изготовления сварных
 конструкций является степень механизации сварочных работ.
 Для повышения механизации труда должны широко приме-
 няться механизированные и автоматические способы сварки,
 а там, где это невозможно, то и полуавтоматические сварочные
 процессы, сварочные роботы, универсальные сборочно-свароч-
 ные приспособления и новые методы организации производства,
 повышающие производительность труда, качество сварных
 соединений и улучшающие культуру производства.

Степень механизаций сборочно-сварочных работ рассчиты-
 вается по формуле:

$$M = \left\{ \left[\sum_{i=1}^n (T_{мi} P_i) \right] / \left[\sum_{i=1}^n (T_{мi} P_i + T_p) \right] \right\} 100 \%,$$

где M — степень механизации, %; $T_{мi}$ — трудоемкость опера-
 ции, выполняемой механизированным способом, ч; T_p — тру-
 доемкость операции, выполняемой немеханизированным спо-
 собом, ч; P_i — коэффициент производительности оборудова-
 ния, определяемый как отношение трудоемкости до и после
 механизации.

Значительное улучшение организации труда при современном производстве невозможно без широкого применения вычислительной техники и других самых передовых достижений науки и техники. Так, например, для решения таких проблем может быть успешно применена система механизированной обработки информации и связи; Р—М—Н (рабочий — мастер — начальник).

На рис. 8.1 приведена схема автоматизированного управления производством. Пульт А устанавливается в комнате мастера на производственном участке, а пульт Б — на рабочем месте начальника цеха. Перед началом смены начальник цеха сообщает мастерам шифр на данный рабочий день для включения электронной системы управления в работу. После этого мастер включает систему в работу и на пульте А набирает условные номера всех рабочих, приступивших к работе.

В конце смены мастер включает кнопку «Ключ», а на блоке «Условный номер» набирает шифр рабочего. Затем на блоке «Условный номер» включает кнопку способа сварки, далее кнопку «Метр шва», а на блоке «Показатели» набирает количество метров шва, выполненных рабочим в течение смены или за определенное время. После этого включает кнопку «Катет шва», а на блоке «Показатели» набирает его числовое значение. Такие операции мастер повторяет на каждого рабочего.

При выполнении наплавочных работ мастер включает кнопку «Площадь наплавки», набирает ее значение на блоке «Показатели», затем включает кнопку «Толщина наплавки», а на блоке устанавливает ее значение. Такие данные вводятся в память электронного блока на каждого рабочего.

На пульте Б горят только те лампочки-кнопки, которые условно обозначают место работающего на участке. Путем включения кнопок «Отработанное время», «Трудоемкость», «Расход электродов» и т. д. можно получить на световом табло необходимую информацию конкретно о каждом рабочем. На пульте Б может быть также установлена кнопка «Заработная плата», электронный расчет которой дается на табло «Показания» только после того, как мастер ОТК на своем рабочем месте включит номер готового изделия и даст сигнал «Принято».

Включая кнопку «Вызов», а затем условный номер рабочего с помощью лампочек-кнопок, начальник цеха через мастера при необходимости может пригласить любого рабочего. Пульт Б с помощью переключателя можно попеременно включать с любым участком и получить сведения о работе каждого рабочего.

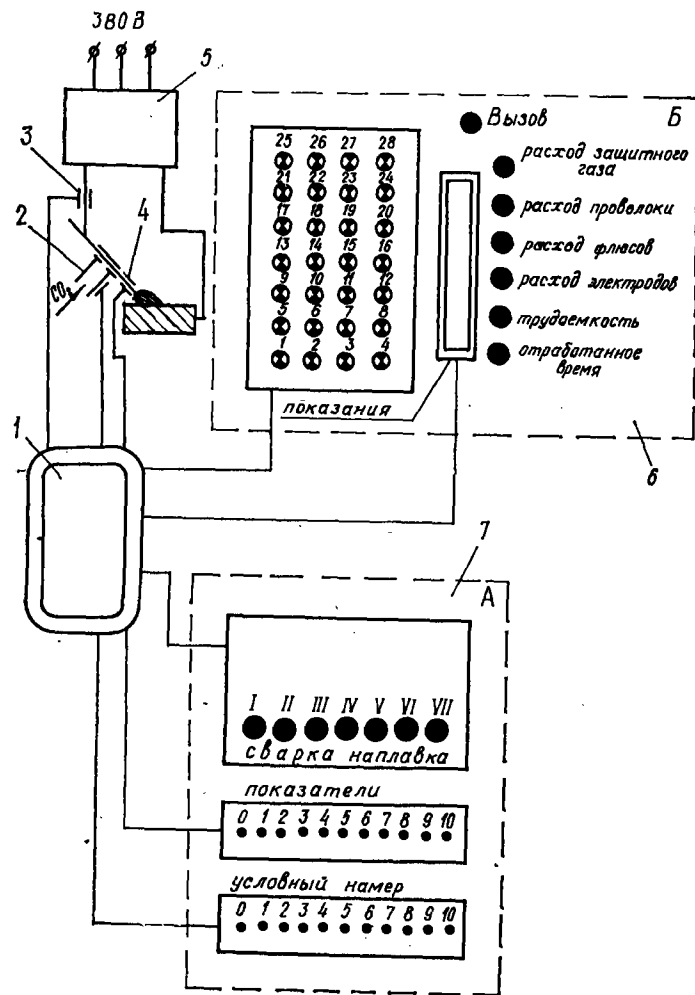


Рис. 8.1. Схема автоматизированного управления производством: I — длина шва; II — катет шва; III — ручная сварка; IV — автоматическая сварка под флюсом; V — полуавтоматическая сварка в среде углекислого газа; VI — площадь; VII — толщина; 1 — интегратор; 2 — датчик расхода защитного газа (применяется при сварке в среде защитного газа); 3 — датчик замера силы сварочного тока; 4 — датчик замера скорости подачи электродной проволоки (применяется при полуавтоматической и автоматической сварке плавящимся электродом); 5 — источник питания дуги

Применение системы электронного управления производственным процессом позволяет максимально снизить штат расчетчиков, нормировщиков, экономистов, заметно улучшить оперативность руководства производством и значительно повысить организацию труда. Это даст возможность снизить трудоемкость и себестоимость изготовления сварных конструкций.

Наряду с системой электронного управления весьма важным является правильное нормирование сварочных работ. Основным в этом случае является расчет штучного времени изготовления изделия, расхода электроэнергии и сварочных материалов.

Удельный расход электродов на шов погонной длиной 1 м определяется по формуле:

$$G_s = k_s \rho F_{ш} 10^{-3},$$

а сварочной проволоки по зависимости:

$$G_n = k_n \rho F_{ш} 10^{-3},$$

где G_s — удельный расход электродов, кг/м; G_n — удельный расход проволоки, кг/м; k_s — коэффициент расхода электродов, равный 1,4—2,3 (для электродов «Комсомолец-100» коэффициент расхода 1,4, а для электродов ОЗА-2, ОЗА-3 коэффициент расхода 2,3); k_n — коэффициент расхода проволоки, учитывающий потери на угар и концевые отходы при заправке автомата. Для сварки под флюсом $k_n = 1,02$, для сварки в среде защитных газов $k_n = 1,1...1,4$.

Затраты флюса определяются расходом сварочной проволоки по зависимости $G_f = k_f G_n$, где k_f — коэффициент, выражающий отношение массы израсходованного флюса к массе затраченной сварочной проволоки. При автоматической сварке $k_f = 1,1...1,4$.

Удельный расход защитных газов устанавливается по зависимости:

$$G_r = k \eta_n t Q'_r,$$

где G_r — расход газа, л на 1 м погонной длины; k — коэффициент, учитывающий дополнительный расход газа на продувку шлангов и горелки, равный 1,15; η_n — коэффициент загрузки сварочного поста. Для ручной дуговой и полуавтоматической сварки $\eta_n = 0,5...0,6$, для автоматической сварки $\eta_n = 0,90...0,95$; t — время сварки 1 м шва, мин; Q'_r — расход газа при сварке, л/мин.

Удельный расход электроэнергии на сварку 1 м шва погонной длины устанавливается по формуле:

$$A_{м.п.д} = 0,001 U_d I_{св} / (\eta \nu_{св}),$$

где $A_{м.п.д}$ — удельный расход электроэнергии на сварку 1 м шва погонной длины, кВт · ч/м; U_d — напряжение на дуге, В; $I_{св}$ — сила сварочного тока, А; η — КПД сварочного поста. При сварке в среде защитных газов КПД = 0,80...0,85.

Удельный расход электроэнергии на 1 кг наплавленного металла определяется по зависимости [13]:

$$A_{кг} = U_d I_{св} t / \eta + P_{х.х} (T - t),$$

где $A_{кг}$ — удельный расход электроэнергии, кВт · ч/кг; t — время горения дуги, ч; $P_{х.х}$ — мощность холостого хода источника питания, кВт; T — полное время работы источника питания, ч.

Для организации сварочного участка расчет необходимого оборудования при непоточном производстве может быть выполнен по зависимости:

$$N_{ос} = T_{шт} n / (\Phi_o k_z k_a),$$

где n — годовой объем выпуска изделий, шт.; Φ_o — действительный годовой фонд времени работы оборудования, ч; k_z — коэффициент загрузки оборудования для единичного и мелкосерийного производства, равный 0,7—0,9; k_a — коэффициент выполнения норм, принимается равным 1,1—1,25.

Степень использования оборудования определяется отношением расчетного количества оборудования к принятому:

$$\beta = (N_{ос} / N) 100,$$

где β — коэффициент, характеризующий степень использования оборудования, %; N — принятое количество оборудования. Принятое количество оборудования N по сравнению с расчетным $N_{ос}$ округляется до целого числа, например: при $N_{ос} = 4,5$ — $N = 5$; при $N_{ос} = 4,3$ — $N = 4,0$.

Действительный годовой фонд времени работы оборудования (ч) определяется по зависимости:

$$\Phi_o = \Phi_n (1 - \Pi / 100),$$

где Π — потери на ремонт и профилактический осмотр, в процентах от номинального фонда времени.

Амортизационные отчисления с оборудования (руб.) рассчитываются по зависимости:

$$A_{ос} = C_{п.о} H_a t / (100 \cdot \Phi_o \rho),$$

где $C_{п.о}$ — первоначальная стоимость оборудования, руб.; H_a — норма амортизации, %; t — время работы оборудования, ч; p — коэффициент загрузки оборудования в течение года.

Норма амортизации с учетом стоимости капитальных ремонтов и модернизации основных фондов за весь амортизационный период определяется по зависимости:

$$H_a = H_a + H_{к.р} = (A_{от}/K_{пер}) 100,$$

где H_a — норма амортизации для полного восстановления основных фондов, %; $H_{к.р}$ — норма амортизации на капитальный ремонт и модернизацию основных фондов, %; $A_{от}$ — ежегодные амортизационные отчисления, руб.; $K_{пер}$ — первоначальная стоимость вновь вводимых в эксплуатацию основных фондов, руб.

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ И ПРОТИВОПОЖАРНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ

При электродуговой сварке цветных металлов несоблюдение правил техники безопасности может привести к поражению глаз и открытых поверхностей тела лучами электрической дуги, отравлению вредными газами, взрыву баллонов с защитными газами, ожогам тела каплями металла, поражению электрическим током, пожарам и т. д. Правильно организованный процесс сварки и соблюдение мер предосторожности с выполнением санитарно-гигиенических требований обеспечивают безвредное и безопасное выполнение работ.

Дуга излучает мощный поток видимых, ультрафиолетовых и инфракрасных лучей. Из них около 66 % составляет инфракрасная радиация с длиной волны более 1,5 мкм, 25 % — инфракрасные лучи с длиной волны 0,75—1,5 мкм, 7 % приходится на видимую часть спектра с длиной волны 0,40—0,76 мкм и 2 % — ультрафиолетовые лучи с длиной волны 0,2—0,4 мкм. Инфракрасные лучи обладают в основном тепловым действием.

Для защиты глаз и лица от излучения дуги электросварщики и их подручные закрывают лицо щитками, маской или шлемом, снабженными светофильтрами согласно ГОСТ 9497—60, который предусматривает четыре типа стеклянных светофильтров из стекла ТС-3.

При сварке токами до 75 А используют светофильтр Э-1, для токов до 200 А служит светофильтр Э-2, если сварка выполняется на токах от 200 до 400 А, то необходимо применять светофильтр Э-3, а для токов более 400 А — светофильтр Э-4. Когда сварочные работы выполняются вне сварочной кабины,

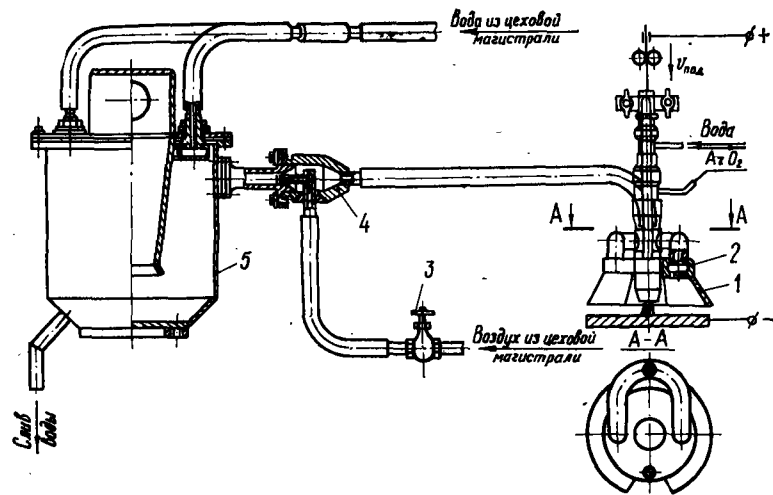


Рис. 8.2. Схема инжекторного местного газоотсоса сварочных аэрозолей с очисткой водяным душем:

1 — насадка; 2 — отсасывающий патрубок; 3 — вентиль магистрального воздуха; 4 — инжектор; 5 — корпус фильтра

для защиты окружающих людей от действия лучей электрической дуги рабочий пост следует ограждать переносными экранами, изготовленными из листового стали, асбестового полотна или другого негорючего материала. Переносные ограждения устанавливают с трех сторон и перемещают в соответствии с технологическим процессом сварки.

Сварочная пыль (аэрозоль) представляет собой смесь мельчайших частиц окислов и минералов. Кроме аэрозоли воздух при сварке в рабочих помещениях загрязняется различными вредными газами. На рабочем месте допускаются ГОСТ 12.1.005—76 такие предельные концентрации вредных веществ в воздухе, мг/м³: алюминий и его окись — 2,0; бериллий и его соединения — 0,001; вольфрам — 6,0; никель и окись никеля — 0,5; свинец и его неорганические соединения — 0,01; окись цинка — 5,0; озон — 0,1; окислы азота в пересчете на N_2O_5 — 5,0; фтористый водород — 0,5; медь — 0,5 и окись меди 0,1, марганец в пересчете на MnO_2 — 0,3 % [4].

Удаление вредных газов и пыли из зоны сварки с подачей чистого воздуха осуществляется местной и общей вытяжной вентиляцией (рис. 8.2). Вентиляционные установки должны обеспечивать воздухообмен при ручной дуговой сварке меди на 1 кг расхода электродов 7000 м³, при сварке алюминия неплавящимся электродом на 1 кг присадочной проволоки 2300 м³,

а при сварке алюминия и его сплавов плавящимся электродом в среде аргона или гелия — 10000 м³ на 1 кг расходуемой сварочной проволоки. В холодный период года подаваемый в зону дыхания сварщика свежий воздух должен иметь температуру 20—22 °С. В случаях, когда вентиляционными средствами нельзя уменьшить содержание пыли и газов, сварщиков в зависимости от места работы нужно обеспечивать противопылевыми респираторами или шланговыми противогазами. На открытой поверхности применяются респираторы ШБ-1, «Лепесток», «Астра-2», в закрытых помещениях малого объема используются противогазы ПШ-1, ПШ-2, ДПА-5, АСМ и др.

Значительную опасность представляют взрывы баллонов, в которых находятся под давлением защитные и активные газы. Однако взрывы баллонов возможны только в случае неправильной транспортировки, хранения и пользования.

Газы, находящиеся в баллонах, нельзя хранить вместе с легковоспламеняющимися веществами (хлопок, сено, джут, пенька, сера, торф, древесный уголь); с веществами, самовозгорающимися от действия воды и воздуха (натрий, калий, кальций, карбид кальция, фосфористые кальций и натрий, цинковая пыль; перекись натрия и бария, алюминиевые пыль и пудра, белый и желтый фосфор); с веществами, которые могут вызывать воспламенение (бром, азотная кислота, серная кислота, хромовый ангидрид, марганцовокислый калий и др.).

Транспортировка баллонов из цеха в цех, а также из цеха-наполнителя в цех-потребитель производится на автомашинах. Укладывают баллоны не более чем в три слоя штуцерами в одну сторону в специальные рамы с гнездами, обклеенными войлоком.

При выполнении сварочных работ допускается установка баллонов с аргоном, азотом, гелием и кислородом в любом сочетании в одну стойку, оборудованную гнездами и хомутами или цепями для закрепления баллонов в вертикальном положении. Баллоны должны находиться на расстоянии не менее 1 м от радиаторов отопления, а от источников тепла с открытым огнем — на расстоянии не менее 5 м. При наличии у отопительных приборов экранов, предохраняющих баллоны от местного нагрева, расстояние от баллонов до экрана может быть уменьшено до 0,1 м.

Сварочные кабели и электропроводку необходимо располагать от трубопроводов кислорода на расстоянии не менее 0,5 м. В отдельных случаях допускается сокращение указанного расстояния вдвое, если газопроводы помещены в защит-

ную металлическую трубку с кольцевым зазором не менее 20 мм.

Поражение электрическим током возможно при неисправном сварочном оборудовании, неправильном его включении, отсутствии заземления, неисправности электропроводки и неправильном выполнении сварочных работ. Для предотвращения поражения электрическим током напряжение холостого хода источников питания дуги постоянным током не должно превышать 90 В, а переменным током 75 В. Корпуса сварочных агрегатов, распределительных щитов и шкафов необходимо заземлять изолированным медным проводом (площадь сечения 6 мм²) или стальным (площадь сечения 12 мм²). Сопротивление заземляющего провода не должно превышать 4 Ом.

Стационарно установленные светильники местного освещения, находящиеся на расстоянии от пола до 2,5 м, должны быть рассчитаны на напряжение не более 36 В. При сварке внутри резервуаров, котлов, труб и других закрытых или сложных конструкций следует пользоваться резиновым ковриком, а для освещения применять переносные лампы напряжением 12 В.

К каждой стационарной установке для автоматической сварки, у которой сварочная головка расположена на высоте более 1,6 м от уровня пола, требуется рабочая площадка с настилом из диэлектрического материала. Площадку ограждают перилами и оборудуют стационарной лестницей.

Все работы, связанные с подогревом изделий перед сваркой или наплавкой, с использованием природного газа, других горючих газов или жидкостей, обязаны выполнять подогревальщики, которые прошли специальную подготовку и имеют удостоверение на право выполнения таких работ.

Сварщики должны работать в брезентовом костюме с наглухо застегнутыми рукавами, в ботинках, выпущенных поверх обуви. При работе в хлопчатобумажном костюме необходимо пользоваться брезентовым фартуком. Для защиты рук сварщики применяют брезентовые или кожаные перчатки или рукавицы.

При выполнении сварочных работ требуется строго соблюдать правила пожарной безопасности. Рабочий участок, где производится сварка, должен быть оборудован огнетушителями, бочками или ведрами с водой, ящиками с песком и лопатой, а также другими противопожарными средствами. К выполнению сварочных работ допускаются рабочие, прошедшие инструктаж по пожарной безопасности.

**УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ СВАРНЫХ ШВОВ
И ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН,
ВСТРЕЧАЮЩИХСЯ В ТЕКСТЕ**

**1. Условные изображения и обозначения швов сварных соединений
определены ГОСТ 2.312—72.**

Согласно этому стандарту видимые швы независимо от способа сварки условно изображают на чертежах основными сплошными линиями, а невидимые швы — штриховыми линиями. Видимую одиночную точку показывают знаком «+» с выполнением сплошными основными линиями. При этом невидимые одиночные точки не изображают.

В условное изображение сварного шва или одиночной сварной точки входит:

- 1) вспомогательные знаки шва по замкнутой линии или монтажного шва;
- 2) буквенно-цифровое обозначение шва по стандарту на типы и конструктивные элементы швов сварных соединений;
- 3) условное обозначение способа сварки по стандарту, их типы и конструктивные элементы (допускается не указывать);
- 4) знак $\diagup$ и размеры катета сварного шва согласно стандарту;
- 5) для прерывистого шва указывается размер длины провариваемого участка, знак $\diagup$ или Σ и размер шва;
- 6) для одиночной точки указывается размер расчетного диаметра точки;
- 7) при обозначении шва контактной точечной электросварки указывается размер расчетного диаметра точки или электрозащелки, знак $\diagup$ или Σ и размер шага;
- 8) для прерывистого шва контактной шовной электросварки указывается размер расчетной ширины шва, знак умножения, размер длины провариваемого участка, знак $\diagup$ и размер шага.

Кроме того, при необходимости проставляются вспомогательные знаки, обозначающие, например, шероховатость поверхности, снятие усиления и др.

Способы сварки имеют такие условные обозначения:

- Р — ручная электродуговая сварка;
 АФ — автоматическая сварка под слоем флюса без использования подкладок, подушек и подварочного шва;
 АН—Згф — автоматическая в защитных газах неплавящимся электродом трехфазная;
 А—Ф — автоматическая сварка алюминия по флюсу расщепленным электродом;

- А—З — автоматическая сварка плавящимся электродом в защитных газах;
 Рн—З — ручная сварка неплавящимся электродом в защитных газах;
 П—З — полуавтоматическая сварка плавящимся электродом в защитных газах;
 АН—З — автоматическая сварка неплавящимся электродом в защитных газах;
 П—Ф — полуавтоматическая сварка под флюсом;
 Г — газовая сварка;
 Кт — контактная точечная сварка;
 Кр — контактная роликовая сварка;
 Ш — электрошлаковая и др.

Вспомогательные знаки для обозначения сварных швов приведены в табл. П. 1. Знаки обозначения швов сварных соединений располагают над полкой линии-выноски, когда она проведена от изображения шва с обратной стороны.

Если для шва сварного соединения установлен контрольный комплекс или категория контроля шва, то его обозначение допускается помещать под линией-выноской. При наличии на чертеже одинаковых швов обозначение наносится у одного из изображений, а от изображений остальных одинаковых швов проводят линии-выноски с полками. В этом случае всем одинаковым швам присваивают один порядковый номер, который наносят на линии-выноске, имеющей полку с нанесенным изображением шва на полке линии-выноски, проведенной от изображения шва, не имеющего обозначения с лицевой стороны. Допускается не присваивать порядковый номер швам, если все швы на чертеже одинаковы и изображены с одной стороны, при этом швы, не имеющие обозначения, отмечают линиями-выносками без полок.

II. Физические величины, встречающиеся в тексте

Время, частота

- 1 ч = 3600 с
 Колебание в секунду = 1 Гц
 Период в секунду = 1 Гц

Скорость

- 1 м/мин $\approx 0,01667$ м/с
 1 м/ч $\approx 0,2778 \cdot 10^{-3}$ м/с
 1 км/ч $\approx 0,2778$ м/с

Сила

- 1 кгс = 9,80665 Н
 1 дин = 10^{-5} Н

Плотность

- 1 г/см³ = 10^3 кг/м³

Давление, механическое напряжение

- 1 ат = 1 кг/см² = $9,80665 \cdot 10^4$ Н/м² = 0,0980665 МПа
 1 кг/м² = 1 мм вод. ст. = 9,80665 Н/м² = 9,80665 Па
 1 мм. рт. ст. = 133,322 Н/м² = 133,322 Па
 1 кг/мм² = 9,80665 Па

Работа, энергия, мощность

1 кг · м = 9,80665 Дж
 1 Вт · с = 1 Дж
 1 кВт · ч = 3,6 МДж
 1 кал/с = 4,1868 Вт

Массовый и объемный расход

1 г/с = 10⁻³ кг/с
 1 см³/с = 10⁻⁶ м³/с
 1 м³/ч = 2,778 · 10⁻⁴ м³/с
 1 л/мин = 1,6667 · 10⁻⁵ м³/с

Теплота, термодинамический потенциал

1 кал = 4,1868 Дж
 1 ккал = 4186,8 Дж

Тепловой поток, тепловая мощность

1 ккал/ч = 1,163 Вт
 1 кал/с = 4,1868 Вт

Удельная теплота, удельная энтальпия

1 кал/г = 4186,8 Дж/кг
 1 кал/моль = 4,1868 Дж/моль

Удельная теплоемкость

1 кал/(г · °С) = 1 ккал/(кг · °С) = 1 кал/(моль · °С)
 = 4186,8 Дж/(кг · К)

Теплопроводность, температуропроводность

1 кал/(см · с · °С) = 418,68 Вт/(м · К)
 1 эрг/(см · с · °С) = 10⁻⁸ Вт/(м · К)
 1 кал/(с · см² · °С) = 4,1868 · 10⁴ Вт/(м² · К)

Газовая постоянная

1 кал/(г · °С) = 4186,8 Дж/(кг · К)
 1 кал/(моль · °С) = 4186,8 Дж/(кмоль · К)

Таблица II.I. Вспомогательные знаки для обозначения сварных швов

Знак	Значение знака	Расположение знака относительно полки линии выноски	
		с лицевой стороны	с оборотной стороны
	Усиление шва снять		
	Напильны и неровности шва обработать с плавным переходом к основному металлу		
	Шов выполнить при монтаже изделия		
	Шов прерывистый или точечный с цепным расположением. Угол наклона линии 60°		
	Шов прерывистый или точечный с шахматным расположением		
	Шов по замкнутой линии; диаметр знака 3—5 мм		
	Шов по незамкнутой линии. Знак принимают, если расположение шва ясно из чертежа		

Примечания: 1. За лицевую сторону одностороннего шва сварного соединения принимают сторону, с которой производят сварку. 2. За лицевую сторону двустороннего шва сварного соединения с несимметрично подготовленными кромками принимают сторону, с которой производят сварку основного шва. 3. За лицевую сторону двустороннего шва сварного соединения с симметрично подготовленными кромками может быть принята любая сторона.

1. **Алюминиевые сплавы:** Свойства, обработка, применение. Пер. с нем. М. Е. Дрица и Л. Х. Райтбарга. М., Металлургия, 1979. 678 с.
2. **Багрянский К. В., Кузьмин Г. С.** Сварка никеля и его сплавов. М., Машиностроение, 1963. 163 с.
3. **Волгов В. А.** Детали и узлы радиоэлектронной аппаратуры. М., Энергия, 1977. 654 с.
4. **Вредные вещества в промышленности:** Справочник / Под ред. Н. В. Лазарева и И. Д. Гадаскиной. Л., Химия, 1977. 607 с.
5. **Гуревич С. М.** Справочник по сварке цветных металлов. К., Наук. думка, 1981. 606 с.
6. **Макаров В. И., Скачков Ю. Н.** Сварка магниевых сплавов. М., Машиностроение, 1972. 120 с.
7. **Мальцев М. В.** Металлография промышленных цветных металлов и сплавов. М., Металлургия, 1970. 365 с.
8. **Металлургия и технология сварки титана и его сплавов** / Под ред. С. М. Гуревича. К., Наук. думка, 1979. 299 с.
9. **Никифоров Г. Д.** Металлургия сварки плавлением алюминиевых сплавов. М., Машиностроение, 1972. 262 с.
10. **Новожилов Н. М.** Основы металлургии дуговой сварки в газах. М., Машиностроение, 1979. 230 с.
11. **Псарас Г. Г.** Эффективность сварки алюминиевых цистерн плавящимся электродом в смеси аргона с кислородом.— В кн.: Пути интенсификации и повышение эффективности сварочного производства.— М., ДНТП, 1977, с. 71—76.
12. **Псарас Г. Г.** Сварка меди плавящимся электродом в защитной среде с примесью кислорода. М., НИИинформтяжмаш, 1979, № 10-79-11, с. 3—6. (Сер. Технология, орг. и механизация свароч. пр-ва).
13. **Сварка в машиностроении:** Справочник. [В 4-х т.] / Под ред. В. А. Винокурова. М., Машиностроение, 1980. Т. 2. 567 с.
14. **Смирягин А. П., Смирягина Н. А., Белова А. В.** Промышленные цветные металлы и сплавы: Справочник. М., Металлургия, 1974. 487 с.
15. **Энгель А.** Ионизованные газы. Пер. с англ. под ред. И. С. Иоффе. М., Физматгиз, 1959. 332 с.

Предисловие	3
Основные обозначения	4
Глава 1. Свойства и свариваемость цветных металлов и сплавов	5
Алюминий и его сплавы	5
Магний и его сплавы	8
Медь и ее сплавы	10
Никель и его сплавы	15
Титан и его сплавы	17
Свинец	21
Глава 2. Основные сведения о дуге и способах сварки	22
Сварочная дуга	22
Дуговая сварка	24
Плазменная сварка	26
Электронно-лучевая сварка	27
Лазерная сварка	28
Электрошлаковая сварка	29
Сварка роботами	30
Глава 3. Сварочные материалы	31
Сварочные проволоки	31
Неплавящиеся электроды	32
Защитные газы	33
Флюсы	34
Электроды для ручной дуговой сварки	35
Глава 4. Элементы электроники и сварочное оборудование	37
Резисторы, конденсаторы, полупроводниковые приборы	37
Электродвигатели, логические схемы и усилители сварочных установок	55
Источники питания сварочной дуги	62
Сварочные трансформаторы	66
Сварочные выпрямители	67
Сварочные горелки	70
Сварочные автоматы и полуавтоматы	74
Вспомогательная аппаратура	75
Глава 5. Технология сварки цветных металлов и сплавов	77
Сварка алюминия и его сплавов	77
Сварка алюминиевых котлов железнодорожных цистерн	97
Сварка меди и ее сплавов	99

Сварка конических кристаллизаторов	111
Сварка кристаллизаторов для выплавки заготовок коленчатых валов	114
Сварка панельных кристаллизаторов	116
Сварка бронзовых втулок большого диаметра	119
Сварка трубопроводов	120
Сварка никеля, магния, свинца и их сплавов	124
Сварка свинцовых электролитических ванн	130
Сварка титана и его сплавов	131
Глава 6. Сварка в ремонтных и наплавочных работах	141
Сварка цветных металлов в ремонтных работах	141
Наплавка меди и ее сплавов	144
Наплавка баббита на стали	148
Глава 7. Дефекты сварки и контроль качества сварных швов	148
Основные дефекты сварки	148
Контроль качества сварных швов	151
Испытание на коррозию сварных соединений	153
Исправление дефектов сварки	154
Глава 8. Организация рабочего места и техника безопасности	155
Нормирование труда сварщика цветных металлов	155
Техника безопасности и противопожарные мероприятия	164
Приложение	168
Список литературы	172

ГЕННАДИЙ ГЕОРГИЕВИЧ ПСАРАС
АНАТОЛИЙ ИВАНОВИЧ ЕЖЕЛЬ

Сварщику ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Справочное пособие

Зав. редакцией *Г. И. Землянский*
Редактор *Н. З. Быковская*
Художник *Е. Т. Сердюченко*
Художественный редактор *С. О. Лукачев*
Технический редактор *В. М. Авдеенко*
Корректор *Л. А. Погребижская*

Информ. бланк № 1464

Сдано в набор 17.05.85. Подписано в печать 18.09.85.
БП 08975. Формат 84×108¹/₁₆. Бумага типогр. № 3.
Гарнитура шрифта литературная. Печать высокая.
Усл. печ. л. 9,24. Усл. кр.-отт. 9,54. Уч.-изд. л. 9,68.
Тираж 10 000. Заказ № 5-1232. Цена 10 к.
Издательство «Донбас». 340002, Донецк, пр. Богдана
Хмельницкого, 102.
Книжная фабрика им. М. В. Фрунзе,
310057, Харьков, Донец-Захаржевского, 6/8.