

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Металлические и деревянные конструкции»

СВАРКА
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ
КОНСТРУКЦИЙ

Лабораторный практикум
для студентов специальности
1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство»

Минск
БНТУ
2011

УДК 624.014(076.5)

ББК 38.54я7

М 54

Составители:

Е.Ю. Давыдов, В.В. Ильючик

Рецензенты:

И.В. Башкевич, Ю.С. Мартынов

М 54 Сварка металлических конструкций: лабораторный практикум для студентов специальности 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство» / сост.: Е.Ю. Давыдов, В.В. Ильючик. – Минск: БНТУ, 2011. – 76 с.

В издании изложены необходимые сведения для проведения шести лабораторных работ по сварке и резке металлов.

В каждой работе приведена схема и сущность изучаемого процесса, основные параметры процесса и влияние этих параметров на формирование сварного соединения, описание оборудования, порядок выполнения работы, указания по выбору основных технологических параметров сварки или резки (для первых четырех работ) и содержание отчета. В конце лабораторного практикума приведены основные положения техники безопасности.

Издание предназначено для студентов строительных специальностей.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время сварка является наиболее распространенным средством соединения при изготовлении и монтаже металлических и железобетонных конструкций. Сварка имеет ряд существенных преимуществ по отношению к болтовым и заклепочным соединениям и, прежде всего, по расходу металла и трудовым затратам.

Лабораторные работы по сварке призваны помочь студентам лучше усвоить соответствующие разделы лекционного материала и ознакомить их с оборудованием и сварочным инструментом, а также должны способствовать приобретению первоначальных навыков по выполнению сварки и по контролю качества сварных соединений. Подбор тем лабораторных работ произведен в соответствии с лекционным курсом «Металлические конструкции».

Выполнение лабораторных работ предполагает активное участие каждого студента. С этой целью задания на лабораторных занятиях выполняются индивидуально или небольшими группами в 5-6 человек. Выполнение каждой работы должно сопровождаться отчетом, содержание которого указывается в каждой главе настоящего пособия. Однако это не исключает освещения в отчете дополнительных вопросов, определяемых преподавателем, проводящим лабораторные занятия.

Перед началом выполнения лабораторных работ каждый студент должен прослушать инструктаж по технике безопасности, основные положения которого должны быть затем отражены в отчетах.

В данной пособии рассмотрены следующие виды сварки:

- 1) ручная дуговая сварка металлическим электродом (дуговая сварка электродом с обмазкой) (111);
- 2) сварка металлическим электродом в среде инертного газа, сварка МИА (131);
- 3) сварка металлическим электродом в среде активного газа, сварка МАА (135);
- 4) дуговая сварка вольфрамовым электродом в среде инертного газа, сварка ВИА (141);
- 5) точечная сварка (21);
- 6) шовная сварка (22).

В скобках указано обозначение сварки согласно EN1090-2:2008(E)

Лабораторная работа № 1

РУЧНАЯ ДУГОВАЯ СВАРКА ПОКРЫТЫМ ЭЛЕКТРОДОМ

Цель работы: ознакомление со сварочным оборудованием и инструментом, практическое знакомство с процессом сварки, определение технологических параметров сварки и сварного соединения.

Схема сварки и основные параметры

При этом виде сварки подача электрода в зону дуги и перемещение дуги вдоль сварного шва осуществляется вручную. Источником тепла является электрическая дуга – длительный электрический разряд происходящий в газовом промежутке между электродом и изделием. Вольтамперные характеристики дуги приведены на рис. 1.1, а.

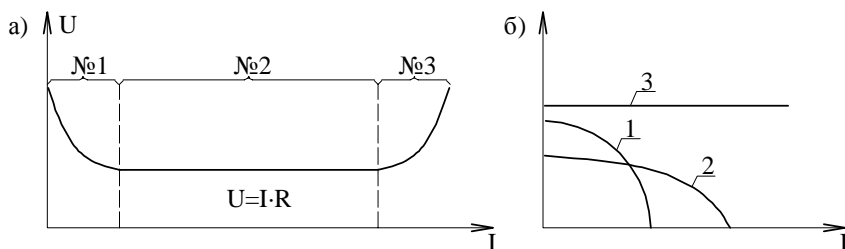


Рис. 1.1. Вольтамперные характеристики дуги (а) и источника питания (б):
1 – крутопадающая; 2 – пологопадающая; 3 – жесткая

График «напряжение – сила тока» построен при постоянной длине дуги. На рис. 1.1, а можно выделить три участка. Первый участок характеризуется падением напряжения дуги при увеличении сварочного тока. Такая характеристика является следствием опережающего роста электропроводности дуги по отношению к росту силы тока. На втором участке рост электропроводности прямо пропорционален росту силы тока и поэтому на этом участке напряжение остается постоянным. На третьем участке электропроводность не увеличивается, что вызывает рост напряжения дуги при увеличении сварочного тока.

Дуга расплавляет кромки соединяемых элементов, а также металл электрода и его покрытие. В результате образуется сварочная ванна из жидкого металла, где расплавленные компоненты покрытия электрода всплывают на поверхность в виде шлака. После удаления источника тепла происходит кристаллизация расплавленного металла с образованием сварного шва, а застывший шлак образует поверхностную корку, защищающую еще горячий металл шва от вредного воздействия воздуха (рис. 1.2). В состав покрытия электрода, кроме шлакообразующих, входят также компоненты, которые образуют газовую защиту дуги и расплавленного металла, легируют и рафинируют металл шва, поддерживают стабильное горение дуги.

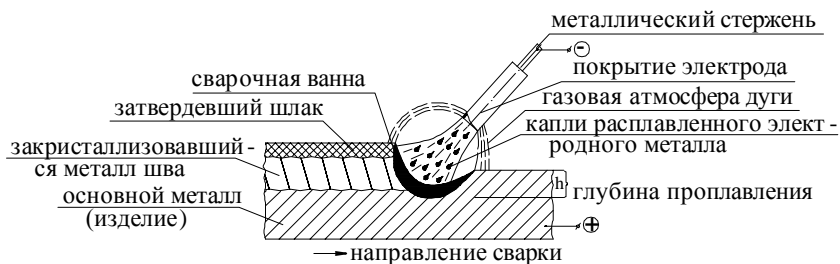


Рис. 1.2. Схема сварки покрытым электродом

Основными параметрами сварки являются: сила тока, длина дуги, напряжение на дуге, диаметр и скорость перемещения электрода.

С увеличением силы тока увеличивается глубина проплавления. То же происходит с уменьшением диаметра электрода при постоянной силе тока. С увеличением длины дуги, а также скорости перемещения электрода глубина проплавления уменьшается. С увеличением напряжения происходит увеличение ширины сварного шва. При дуговой сварке постоянным током обычно применяют прямую полярность, когда катодом является электрод, а анодом изделие. Однако возможна и обратная полярность, которую применяют в тех случаях, когда нужно уменьшить выделение тепла на изделии, например, при сварке тонкого или легкоплавкого металла. При сварке переменным током полярность не имеет значения.

Оборудование, сварочный инструмент и материалы

Основным оборудованием при ручной сварке являются источники питания, к которым относятся трансформаторы, генераторы, выпрямители и сварочные инверторы. Все источники питания должны удовлетворять следующим требованиям:

- напряжение холостого хода должно быть достаточным для зажигания дуги (60–90 В);
- иметь устройство для регулировки сварочного тока;
- восстанавливать рабочее напряжение после короткого замыкания за 0,02–0,04 с;
- обеспечивать безопасное ведение сварочных работ.

Внешняя вольтамперная характеристика источников питания (зависимость напряжения на зажимах от сварочного тока) может быть: крутопадающей (напряжение уменьшается с увеличением сварочного тока); пологопадающей (напряжение также уменьшается, но медленно); жесткой (напряжение не изменяется) (рис. 1.1, б).

Трансформаторы являются источником переменного тока. Вольтамперные характеристики сварочных трансформаторов, используемых в строительстве, могут быть круто- и пологопадающими. Трансформатор состоит из магнитопровода (сердечника) и катушек первичной и вторичной обмотки (рис. 1.3). На первичной обмотке напряжение составляет 220 или 380 В. Снижение напряжения и, соответственно, увеличение силы тока на вторичной обмотке достигается за счет меньшего количества витков.

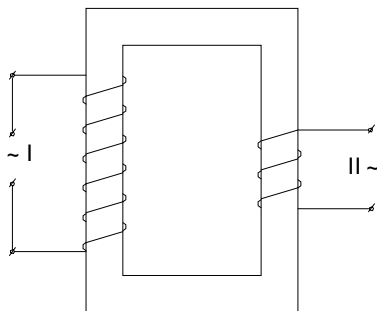


Рис. 1.3. Схема сварочного трансформатора:
I – первичная обмотка; II – вторичная обмотка

Настройка режима работы трансформатора может осуществляться следующими способами:

- изменением расстояния между обмотками, которые в данном случае должны быть подвижными (при уменьшении расстояния между обмотками сила тока увеличивается и наоборот);

- изменением положения подвижного магнитного шунта в магнитном сердечнике;

- включением в электрическую цепь реактивной катушки (дросселя), изменением магнитного сопротивления которой изменяют силу сварочного тока.

Генераторы – служат источником постоянного тока и имеют привод двух видов: от электродвигателя (сварочные преобразователи) и от двигателя внутреннего сгорания (сварочные агрегаты). Их основными элементами являются приводной двигатель и сварочный генератор.

Выпрямители преобразуют переменный ток в постоянный. Основными элементами выпрямителя являются понижающий трансформатор и выпрямительный блок. Последний собирается из силовых, кремниевых или германиевых вентиляй. Вентиль – это многослойный элемент, обладающий свойством проводить ток в одном направлении.

Наиболее современным источником питания постоянного тока являются сварочные инверторы. Работа сварочного инвертора построена на принципе фазового сдвига (инверсии) напряжения, осуществляемого электронной микропроцессорной схемой с покаскадным усилением тока. За счет такого принципа удается получить широкий спектр вольтамперных характеристик – от крутопадающей до восходящей.

При использовании многопостовых источников питания их вольтамперная характеристика должна быть жесткой, так как при падающей характеристике одновременная работа нескольких сварочных постов невозможна. Для получения падающей характеристики и для регулировки силы тока каждый сварочный пост подключается к источнику постоянного тока через балластные реостаты (рис. 1.4) или через дроссели, если источник переменного тока.

От источника питания к изделию и электрододержателю ток поступает по гибким проводам с резиновой изоляцией. Длина этих проводов должна быть не более 30–40 м, при большей длине проис-

ходит существенное падение напряжения дуги, превышающее допустимые пределы – 4–5 %.

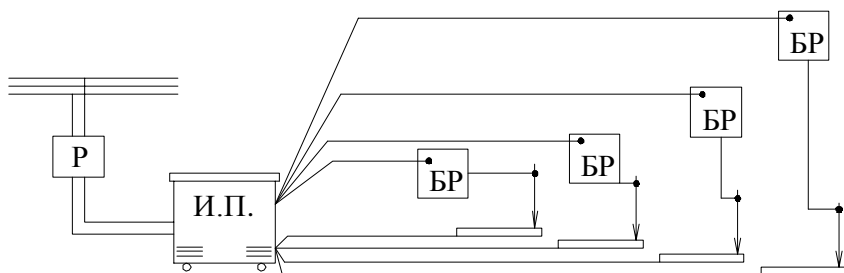


Рис. 1.4. Схема на четыре сварочных поста:
Р – рубильник; И.П. – источник питания; БР – балластный реостат

Электрододержатель – это приспособление для закрепления электрода и подвода к нему тока. Электрододержатели отличаются способом удержания электрода и бывают: вилочные, пружинные, зажимные и безогарковые. Электрододержатели классифицируются по типам, например: ЭД-25, ЭД-50, где последняя цифра, умноженная на 10, указывает номинальное значение тока при сварке.

Электрод состоит из металлического стержня (сварочной проволоки) и покрытия. Электроды подразделяются по типам, например, Э42, Э46, Э46А, Э50, Э50А и по маркам (УОНИ 13/45, ОММ-5, ЦМ-7, АНО-5, ОЗС-4, ВСП-1 и др.). Тип электрода отражает механические характеристики наплавленного металла, а марки электрода характеризуют состав покрытия или условное обозначение изготовителя. Полная классификация электродов приведена в приложении.

Требуется определить

1. Диаметр электрода и силу тока (табл. 1.2).
2. Тип электрода (табл. 1.3).
3. Длину дуги.
4. Разделку кромок (рис. 1.5).
5. Количество слоев в шве (табл. 1.4).
6. Прием выполнения шва (рис. 1.8).

Примечания

Угловой шов соединяет детали, расположенные в разных плоскостях, стыковой шов – в одной плоскости.

Группа конструкций и климатический район определяются по СНиП II-23-81*. Нормы проектирования. Стальные конструкции.

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Изучить настоящее пособие.
2. Решить задачу по подбору параметров ручной сварки (табл. 1.1).
3. Ознакомиться с оборудованием и сварочным инструментом. Научиться зажигать и управлять сварочной дугой.

Таблица 1.1

Варианты задачи по определению параметров ручной дуговой сварки покрытым электродом

Наименование исходных данных	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Группа конструкций	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2
Климатический район	И ₁	И ₂	И ₂	И ₃	И ₄	И ₃	И ₁	И ₂	И ₂	И ₄
Сталь	С245	С345	С390	С255	С245	С345	С440	С375	С255	С255
Толщина, мм	10	12	14	16	18	20	22	20	18	22
Катет шва, мм	8		12		14		18		12	
Вид шва	Угловой	Стыковой	Угловой	Стыковой	Угловой	Стыковой	Угловой	Стыковой	Угловой	Стыковой
Длина шва, м	2	2	1,5	2,5	1	1,5	2	2,5	2	1,5

Указания по выполнению контрольного задания

Определение параметров сварки

Как правило, при ручной сварке применяют электроды диаметром 3–8 мм, ток 100–480А и напряжение дуги 18–30 В. В табл. 1.2 приведены значения диаметра электрода и силы тока в зависимости от толщины металла для сварки в нижнем положении (дуга располагается над изделием).

Таблица 1.2

Рекомендуемые параметры сварки электродом с покрытием

Толщина свариваемого металла, мм	Диаметр электрода, мм	Сварочный ток, А
4–5	3	100–140
	4	160–200
6–12	4	160–200
	5	220–280
13 и более	5	220–280
	6	280–340
	7	350–400
	8	420–480

Допускается определять значение тока по формуле: $I = 50d$ или $I = (20 + 6d)$, где d – диаметр электрода в мм. При наплавке потолочных швов (дуга под изделием) сила тока уменьшается на 20–25 %, а горизонтальных и вертикальных (дуга сбоку от изделия) – на 10–15 %.

Тип электрода принимается по табл. 1.3.

Таблица 1.3

Материалы для сварки

Группы конструкций в климатических районах	Стали	Материалы для сварки			Покрытыми электродами
		под флюсом	в углекислом газе		
		флюсов	М а р к и сварочной проволоки		
1	2	3	4	5	6
2, 3 и 4 – во всех районах, кроме I ₁ , I ₂ , II ₂ и II ₃	C235, C245, C255, C275, C285, 20, ВСт3кп, ВСт3пс, ВСт3сп	АН-348-А, АН-60	Св-08А, Св-08ГА	Св-08Г2С	Э42, Э46

Окончание табл. 1.3

1	2	3	4	5	6
	С345, С345Т, С375, С375Т, С390, С390Т, С390К, С440, 16Г2АФ, 09Г2С	АН-47, АН-17М, АН-43, АН-348-А ¹	Св-10НМА, Св-10Г2 ² , Св-08ГА ² , Св-10ГА ²		Э50
	С345К	АН-348А	Св-08ХГ1ДЮ	Св-08ХГ2СДЮ	Э50А ³
1 – во всех районах; 2, 3 и 4 – в районах I ₁ , I ₂ , II ₂ и II ₃	С235, С245, С255, С275, С285, 20, ВСтЗкп, ВСтЗпс, ВСтЗсп	АН-348-А	Св-08А, Св-08ГА	Св-08Г2С	Э42, Э46
	С345, С345Т, С375, С375Т, 09Г2С	АН-47, АН-43, АН-348-А ¹	Св-10НМА, Св-10Г2 ² , Св-08ГА ² , Св-10ГА ²		Э50А
	С390, С390Т, С390К, С440, 16Г2АФ	АН-47, АН-17М, АН-348-А ¹	Св-10НМА, Св-10Г2 ² , Св-08ГА ² , Св-10ГА ²	Св-08ХГ2СДЮ	Э50А ³
	С345К	АН-348А	Св-08ХГ1ДЮ	Св-08ХГ2СДЮ	Э50А ³
	С590, С590К, С590КШ	АН-17М	Св-08ХН2ГМО, Св-10НМА	Св-10ХГ2СМА, Св-08ХГСМА, Св-08Г2С	Э60, Э70

¹ – Применение флюса АН-348А требует проведения дополнительного контроля механических свойств металла шва при сварке соединений элементов всех толщин для конструкций в климатических районах I₁, I₂, II₂ и II₃ и толщин свыше 32 мм – в остальных климатических районах.

² – Не применять в сочетании с флюсом АН-43.

³ – Применять только электроды марок ОЗС-18 и КД-11.

Зажигание дуги и управление дугой

Установить свободный конец электрода над изделием на расстоянии 5–6 см; закрыть лицо щитком или маской, коснуться электродом изделия и тотчас же отвести электрод от изделия на расстояние 2–3 мм (обычно длина дуги составляет 0,5–1,1 диаметра электрода). При большей длине дуга гаснет. Если электрод успевает приплавиться к изделию, то его нужно сначала покачать и только затем оторвать от детали; после получения устойчивого горения дуги следует определить оптимальную скорость движения электрода, для чего поводить электродом с различной скоростью, всякий раз анализируя качество наплавленного шва.

Выполнение сварных швов

В общем случае процесс сварки состоит из следующих операций:

- 1) обработка кромок соединяемых элементов;
- 2) очистка кромок на ширину 20 мм;
- 3) сборка соединяемых элементов и их фиксация с помощью прихваток или струбцин;
- 4) сварка;
- 5) правка;
- 6) очистка сварных швов от шлака и брызг металла;
- 7) контроль качества.

При выполнении сварных швов следует учитывать, что без разделки свариваемых кромок можно соединять элементы толщиной до 8 мм при односторонней сварке и до 12 мм – при двусторонней. Для больших толщин кромки соединяемых элементов должны иметь разделку (рис. 1.5).

Разделки У-образные, V-образные и U-образные (рис. 1.5, б, в, е, з) делаются, как правило, при одностороннем доступе. Соответственно разделки Х-образные и К-образные (рис. 1.5, г, д, и) делают при двустороннем доступе. У-образные разделки являются менее трудоемкими при подготовке кромок свариваемых деталей, однако при наплавке сварного шва трудоемкость при этих разделках будет уже больше, так как увеличивается объем наплавленного металла по сравнению с Х-образной и К-образной разделками. Указанный недостаток относится также и к V-образной, и к U-образной разделке.

X-образные и K-образные разделки, кроме уменьшения объема наплавленного металла, позволяют также значительно уменьшить сварочные деформации – здесь наплавленный металл располагается симметрично относительно срединной плоскости соединяемых деталей, и поэтому усадочные деформации относительно этой плоскости будут одинаковыми.

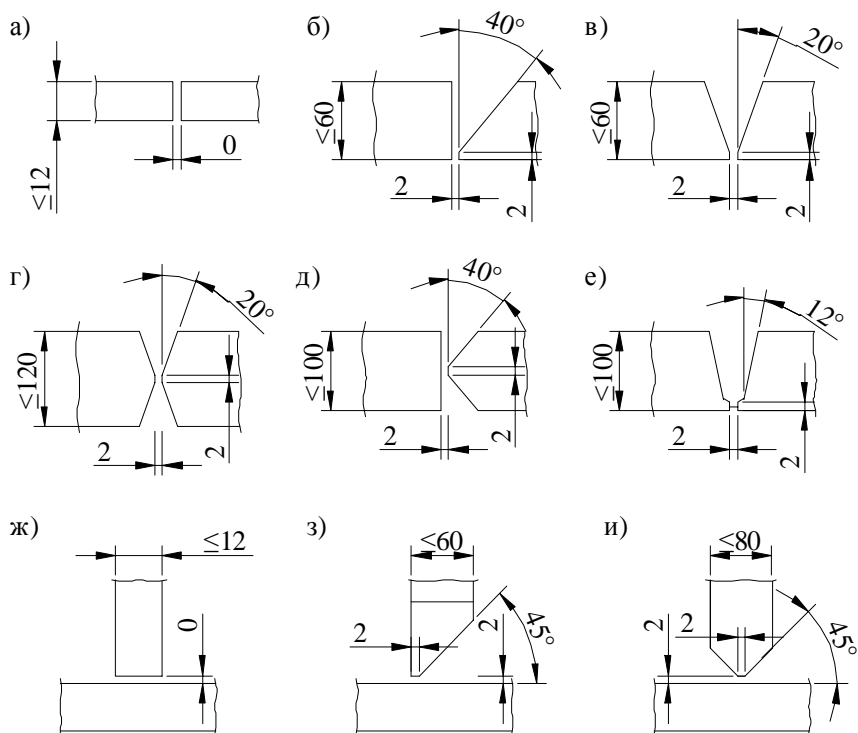


Рис. 1.5. Разделка кромок соединительных элементов

Если на поверхности кромок соединяемых элементов имеется окалина, ржавчина, краска, смазка или влага, их необходимо удалить механическим или химическим способом на ширину 20 мм. Сборка изделий для выполнения сварного соединения производится с учетом допустимых зазоров (рис. 1.5), после чего производится прихватка деталей, т.е. сварка короткими швами длиной 30–40 мм через 100–200 мм, что обеспечивает фиксацию взаимного располо-

жения деталей в процессе сварки. Указанная операция может быть выполнена с помощью струбцин.

Сварные швы в зависимости от толщины свариваемого металла могут быть однослойные (рис. 1.6, *а*) или многослойные (рис. 1.6, *в*, *г*), при этом каждый слой может выполняться за один (рис. 1.6, *г*) или несколько проходов (рис. 1.6, *в*). Для лучшего проплавления нулевой шов (на рис. 1.6 обозначен 1(0)) следует выполнять электродом диаметром 3–4 мм. При двусторонней сварке нулевой шов следует выполнять со стороны, противоположной прихваткам. Рекомендуемое количество слоев в зависимости от толщины свариваемого металла приведено в табл. 1.4.

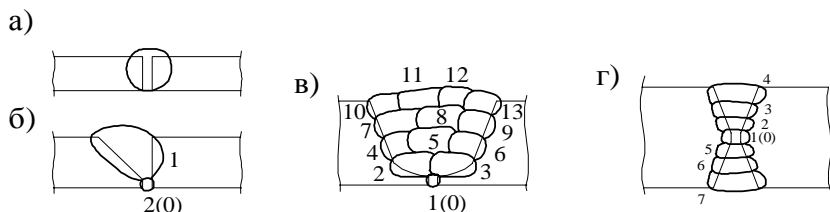


Рис. 1.6. Поперечные сечения сварных швов
(цифрами указана последовательность наплавки):
а – однопроходный; *б* – однопроходный с подваркой корня;
в – многопроходный; *г* – многослойный

Таблица 1.4

Рекомендуемое число слоев наплавленного металла

Толщина свариваемого металла или высота катета	1–5	6	8	10	12	14	16	18–20	22
Число слоев при стыковом шве	1	2	2–3	3–4	4	4–5	5–6	5–6	6–7
Число слоев при угловом шве	1	1	1	2	2–3	3–4	5	5–6	6–7

При движении электрода только в продольном направлении относительно оси шва ширина наплавленного металла получается равной 0,8–1,5 диаметра электрода в зависимости от силы тока и напряжения (с увеличением напряжения ширина валика увеличивается) и скорости движения (с увеличением скорости ширина валика уменьшается). Поэтому для получения более широких валиков

необходимо совершить электродом и поперечные движения (рис. 1.7).

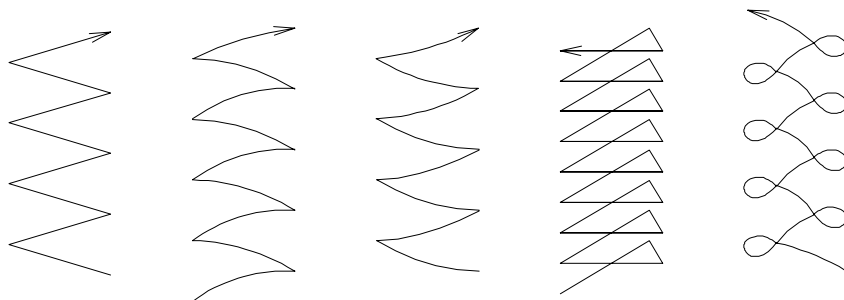


Рис. 1.7. Схема основных траекторий движения конца электрода

В процессе сварки по мере плавления стального стержня необходимо перемещать электрод также и по направлению к изделию. Длина дуги должна быть постоянной и короткой, так как при большой длине ухудшается качество наплавленного металла из-за ослабления газовой защиты, а также увеличивается разбрызгивание расплавленного металла электрода. При большой скорости сварки возможно образование непроваров, при малой скорости – прожогов (оптимальная скорость устанавливается студентом опытным путем на первом этапе в процессе обучения зажигать дугу и управлять ею). При образовании шва за несколько проходов необходимо предыдущие слои очистить от шлака и брызг металла.

Для выполнения сварных швов используются несколько приемов: напроход, от середины, обратноступенчатый, блоками, каскадом, горкой. На рис. 1.8 приведены схемы указанных приемов. Выбор того или иного приема зависит от длины шва и его толщины.

Первый прием используется при сварке коротких швов длиной до 500 мм. Второй прием используется при длине до 1000 мм. Более длинные швы выполняются обратноступенчатым способом. Первые три приема используются для выполнения швов небольшой толщины (при высоте катета шва не более 8 мм). Длина ступени (а) принимается равной 100–350 мм, причем более короткие ступени назначаются при сварке тонкого металла, а более длинные – при сварке толстого металла. При использовании обратноступенчатого метода для выполнения многослойных швов каждый последующий слой наплавляется в противоположном направлении предыдущему,

при этом концы смежных ступеней должны быть смещены относительно друг друга на 25–50 мм.

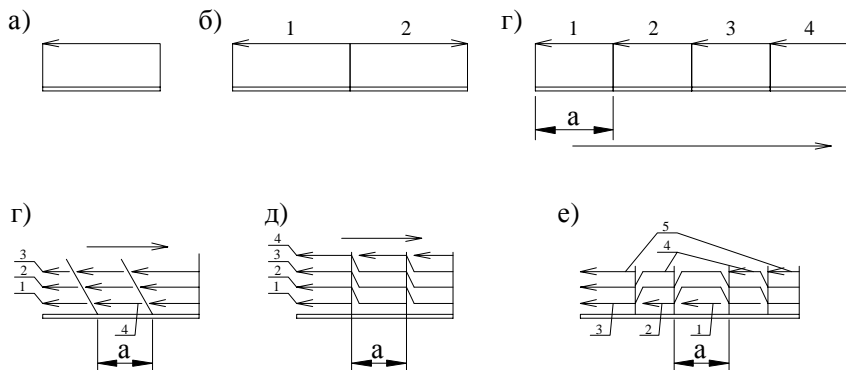


Рис. 1.8. Схема выполнения сварных швов:
a – напроход; *б* – от середины; *в* – обратноступенчатый;
г – блоками; *д* – каскадами; *е* – горкой.

Наплавка шва блоками, каскадами и горкой используется только для выполнения многослойных швов. При этом длина секции (размера «а») принимается равной 300–400 мм при V-образной разделке кромок и 500–800 мм при X-образной. В пределах каждой секции шов наплавляется обратноступенчатым способом с размером ступени 150–200 мм. Как правило, сварку металла толщиной более 25 мм выполняют «горкой» или «каскадами». Приведенные способы сварки обеспечивают более равномерный нагрев металла по длине сварного шва и уменьшают скорость охлаждения, что способствует уменьшению сварочных напряжений.

Большое влияние на формирование шва оказывает положение электрода относительно поверхности изделия (рис. 1.9): углом назад (на подъем) или углом вперед (на спуск).

При сварке углом назад (на подъем) улучшаются условия отсечения расплавленного металла из-за дуги, что способствует увеличению глубины проплавления h (рис. 1.9, *д*). При сварке углом вперед (на спуск) расплавленный металл подтекает под дугу и уменьшает теплопередачу основному металлу, что в свою очередь уменьшает глубину проплавления (рис. 1.9, *е*). Сварка углом вперед

используется при соединении тонких листов или изделий из легкоплавких металлов.

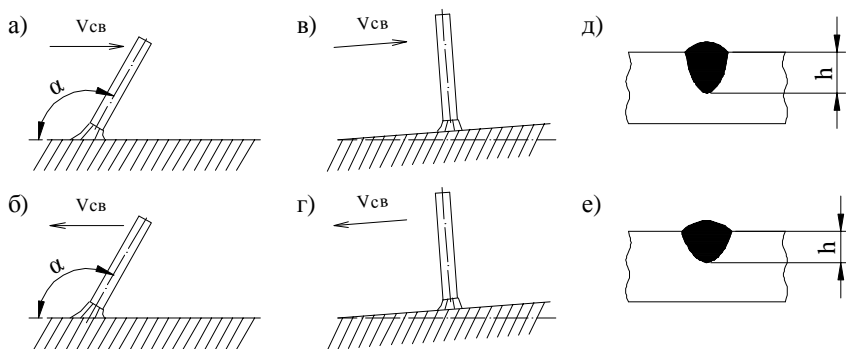


Рис. 1.9. Положение электрода при сварке и соответствующее сечение шва:
a – углом назад; *б* – углом вперед; *в* – на подъем; *г* – на спуск; *д*, *е* – сечение шва

На параметры сварки оказывает влияние пространственное положение шва в процессе его наплавки. По этому признаку различают нижнее положение (дуга располагается над изделием), потолочное (дуга горит под изделием), горизонтальное (дуга горит сбоку вертикально расположенного изделия и электрод движется горизонтально) и вертикальное (дуга горит сбоку вертикально расположенного изделия и электрод движется вертикально). Наиболее благоприятны условия сварки в нижнем положении и наиболее неблагоприятны при сварке потолочных швов и вертикальных сверху вниз. При сварке горизонтальных и вертикальных швов сила тока уменьшается на 10–15 % по сравнению со сваркой в нижнем положении, а при сварке потолочных швов на 20–25 %, при этом применяются электроды малого диаметра и варят при самой короткой дуге.

Заканчивая наплавку сварного шва, не следует резко обрывать дугу, так как в этом случае образуется кратер, являющийся, как правило, местом образования трещин; дугу следует гасить медленным увеличением ее длины, в этом случае наплавленный металл электрода предупреждает образование кратера. После окончания сварки следует зачистить шов от шлака и металлических

брызг и визуальным способом проанализировать качество сварного соединения.

Содержание отчета

Составление отчета является заключительным этапом выполнения лабораторной работы. Отчет должен включать следующие разделы:

- 1) сущность сварки электродом с покрытием (начертить принципиальную схему сварки с указанием основных параметров и их влияния на характеристики сварного шва);
- 2) схему сварного поста с описанием оборудования;
- 3) характеристику электродов;
- 4) решение задачи.

Готовый отчет предъявляется преподавателю. Зачет по работе ставится при условии правильно составленного отчета и положительной оценки за ответы на вопросы преподавателя.

Лабораторная работа № 2

АВТОМАТИЧЕСКАЯ И ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКАЯ ДУГОВАЯ СВАРКА

Цель работы: изучение схемы сварочных процессов, знакомство с оборудованием, определение параметров сварки.

Сущность и основные параметры

При автоматической сварке подача сварочной проволоки в зону дуги и перемещение дуги вдоль шва механизированы. При полуавтоматической сварке механизирована только подача сварочной проволоки, а перемещение дуги вдоль шва осуществляется вручную.

Дуговая сварка под флюсом

Флюс – гранулированный порошок (размер зерен равен 0,25–4 мм). Назначение флюса – защита дуги и расплавленного металла, а также легирование и рафинирование металла шва. По химическому составу флюс напоминает обмазку электрода с покрытием. Выбор флюса осуществляется по табл. 1.3.

Одним из электродов при сварке под слоем флюса служит сварочная проволока. Обозначения сварочной проволоки приведены в табл. 1.3. «Св» – обозначает «сварочная», далее следует содержание углерода в сотых долях процента, затем следуют символы химических элементов, входящих в состав металла сварочной проволоки, где цифры указывают их процентное содержание (если процентное содержание не превышает 1 %, то цифра, как правило, не ставится). Буква «А» в конце обозначения сварочной проволоки указывает на повышенную чистоту по химсоставу (пониженное содержание серы и фосфора).

Схема наплавки сварного шва при автоматической сварке под флюсом приведена на рис. 2.1. Флюс засыпается впереди электрода из бункера слоем 40–80 мм, шириной 40–100 мм. Источником тепла является электрическая дуга, под действием которой происходит расплавление кромок соединяемых элементов, электродной проволоки и флюса. При этом газообразующие компоненты флюса со-

здают газовый пузырь вокруг дуги. Давление газового пузыря способствует оттеснению расплавленного металла из под дуги и тем самым увеличивает глубину проплавления. По мере удаления источника тепла расплавленный металл кристаллизуется в сварной шов, а расплавленный флюс, остывая, образует защитную шлаковую корку.

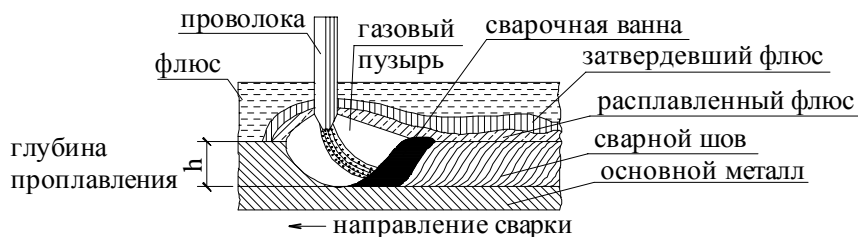


Рис. 2.1. Схема сварки под флюсом

Основными параметрами сварки под флюсом являются: сила тока, диаметр электрода, длина дуги, напряжение на дуге, скорость движения электрода вдоль сварного шва и скорость подачи электродной проволоки. Сила тока изменяется в пределах 400–2000 А. Плотность тока (отношение величины тока и площади сечения электрода) составляет 35–250 А/мм². С увеличением плотности тока происходит увеличение глубины проплавления, с увеличением длины дуги и скорости движения электрода вдоль шва, наоборот, глубина проплавления уменьшается. При увеличении напряжения дуги увеличивается количество тепла, расходуемое на расплавление флюса. При этом растет ширина шва, а глубина проплавления изменяется незначительно.

Для процесса сварки, кроме перечисленных параметров, имеет значение также вылет электрода (расстояние от токоподвода до дуги) и толщина слоя флюса. С увеличением вылета возрастает нагрев электрода и скорость его плавления, что, в свою очередь, увеличивает количество наплавляемого металла под дугой и, в конечном итоге, может вызвать уменьшение глубины проплавления. Аналогичный результат получается и в случае уменьшения толщины слоя флюса – при малой толщине флюса увеличивается его газопроницаемость, что уменьшает давление в газовом пузыре. Как следствие

этого, происходит увеличение наплавленного металла под дугой, и следовательно, уменьшение глубины проплавления.

На рис. 2.2 указаны размеры сварного шва, а на рис. 2.3 приведена их зависимость от основных параметров сварки. Скорость подачи электродной проволоки зависит прежде всего от силы тока: с увеличением силы тока должна возрасти и скорость подачи (рис. 2.4). Зависимость же скорости подачи от диаметра электродной проволоки обратная: чем больше диаметр, тем меньше скорость (рис. 2.4). Графики на рис. 2.4 даны для проволоки марки Св08 при напряжении 40–42 В и при вылете электрода 50 мм.

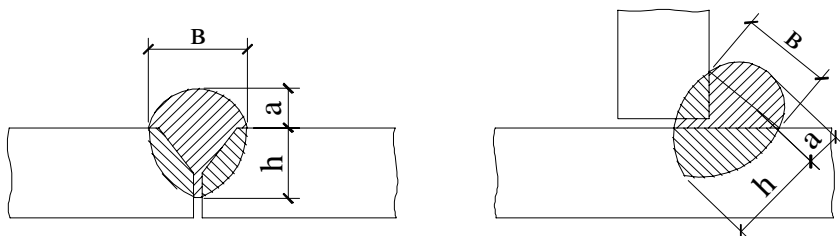


Рис. 2.2. Основные размеры шва

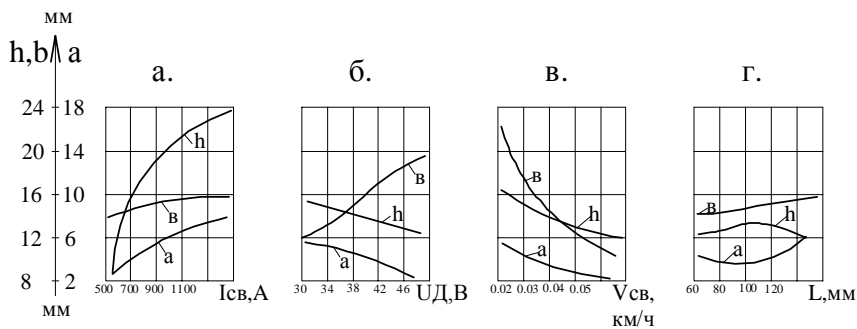


Рис. 2.3. Зависимость размеров сварного шва от силы тока (а), напряжения дуги (б), скорости сварки (в) и от вылета электрода (г)

Преимущества сварки под флюсом: высокая производительность, вызванная механизацией процесса; высокое качество и стабильность свойств сварных швов; меньший, чем при ручной сварке, расход металла и электроэнергии. К недостаткам следует отнести возможность сварки только в нижнем положении, отсутствие визу-

ального контроля процесса сварки, кроме того, автоматическая сварка целесообразна лишь при длинных швах.

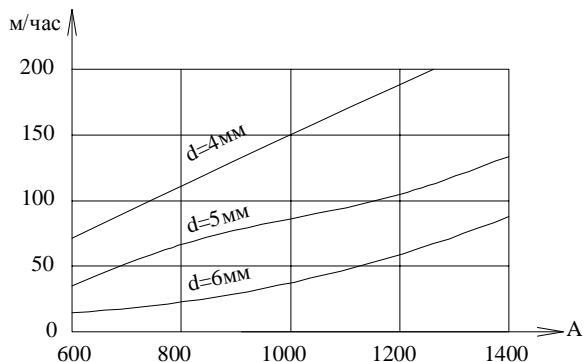


Рис. 2.4. Зависимость скорости подачи электродной проволоки от силы тока и диаметра электрода при вылете электрода 50 мм

При автоматической и полуавтоматической сварке имеет значение положение электрода (рис. 2.5) по отношению к соединяемым деталям. При сварке «в лодочку» (рис. 2.5, а) можно получить однослойный шов большего сечения, чем при наклонном электроде (рис. 2.5, б, в), но в этом случае требуется большая точность сборки – зазор не должен быть более 1,5 мм, в то время как при наклонном электроде зазор может быть 3 мм. Для обеспечения провара при различной толщине свариваемых элементов сварка выполняется в несимметричную относительно угла «лодочку» или несимметрично наклонным электродом. В нахлесточных соединениях (рис. 2.5, в) при толщине верхнего элемента до 8 мм сварку можно вести вертикальным электродом.

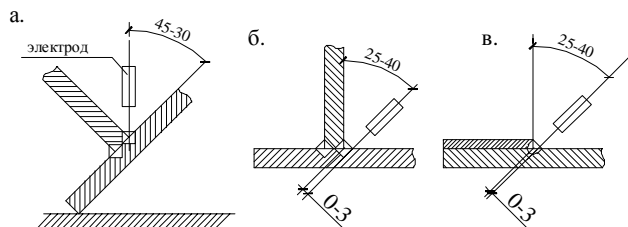


Рис. 2.5. Схема выполнения угловых швов

Дуговая сварка в защитном газе

Выбор защитного газа определяется прежде всего химическим составом свариваемого металла – для сварки стальных изделий применяется, как правило, углекислый газ, для сварки алюминиевых изделий – аргон или смесь аргона с гелием. Углекислый газ (CO_2) поставляется в баллонах черного цвета, аргон в баллонах серого цвета, гелий в баллонах коричневого цвета.

Схема наплавки сварного шва с применением защитного газа приведена на рис. 2.6. Отличительной особенностью этого вида сварки является отсутствие флюса, защитные функции которого выполняются газом. Газ может подаваться в зону дуги центрально, как показано на рис. 2.6, и сбоку – навстречу движению электрода. Последний способ применяется при больших скоростях сварки.

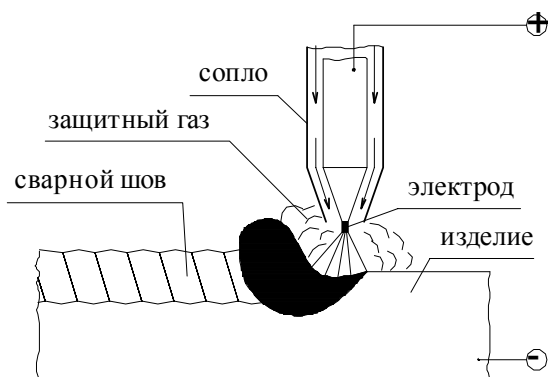


Рис. 2.6. Схема сварки в защитном газе

Электрод при сварке может быть как плавящимся, так и неплавящимся с использованием присадочного металла или без него. Второй способ целесообразен для соединения металла толщиной до 5–6 мм. Вид тока может быть переменным или постоянным, однако при плавящемся электроде применение переменного тока затруднительно из-за нестабильности дуги.

Основными параметрами режима сварки являются сила тока, напряжение дуги, диаметр электрода, скорость перемещения элек-

трода и скорость подачи электродной проволоки, вылет электрода, полярность тока, расход и состав защитного газа.

Закономерность изменения формы сварных швов от основных параметров такая же, как и при сварке под флюсом.

Полярность тока при сварке может быть прямой, в этом случае 70 % тепла выделяется на аноде (изделии) и обратной. При обратной полярности увеличивается разогрев металла электрода и, следовательно, возрастает скорость расплавления сварочной проволоки, уменьшается глубина проплавления, но увеличивается ширина сварного шва.

Расход (давление) газа зависит от типа сварного соединения, толщины изделий и скорости сварки (с увеличением скорости сварки расход газа увеличивается). Кроме того, расход газа зависит от скорости ветра – чем сильнее ветер, тем больше расход.

Преимуществами сварки в среде защитного газа являются:

- возможность сварки в любом положении;
- возможность визуального контроля за процессом образования сварного шва;
- отсутствие операций по засыпке, уборке флюса и по удалению шлака.

Недостатками являются: необходимость защитных мер против повышенной световой и тепловой радиации и возможность сдувания защитного газа.

Дуговая сварка порошковой проволокой

Схема сварки приведена на рис. 2.7, а. Защитные функции при такой сварке выполняет сердечник, состоящий на 40–60 % из неметаллических материалов, а электродом является металлическая оболочка порошковой проволоки (рис. 2.7, б). Порошковые проволоки бывают самозащитные (сварка выполняется без каких-либо дополнительных материалов) и газозащитные (сварка выполняется в среде защитного газа). Газозащитные позволяют получить более высокие показатели сварочного процесса и качества сварных швов.

Сварка порошковой проволокой совмещает в себе преимущества сварки под слоем флюса и с применением защитных газов – высокая производительность, возможность сварки в любом положении, видимость процесса сварки, отсутствие сыпучих материалов. К не-

достаткам следует отнести малую поперечную жесткость порошковой проволоки, что может привести к проскальзыванию порошковой проволоки в подающем механизме, т.е. к приостановке подачи проволоки в зону горения дуги. Вторым недостатком порошковой проволоки является возможное увлажнение сердечника проволоки, что приводит к появлению пор в сварном шве, засорение металла шва неметаллическими включениями. Для предупреждения образования пор в сварном шве необходимо порошковую проволоку предварительно прокалить при температуре 250–300 °С в течение 2–3 часов для удаления влаги.



Рис. 2.7. Схема сварки порошковой проволокой (а); сечения порошковой проволоки (б)

Электродуговая сварка может выполняться также проволокой сплошного сечения без какой-либо защиты. В состав такой проволоки вводятся раскислители и элементы, снижающие растворимость азота в жидком металле. Техника сварки такими проволоками такая же, как и в среде защитного газа. Ограниченность применения этого вида сварки вызвана высокой стоимостью проволоки и недостаточной стабильностью качества сварного шва.

Источники питания и оборудование

Источником питания могут быть трансформаторы, генераторы, выпрямители или инверторы. Источники питания бывают однопостовые с падающей, пологопадающей, жесткой и универсальной характеристикой или многопостовые с жесткой характеристикой. Выпрямители типа ВДУ (используемые для выполнения настоящей

лабораторной работы) являются универсальными, т.е. их внешняя вольтамперная характеристика может быть падающей или жесткой (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Техническая характеристика однопостового выпрямителя ВДУ-504

Пределы регулирования тока	Напряжение, В			КПД, %	Масса, кг
	сети	номинальное	холостого хода		
$\frac{70-500}{100-500}$	220, 380	$\frac{22-45}{18-50}$	72-76	82	400

Примечание. В числителе приведены значения для выпрямителя с падающей, а в знаменателе – с жесткой характеристиками.

В табл. 2.2 приведена техническая характеристика сварочного трактора АДФ- 1002-УЗ, схема которого приведена на рис. 2.8.

Таблица 2.2

Техническая характеристика сварочного трактора АДФ- 1002-УЗ

Диаметр электрода, мм	Скорость подачи электрода, м/ч	Скорость сварки, м/ч	Номинальный ток, А	Габарит (L x B x H), мм	Масса, кг
3-5	60-362	12-82	1000	716x346x526	45

При сварке автоматом габаритные размеры сечений свариваемой конструкции должны соответствовать параметрам автомата (рис. 2.9).

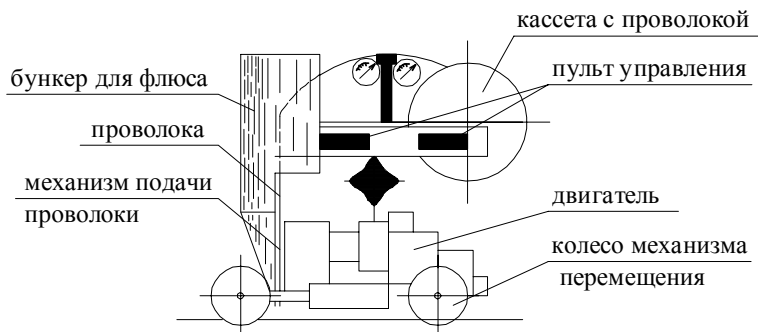
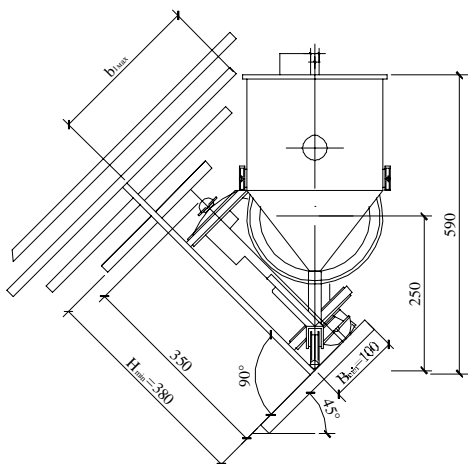


Рис. 2.8. Схема сварочного трактора

а.



б.

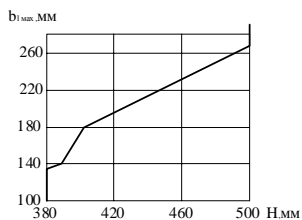


Рис. 2.9. Доступность наложения швов при автоматической сварке балок в положении «в лодочку»: а – установка сварочного автомата; б – предельные размеры свариваемого двутавра

В полуавтоматах при сварке под флюсом на держателе устанавливается бункер для засыпки флюса. Флюс может подаваться также из отдельного бункера с помощью сжатого воздуха по резиновой трубке или по рукаву вместе с проволокой. При сварке в среде защитных газов полуавтоматы комплектуются баллоном для газа, редуктором, подогревателем газа и шлангом для подачи газа (рис. 2.10).

В полуавтоматах при сварке под флюсом на держателе устанавливается бункер для засыпки флюса. Флюс может подаваться также из отдельного бункера с помощью сжатого воздуха по резиновой трубке или по рукаву вместе с проволокой. При сварке в среде защитных газов полуавтоматы комплектуются баллоном для газа, редуктором, подогревателем газа и шлангом для подачи газа (рис. 2.10).

Таблица 2.3

Техническая характеристика полуавтомата ПДГ-121

Диаметр электродной проволоки, мм	Номинальный сварочный ток, А	Пределы регулирования тока, А	Скорость подачи проволоки, м/ч	Напряжение холостого хода, В	Масса тележки с механизмом подачи, кг
0,8–1,0	120	30–120	0–360	32	43

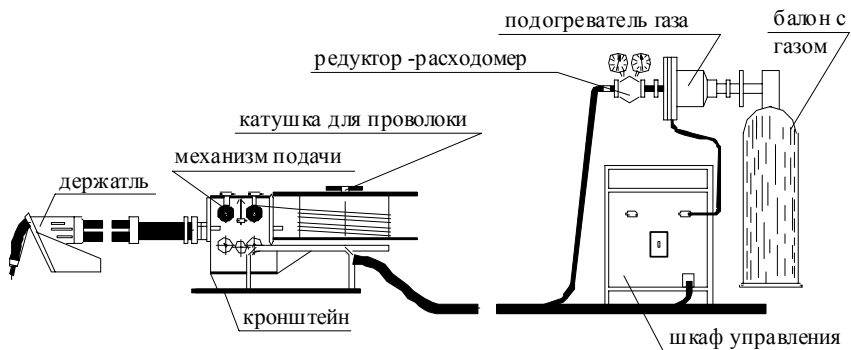


Рис. 2.10. Схема сварки полуавтоматом в защитном газе

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Изучить настоящее пособие.
2. Ознакомиться со сварочным оборудованием.
3. Научиться определять и устанавливать соответствующие параметры автоматической и полуавтоматической сварок (диаметр электрода, величину сварочного тока, скорость подачи проволоки, скорость сварки) в зависимости от вида сварного шва, защитных материалов и соединяемых элементов.
4. Решить задачу.
5. Написать отчет.

Указания по определению параметров сварки и выполнению контрольных швов

Для задачи по подбору параметров сварки под слоем флюса использовать данные задачи № 1 (табл. 1.1). При этом глубину проплавления принять равной половине толщины соединяемых элементов. Род тока, полярность и способ защиты (флюс или защитный газ) указывает преподаватель. Требуется определить: марку флюса и сварочной проволоки, силу тока, диаметр сварочной проволоки, напряжение, скорость сварки и скорость подачи проволоки.

а. Сварка под флюсом

Выбор марки флюса и сварочной проволоки осуществляется по табл. 1.3. При выборе силы переменного тока и диаметра сварочной проволоки следует руководствоваться данными табл. 2.4.

Таблица 2.4
Зависимость сварочного тока от диаметра проволоки

Диаметр проволоки, мм	2	3	4	5	6
Сварочный ток, А	190–250	250–600	350–800	470–1000	625–1350

Сила сварочного тока, сварочное напряжение и скорость сварки могут быть определены по эмпирическим формулам:

$$I = 100 h / k_h \text{ (А); } U = 20 + 0,05 I / \sqrt{d} \text{ (В); } V_{св} = 50 d k_h / h \text{ (м/час),}$$

где h – глубина проплавления в мм;

d – диаметр электродной проволоки в мм;

k_h – коэффициент пропорциональности, определяемый по табл. 2.5.

Таблица 2.5
Значения коэффициента k_h

Марка флюса	Диаметр электродной проволоки, мм	k_h		
		Переменный ток	Постоянный ток	
			Прямая полярность	Обратная полярность
АН-348-А АН-17-М	2	1,25	1,15	1,4
	3	1,1	0,96	1,25
	4	1,0	0,9	1,1
	5	0,95	0,85	1,05
	6	0,9	–	–
Углекислый газ	1,2	–	–	2,1
	1,6	–	–	1,75
	2,0	–	–	1,55
	3,0	–	–	1,45
	4,0	–	–	1,35
	5,0	–	–	1,2

б. Дуговая сварка в защитном газе (плавящимся электродом)

При автоматической сварке плавящимся электродом можно получить полный провар без разделки кромок и зазора при толщине изделий до 8 мм. При наплавке сварного шва расстояние от сопла горелки до изделия во избежание ухудшения защиты и повышенного разбрызгивания металла должно быть 8–15 мм. Токоподводящий наконечник может утапливаться в сопле на глубину до 3 мм или выступать из него на 5–10 мм (при сварке угловых швов или стыковых с глубокой разделкой). Зависимость скорости подачи проволоки от силы тока и ее диаметра приведена на рис. 2.11 (пунктирной линией обозначены оптимальные режимы). Изменения геометрических размеров сварного шва в зависимости от основных параметров сварки такие же, как и при сварке под слоем флюса.

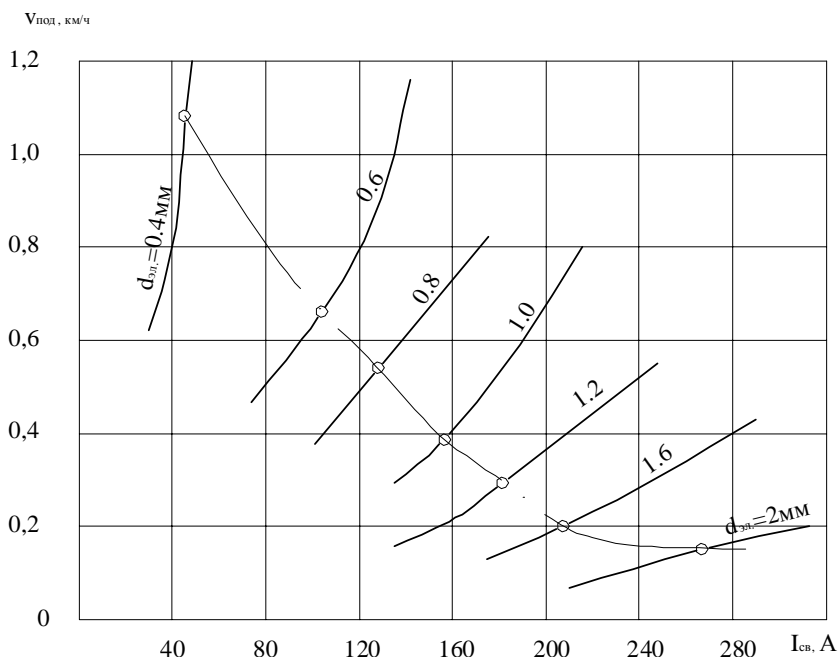


Рис. 2.11. Зависимость скорости подачи сварочной проволоки от ее диаметра и силы сварочного тока

При соединении элементов из сплавов алюминия толщиной 1,5–2 мм следует придерживаться следующих параметров сварки: ток – 60–70 А, напряжение холостого хода источника 18–20 В, диаметр проволоки 1,6 мм, скорость подачи проволоки 2,3–2,5 м/мин, скорость сварки 60–75 см/мин, расход аргона 15 л/мин. Марку сварочной проволоки следует принимать в зависимости от марки сплава соединяемых элементов по табл. 2.6.

Таблица 2.6

Рекомендуемые марки сварочной проволоки

№ п/п	Марка сплава	Марка сварочной проволоки
1	АМц	СвАМц
2	АМг1, АМг2, АМг3	АМг3
3	АМг4, АМг5	СвАМг5, СвАМг6
4	АМг6	СвАМг6, АМг61, СвАМг7
5	АМг61	АМг61, СвАМг7
6	АВ, АД31, АД33, АД35	СвАК3, СвАК5, СвАК10, СвАК12
7	1915	01557–1

в. Сварка порошковой проволокой

Параметры сварки приведены в табл. 2.7.

Таблица 2.7

Рекомендуемые параметры сварки порошковыми проволоками

Марка порошковой проволоки	Диаметр, мм	Рекомендуемые		Вылет электрода, мм	Рекомендуется для сварки стали:		Положение сварки
		Сила тока, А	Напряжение, В		Малоуглеродистой	Низколегированной	
1	2	3	4	5	6	7	8
<i>а. Самозащитные</i>							
ПП-1ДСК	1,8; 2,2	150–300	21–30	25–30	+		нижнее, вертикаль., гориз.
ПП-АН1	2,8	250–300	24–28	25–30	+		нижнее
ПП-АН3	3,0	350–500	25–30	30–50	+		нижнее, вертикаль., гориз.

Окончание табл. 2.7

1	2	3	4	5	6	7	8
ПП-АН7	2,0; 2,3	160–300	20–26	30–50	+	+	нижнее, вертик., гориз.
ПП-АН11	2,0; 2,4	150–300	20–26	30–50	+	+	во всех
ПП-АН17	3,0	350–600	24–32	30–50	+		нижнее
ПП-2ДСК	1,8; 2,2; 2,35	180–450	25–32	50–70	+	+	нижнее, вертик., гориз.
б. Газозащитные							
ПП-АН4	22; 25	230–250	25–33	30–50	+	+	нижнее, вертик., гориз.
ПП-АН-8	22; 25; 3	150–550	20–38	30–50	+	+	нижнее
ПП-АН-9	22; 25	240–530	25–35	30–50	+	+	нижнее, вертик., гориз.
ПП-АН-10	2,2	150–500	23–37	30–50	+	+	нижнее

Содержание отчета

Отчет должен включать следующие разделы:

- сущность сварки под флюсом, в среде защитного газа, порошковой проволокой (начертить принципиальную схему процессов с указанием основных параметров и их влияния на формирование сварного шва);

- преимущества и недостатки рассматриваемых видов сварки;

- оборудование для выполнения автоматической и полуавтоматической сварки (начертить принципиальные схемы механизмов);

- привести параметры сварки, принятые для выполнения контрольного шва (решение задачи).

Готовый отчет предьявляется преподавателю.

Лабораторная работа № 3

КОНТАКТНАЯ СВАРКА

Цель работы: изучение схемы сварочных процессов и оборудования, определение параметров сварки.

Отличительная особенность контактной сварки – применение давления на соединяемые элементы. Источником тепла является прохождение электрического тока в месте контакта соединяемых элементов. Контактная сварка бывает следующих видов: стыковая (в том числе сопротивлением, непрерывным оплавлением и оплавлением с подогревом), точечная и шовная (рис. 3.1).

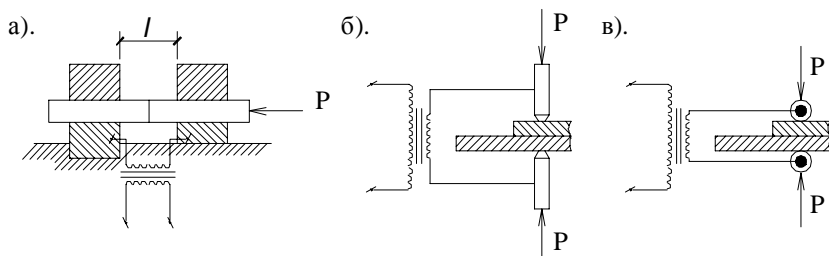


Рис. 3.1. Схема контактной сварки:
а – стыковая; б – точечная; в – шовная

Стыковая сварка сопротивлением

Стыковая сварка применяется для соединения стержней по их торцам. Стыковая сварка сопротивлением осуществляется следующим образом: торцы соединяемых элементов приводятся в соприкосновение и сдавливаются; пропускается электрический ток, который разогревает торцы соединяемых элементов, что вместе с давлением приводит к их соединению. Для обеспечения плотного контакта по всему поперечному сечению торцы соединяемых стержней должны быть предварительно обработаны.

Основные параметры стыковой сварки сопротивлением: плотность сварочного тока, величина давления (P), время действия тока, припуск на осадку и установочная длина (l). Припуск на осадку предусматривается для компенсации уменьшения длины стержней при их сдавливании.

Область применения – соединение стержней площадью до 300 мм² и труб диаметром до 40 мм.

Стыковая сварка оплавлением (непрерывным и с подогревом)

При стыковой сварке непрерывным оплавлением в соприкосновение приводятся элементы, уже включенные в электрическую цепь. При этом виде сварки оплавление торцов происходит предварительно, до их соприкосновения. Сварочное соединение образуется после сдавливания (осадки) расплавленных торцов. Область применения – соединение стержней с площадью сечения до 1200 мм².

Стыковой сваркой оплавлением с подогревом производится соединение элементов, также предварительно включенных в электрическую цепь. Оплавление торцов здесь осуществляется с помощью нескольких коротких замыканий, возникающих при их соприкосновении. После достаточного расплавления торцы сжимаются (осаживаются) и образуется соединение.

Основные параметры стыковой сварки оплавлением: плотность тока, величина давления (Р), скорость оплавления и осадки, припуск на оплавление и осадку; длительность сварки и установочная длина.

Область применения – соединение стержней с площадью сечения до 6000 мм².

Точечная сварка

Точечная сварка применяется для соединения пересекающихся арматурных стержней и для соединения листовых элементов внахлестку.

При точечной сварке соединяемые элементы, уложенные друг на друга, сжимаются электродами контактной машины, затем включается электрический ток. В результате прохождения тока в соединяемых элементах образуется литое ядро (точка), размеры которого ограничены площадью торцов электродов. Ток выключается после образования литого ядра, а электроды разжимаются после полной кристаллизации металла литого ядра.

Наиболее распространенные циклы, применяемые для сварки малоуглеродистой стали и сплавов алюминия, приведены на рис. 3.2, а, б. Каждый цикл состоит из четырех операций: сжатие

(соединяемые элементы только сжимаются); сварка (включается ток и происходит расплавление металла между электродами); проковка (ток выключен, происходит кристаллизация сварочной точки); пауза (давление отсутствует, ток выключен).

Основными параметрами точечной сварки являются сила тока и сила сжатия (P), которые в зависимости от толщины и вида металла могут быть постоянными или переменными в течение цикла сварки одной точки. К основным параметрам относится также продолжительность каждой операции цикла.

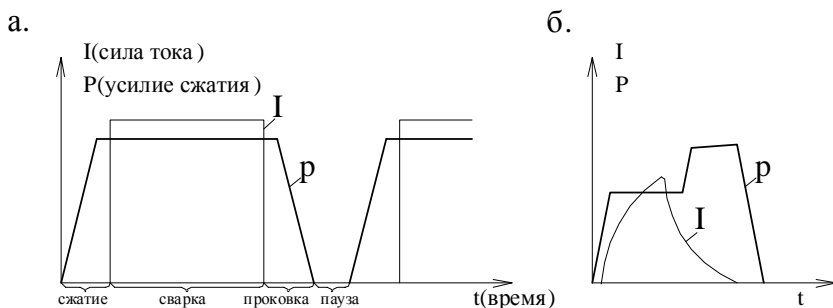


Рис. 3.2. Циклы точечной сварки

Шовная сварка

Шовная сварка применяется для образования нахлесточных соединений листовых деталей. При шовной сварке электродами служат вращающиеся ролики, которые образуют сварной шов в виде сплошного ряда точек на соединяемых элементах. Диаметр электродов-роликов равен 40–400 мм. Ток на электроды может подаваться непрерывно или импульсами. Electrodes так же, как и в точечной сварке, сжимают соединяемые элементы.

Основные параметры шовной сварки: сила тока, сжимающее давление (P), длительность операций цикла, скорость сварки.

Преимущества и недостатки

Преимуществом всех видов контактной сварки является высокая производительность, механизация и автоматизация сварочного про-

цесса. К недостаткам следует отнести необходимость доставки деталей к сварочным машинам, а не наоборот, большие требуемые мощности машин, узкую специализацию машин.

Оборудование для контактной сварки

а. Оборудование для стыковой сварки

На рис. 3.3 изображена схема машины для стыковой сварки. Зажимное устройство машины состоит из неподвижной и подвижной плит, на которых расположены зажимы для крепления соединяемых элементов. Привод осадочно-подающего механизма может быть ручным, электромеханическим или гидравлическим. На стыковых машинах с пружинным или рычажным приводом можно выполнить стыковую сварку сопротивлением, непрерывным оплавлением или оплавлением с подогревом. Машины для стыковой сварки, как правило, оборудуются приспособлениями для отжига и снятия грата. Отжиг производится для ликвидации закалочных структур (для уменьшения хрупкости металла) в зоне стыка. Грат – излишки (капли) металла, образующиеся при осадке и располагаемые по периметру стыка.

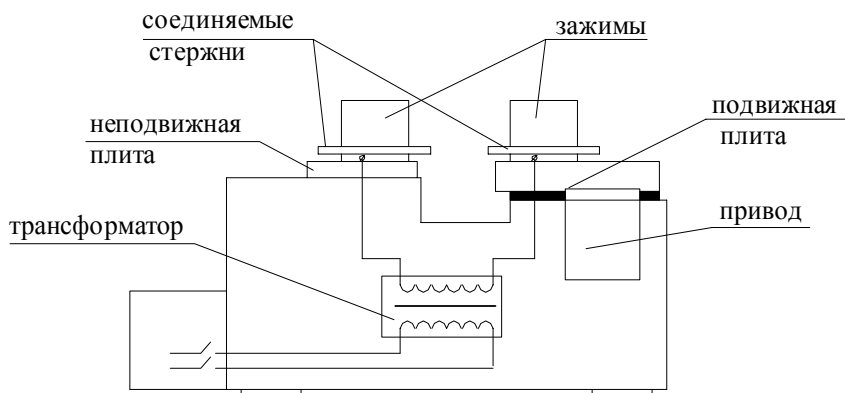


Рис. 3.3. Схема машины для стыковой сварки

б. Машины для точечной и шовной сварок

Схема стационарной машины для односточечной контактной сварки приведена на рис. 3.4. В корпусе машины помещены: трансформатор, переключатели ступеней и аппаратура управления (регулятор времени). На консолях расположены два электрододержателя, один из которых связан с механизмом сжатия. Вторичная обмотка трансформатора соединена с верхним и нижним электродами. Первичная обмотка имеет отпайки, соединенные с переключателем ступеней, с помощью которых устанавливается нужное вторичное напряжение. Включение и выключение первичной обмотки осуществляется контактором.

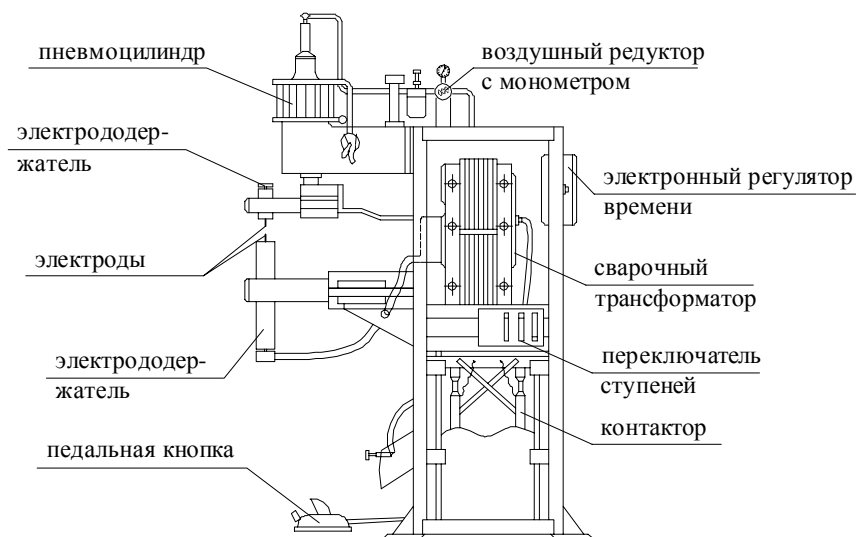


Рис. 3.4. Схема машины для точечной сварки

Регулятор времени управляет последовательностью и длительностью операций, выполняемых в течение одного цикла: сжатие деталей между электродами (сжатие); включение и выключение тока (сварка); выдерживание деталей под давлением после выключения тока (проковка); подъем верхнего электрода и выдерживание его в поднятом положении до начала следующего цикла (пауза). Длительность каждой операции устанавливается с помощью рукоя-

ток, выведенных на панель регулятора. Включение машины осуществляется педальной кнопкой. Для получения одной точки педаль нажимается и быстро отпускается, если педаль держать, то циклы сварки будут повторяться.

Машины для контактной шовной сварки аналогичны по структуре машинам для точечной сварки. Отличие заключается в том, что вместо стержневых электродов применяются электроды в виде роликов.

Для точечной сварки алюминия используются специальные полуавтоматы. Для выполнения точечной сварки алюминия в схему управления полуавтомата вносятся изменения, позволяющие осуществить цикл сварки по схеме:

- 1) включение тока и одновременная подача сварочной проволоки с малой скоростью;
- 2) возбуждение дуги;
- 3) сварка (скорость подачи проволоки увеличивается);
- 4) гашение дуги (окончание цикла).

Работа полуавтомата осуществляется в следующем порядке. При первом нажатии кнопки «Пуск», находящейся на ручке пистолета, начинается продувка пистолета газом (аргоном). При втором нажатии кнопки «Пуск» включается двигатель подачи проволоки. Скорость подачи проволоки определяется положением движка ползункового реостата. При касании проволокой изделия скорость подачи проволоки возрастает до рабочей (величина рабочей скорости определяется положением рукоятки автотрансформатора) и включается реле времени. Время сварки устанавливается переменным резистором. После истечения установленного срока сварки через реле разрывается цепь питания двигателя, и подача проволоки прекращается. В течение 1–1,5 с происходит плавное гашение дуги. Подача газа заканчивается через 5 с после окончания сварки отпуском кнопки «Пуск».

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Изучить настоящее пособие.
2. Ознакомиться со сварочным оборудованием с помощью пособия и преподавателя.
3. Научиться определять параметры стыковой и точечной сварок.
4. Написать отчет.

Указания по определению параметров сварки

а. Стыковая сварка

При стыковой сварке сопротивлением необходима тщательная обработка и подготовка соединяемых торцов, не допускающая местных зазоров. Для стыковой сварки оплавлением подготовка торцов не требуется – элементы могут нарезаться на пресс-ножницах, механической пилой или газовой резкой. Торцы соединяемых элементов должны быть зачищены от окалины и ржавчины. Также должны быть зачищены участки элементов, закрепляемых в зажимах сварочной машины. В табл. 3.1 приведены основные значения параметров сварки сопротивлением стержней диаметром (d) не более 16 мм из малоуглеродистой.

Таблица 3.1

Значения параметров стыковой сварки сопротивлением ($d \leq 16$ мм)

№ п/п	Наименование параметра	Значение параметра
1	Установочная длина	$(0,7-1,5)d$
2	Припуск на осадку	$(0,2-0,3)d$
3	Плотность тока, А/мм ²	20–60
4	Время действия тока, с	0,3–0,8
5	Давление осадки, МПа	
	в начале нагрева	10–15
	в конце нагрева	20–25

Ориентировочные значения параметров при стыковой сварке оплавлением стержней из малоуглеродистой стали приведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Значения параметров стыковой сварки оплавлением

№ п/п	Наименование параметра	Значения параметров при сварке оплавлением	
		непрерывным	с подогревом
1	Установочная длина	$(0,7-1,5)d$	$(0,7-1,5)d$
2	Диаметр деталей (d), мм	5–40	15–90

№ п/п	Наименование параметра	Значения параметров при сварке оплавлением	
		непрерывным	с подогревом
3	Время, с на подогрев на оплавление	2–40	3–120 4–20

Окончание табл. 3.2

№ п/п	Наименование параметра	Значения параметров при сварке оплавлением	
		непрерывным	с подогревом
4	Припуск, мм на подогрев и оплавление на осадку	4,5–35,5 1,5–4,5	6,5–24 2,5–8
5	Скорость оплавления, мм/с Скорость осадки, мм/с	0,5–1,5 50–60	1,5–2,5 50–60
6	Плотность тока (мягкий режим*), МА/м ² средняя при оплавлении наибольшая при оплавлении наибольшая при осадке	2–4 6–8 25–30	2–4 6–8 25–30
7	Давление, МПа	80–120	40–60

Примечание. *Различают мягкий и жесткий режимы. Мягкие режимы характеризуются малой плотностью тока и сравнительно большой длительностью его действия.

Задача. По табл. 3.1 и 3.2 определить параметры стыковой сварки для стержней. Диаметр стержней задается преподавателем ($d = 14, 30, 50$ мм).

б. Сварка пересекающихся арматурных стержней

Соединяемые элементы перед сваркой необходимо очистить от ржавчины, окалины и масел. Режим сварки определяется для наиболее тонкого из соединяемых стержней. Рекомендуемые параметры сварки приведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Значения параметров точечной и шовной сварок

№ п/п	Наименование параметров	Точечная сварка стальных		Шовная сварка	
		стержней	листов	стали	алюминия
1	Диаметр стержней или толщина листов, мм	3 – 40	0,5 – 4	1 – 6	1 – 6

Окончание табл. 3.3

№ п/п	Наименование параметров	Точечная сварка стальных		Шовная сварка	
		стержней	листов	стали	алюминия
2	Величина сварочного тока, кА	1,8–21,5	6–19	7–22	26–41
	а. для листов				
	б. для стержней при $G_y \leq 240$ МПа				
	в. для стержней при $G_y \geq 240$ МПа	5–33			
3	Усилие сжатия, кН	1,5–31	1,2–15	1,5–11	2,7–4,9
4	Диаметр электрода, мм	25; 40; 60			
5	Длительность, с				
	сжатия	0,5–1,0	0,5–1,0	–	–
	сварки	0,2–0,8	0,05–0,6	0,02 –0,32	0,04 –0,08
	проковки	0,5–1,5	0,5–1,5	0,04 –0,34	0,08 –0,24
6	Скорость сварки, м/мин	–	–	1,4–0,4	0,7–0,5

в. Сварка стальных листов

Листовые элементы перед сваркой необходимо зачистить с двух сторон на ширину 30–50 мм в местах расположения сварных точек. При сборке деталей под сварку следует обеспечить их плотное прилегание друг к другу.

Размер нахлеста зависит от диаметра (Д) литого ядра и должен быть (2,5–3)Д, а расстояние между точками (3,5–4)Д. Диаметр электрода (d) может быть определен по следующей формуле:

$$d = 4 + 2t, \text{ мм},$$

где t – наибольшая из толщин соединяемых элементов (мм).

Значения параметров при точечной сварке углеродистых сталей приведены в табл. 3.3.

Задача. Определить параметры точечной сварки по табл. 3.3, а также значение нахлеста и расстояние между сварочными точками (принять диаметр сварочной точки равным диаметру электрода). Толщина листов назначается преподавателем ($t = 1, 2, 4$ мм).

Содержание отчета

В отчете должны быть отражены следующие вопросы:

- 1) сущность контактной сварки (стыковой, точечной, шовной);
- 2) преимущества, недостатки и области применения контактной сварки;
- 3) описание оборудования (принципиальная схема, порядок работы сварочных машин);
- 4) решения задач.

Отчет следует иллюстрировать рисунками и схемами. Готовый отчет предъявляется преподавателю.

Лабораторная работа № 4

ТЕРМИЧЕСКАЯ РЕЗКА МЕТАЛЛОВ

Цель работы: изучение сущности, основных параметров и оборудования при резке металлов.

Сущность термической резки и области применения

Термическая резка металлов бывает следующих видов: кислородная (газовая), дуговая, воздушно-дуговая, кислородно-дуговая и плазменная.

Кислородная резка

Кислородная резка основана на свойстве некоторых металлов, нагретых до высокой температуры, сгорать в струе кислорода. Образующиеся при этом окислы и шлаки удаляются напором газовой струи. Предварительный нагрев металла до температуры воспламенения производится пламенем, образующимся при сгорании горючего газа (ацетилена, паров бензина, пропана, пропан-бутана, природного газа) в струе кислорода (рис. 4.1).

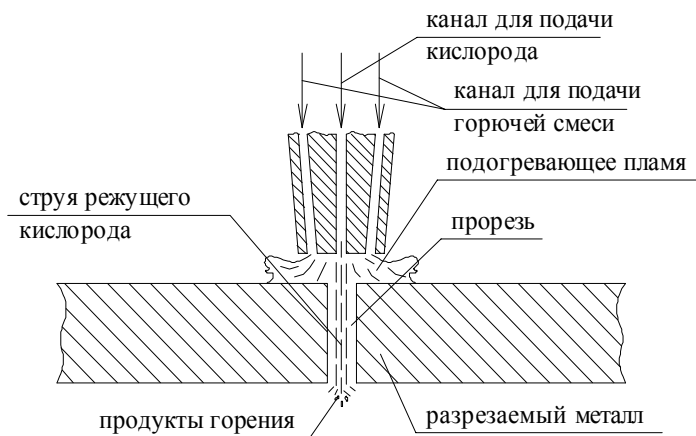


Рис. 4.1. Схема кислородной резки

Кислородная резка применима для металлов, обладающих следующими свойствами:

- температура воспламенения металла в струе кислорода должна быть ниже температуры его плавления;

- температура плавления окислов, образующихся в процессе сгорания металла, должна быть ниже температуры плавления металла;

- тепловыделения при сгорании металла достаточны для прогрева глубинных слоев изделия до температуры воспламенения;

- жидкотекучесть окислов и шлаков достаточна для удаления их из полости реза напором газовой струи;

- невысокая теплопроводность необходима для быстрого и концентрированного нагрева.

Указанным требованиям удовлетворяют малоуглеродистые и низколегированные стали. Для сплавов алюминия, чугуна и сталей с повышенным содержанием углерода (более 0,5 %) и легирующих элементов (более 5 %) кислородная резка не применяется. Например, температура плавления чугуна ниже температуры его воспламенения, а сплавы алюминия и других цветных металлов обладают слишком большой теплопроводностью. Для резки этих металлов применяется кислородно-флюсовая резка. В этом случае в зону резки подается порошкообразный флюс, который, сгорая, выделяет дополнительное тепло в полости реза и, кроме того, вступая в реакцию с окислами сгораемого металла, снижает температуру их плавления и обеспечивает тем самым удаление их из полости реза.

Основными параметрами кислородной резки являются:

- мощность подогревательного пламени (расход горючего газа);
- продолжительность предварительного подогрева до воспламенения металла;

- давление режущего кислорода;

- объемный расход режущего кислорода;

- ширина полости реза;

- скорость реза.

Все параметры, кроме последнего, с увеличением толщины металла увеличиваются (значения основных параметров приведены в табл. 4.1).

Дуговая резка

Дуговая резка выполняется расплавлением металла теплом электрической дуги. При этом удаление расплавленного металла осуществляется козырьком покрытия электрода. Для дуговой резки используется то же оборудование, что и для дуговой сварки, но при этом используют специальные электроды марки ОЗР-1. Процесс дуговой резки малопроизводителен и качество резки невысокое.

Воздушно-дуговая резка

При воздушно-дуговой резке (рис. 4.2) металл расплавляется теплом электрической дуги, горящей между изделием и неплавящимся электродом, а удаление жидкого металла осуществляется струей сжатого воздуха. Давление воздуха обычно составляет 0,6–0,8 МПа, сила тока 300–1500 А. Воздушно-дуговую резку применяют для высокоуглеродистых, низколегированных сталей, чугуна, сплавов алюминия и других цветных металлов толщиной 5–25 мм. При этом для резки малоуглеродистых сплавов в случае применения постоянного тока используется обратная полярность, а для сплавов цветных металлов – прямая полярность.

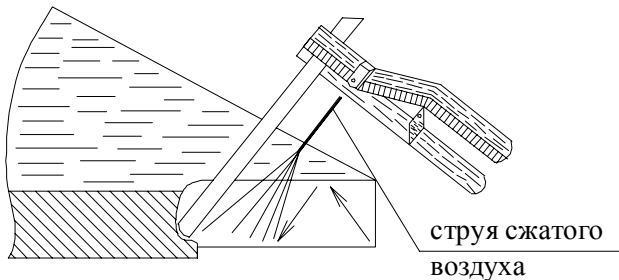


Рис. 4.2. Схема воздушно-дуговой резки

Кислородно-дуговая резка

При этом виде резки дуга разогревает металл, а затем в струе кислорода происходит его горение. Струя кислорода также используется для удаления продуктов горения из полости реза.

Плазменная резка

Плазменная резка основана на расплавлении металла и удалении его плазменной струей. Плазма может быть получена прямым или косвенным путем (рис. 4.3). В первом случае газ, подаваемый в сопло плазматрона, нагревается и ионизируется, увеличиваясь в объеме в 50–100 раз, и вырывается из сопла с большой скоростью. Поток ионизированного газа (плазмы), сжимая столб дуги, которая горит, между изделием и электродом, повышает его температуру до 30000 °С. При косвенном образовании плазмы дуга горит между соплом плазматрона и электродом. Газ, проходящий через дугу, образует поток плазмы, температура которого достигает 16000 °С. Первый способ используется для резки только металлов, а второй способ используется для резки как металлических, так и неметаллических материалов.

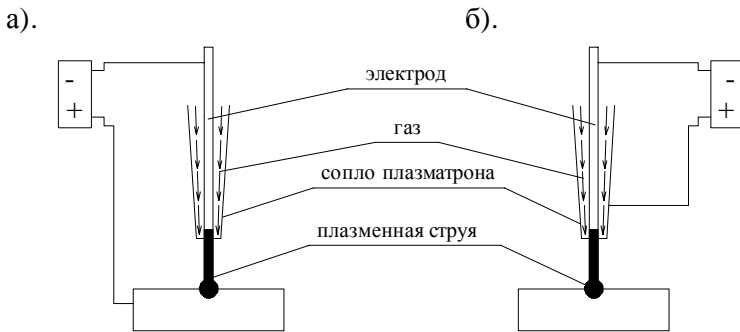


Рис. 4.3. Схема получения плазменной дуги прямого (а) и косвенного (б) действия

Основными параметрами плазменной резки являются: сила тока, расход и состав газа, диаметр и длина канала плазматрона, расстояние между соплом плазматрона и изделием. В качестве плазмообразующих газов применяются: азот, водород, азотно-водородные смеси, а также воздух. Последний используется только для резки черных металлов и только при использовании циркониевых или гафниевого электродов. Для резки цветных металлов используются аргоно-водородные смеси. Источники питания при плазменной резке должны иметь крутопадающую или вертикальную характеристику с напряжением холостого хода до 120–300 В.

Плазменная резка может применяться для резки всех металлов толщиной до 100 мм. Скорость реза достигает 10 м/мин, а ширина реза может изменяться от десятых долей миллиметра до 8–10 мм.

Преимуществом всех видов термической резки по сравнению с механической резкой является мобильность и универсальность, возможность выполнить резы любой конфигурации и в разнообразных положениях, в стационарных условиях и в условиях монтажной площадки.

К недостаткам термической резки следует отнести большую, чем при механической резке ширину полости реза, изменение структуры металла вблизи кромок реза, шероховатую поверхность плоскости реза.

Оборудование для термической резки металла

В комплект оборудования для кислородной резки металлов входят: резак, шланги, регулирующая аппаратура (редукторы), газовые баллоны. Резаки подразделяются на газовые, для кислородной резки (рис. 4.4), и газо-дуговые, для воздушно-дуговой, кислородно-дуговой (рис. 4.5). Порядок работы газового резака (рис. 4.4) следующий: по отдельным каналам кислород и горючий газ поступают в смесительную камеру и образуют горючую смесь, которая при выходе из наконечника резака является топливом для подогревающего пламени; после нагрева металла до температуры воспламенения по специальному каналу подается режущий кислород.

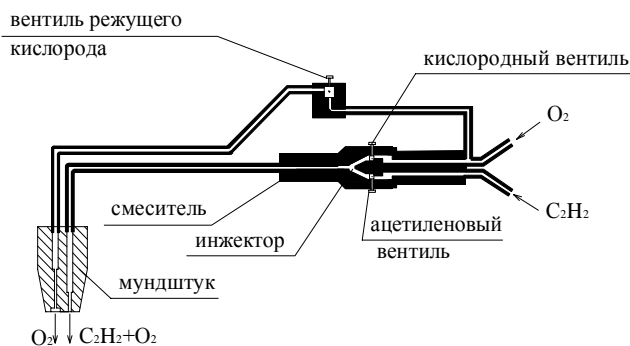


Рис. 4.4. Схема газового резака

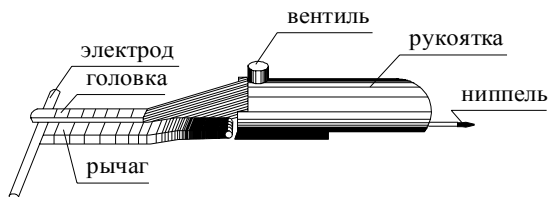


Рис. 4.5. Схема воздушно-дугового резака

Резаки для кислородной резки с применением керосина или бензина имеют испаритель, где жидкое горючее нагревается пламенем подогревателя и превращается в пар. Газовые резаки используются для резки малоуглеродистых и низколегированных сталей толщиной 3–300 мм.

На рис. 4.5 приведена схема резака для воздушно-дуговой резки. Электрод (неплавящийся) прижимается рычагом к головке резака, в которой имеются отверстия для выхода сжатого воздуха. К головке воздух подается через ниппель и канал, расположенный в рукоятке резака. Воздушно-дуговые резаки используются для резки металла толщиной до 25 мм.

Плазмотроны для плазменной резки бывают с воздушным и водяным охлаждением. Плазмотрон состоит из головки и рукоятки с узлом управления. Головка включает в себя катодный узел с вольфрамовым или другим неплавящимся электродом и сопло, подключенное к аноду источника питания. В узле управления находится вентиль для подачи рабочего плазмообразующего газа и кнопка для включения источника питания.

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Изучить настоящее пособие.
2. Ознакомиться с оборудованием.
3. Научиться устанавливать оптимальные режимы кислородной резки.
4. Написать отчет.

Указания по определению параметров термической резки выполнению контрольных заданий

Кислородная резка

В табл. 4.1 приведены значения основных параметров кислородной резки. При использовании кислородной резки для поверхностной обработки металла (образование канавок, разделка корня сварного шва, вырез дефектных участков шва) давление кислорода составляет до 0,3–1,0 МПа, скорость резки – до 10 мм/мин, расход кислорода – 18–75 м³/ч, ацетилен – 0,9–1,0 м³/ч. Приведенные параметры поверхностной обработки даны для канавок шириной 15–50 мм и глубиной 2–20 мм. Промежуточные значения можно вычислять по интерполяции.

Таблица 4.1
Параметры кислородной резки малоуглеродистой стали

Наименование параметра	Величина параметра	Толщина разрезанного металла, мм
Мощность подогревательного пламени (расход горючего газа), м ³ /ч	0,3–0,75	3–50
Продолжительность подогрева, с	5–10 10–25	10–20 20–100
Давление режущего кислорода, МПа	0,3–1,5	3–300
Расход режущего кислорода, м ³ /ч	3–42	3–300
Скорость резки, мм/мин	550–80	3–300
Ширина реза, мм	3–5	5–50

Ниже приведена последовательность операций при кислородной резке. Вначале следует открыть кислородный и ацетиленовый вентили резака и поджечь образовавшуюся горючую смесь. Полученное подогревающее пламя направить на изделие в месте начала реза, где металл нужно нагревать до $T = 1250$ °С (этот момент определяется визуально). Мощность подогревающего пламени можно увеличить за счет большего расхода кислорода. После нагрева металла до требуемой температуры открывается вентиль режущего кислорода и резак перемещают в направлении реза.

Качество реза оценивается глубиной бороздок на поверхности реза и чистотой кромок реза. Если кромки реза оплавлены, то скорость реза

была заниженной, если же имеются непрорезанные участки, то скорость реза была завышенной. Наличие на кромках реза грата (остатков расплавленного металла и его окислов) свидетельствует о недостаточном давлении режущего кислорода или о низкой чистоте кислорода.

Воздушно-дуговая резка

В табл. 4.2 приведены значения параметров при воздушно-дуговой резке.

Таблица 4.2

Параметры при воздушно-дуговой резке

Толщина металла, мм	Диаметр электрода, мм	Сила тока, А	Скорость реза, м/ч
5	6	270–300	60–62
8	8	360–400	26–28
10	10	450–500	20–32
12	12	540–600	22–24
20	10	450–500	10–12
22	12	540–600	8–14
25	14	630–700	10–11

Расход воздуха составляет 20 м³/ч, давление 0,25–0,4 МПа при переменном токе и 0,4–0,6 МПа – при постоянном.

При воздушно-дуговой резке наклон электрода в плоскости реза к изделию должен быть 45–60°.

Содержание отчета

В отчете должны быть отражены следующие вопросы:

1) сущность и основные параметры термической резки металлов (кислородной, дуговой, воздушно-дуговой, кислородно-дуговой и плазменной);

2) преимущества, недостатки и область применения термической резки металлов;

3) схемы и описание оборудования для кислородной, воздушно-дуговой и плазменной резки, порядок работы оборудования.

Отчет следует иллюстрировать рисунками и схемами. Готовый отчет предьявляется преподавателю.

Лабораторная работа № 5

СВАРОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ

Цель работы: экспериментальное изучение сварочных деформаций и напряжений.

Возникновение сварочных напряжений и деформаций

В зоне сварного шва процесс сварки сопровождается структурными и химическими изменениями металла: образуются закалочные структуры, изменяются размеры зерен феррита и перлита, в отличие от основного металла шов имеет структуру литого металла (с большей изотропией свойств, чем прокатной металл), химический состав сварного шва определяется химсоставом не только основного металла, но также металла электрода и защитного покрытия. Кроме структурных и химических изменений, в соединяемых элементах и сварном шве возникают сварочные напряжения и соответствующие им деформации.

Появление сварочных напряжений является результатом несоответствия между температурными деформациями соединяемых элементов и распределением температуры по их ширине при наплавке сварного шва. Температурные деформации, как известно, линейно зависят от изменений температуры, т.е. форма торцов соединяемых элементов должна повторить форму графика распределения температуры (рис. 5.1, а, б-1). Однако фактическая форма торцов имеет очертание, представленное на рис. 5.1, б-2. После охлаждения несоответствие между деформациями (см. рис. 5.1, б-3) и распределением температуры (см. рис. 5.1, б-4) также сохраняется.

Разность между температурными (теоретическими) и фактическими деформациями определяет знак и значение сварочных напряжений: если эта разность отрицательна (фактические деформации больше температурных), то в этом месте возникают растягивающие напряжения; чем больше разность деформаций, тем больше напряжения. Эпюра сварочных напряжений приведена на рис. 5.1, в. Сварочные напряжения являются собственными напряжениями и должны быть самоуравновешенными, т.е. площадь эпюры сжимающих напряжений должна быть равна площади эпюры растягива-

ющих напряжений. Значения сварочных напряжений зависят от силы тока и напряжения (прямая зависимость) и скорости сварки (обратная зависимость).

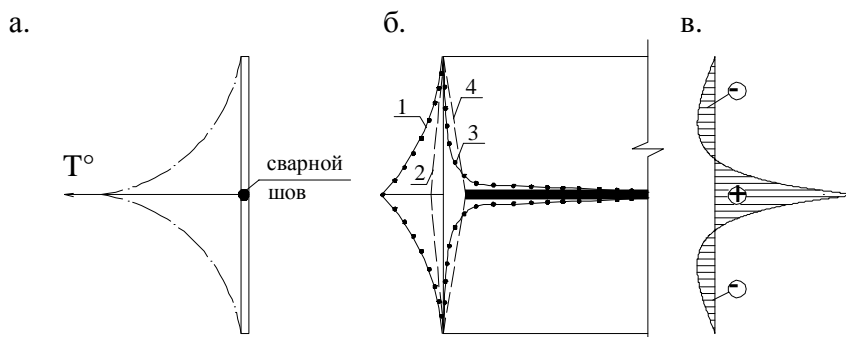


Рис. 5.1. Образование сварочных напряжений в стыковом соединении: *а* – распределение температуры по ширине соединяемых деталей после наплавки сварного шва; *б* – форма торцов соединяемых деталей: 1 – непосредственно после наплавки сварного шва соответствующая распределению температуры (теоретическая); 2 – то же (фактическая); 3 – после остывания соответствующая распределению температур (теоретическая); 4 – то же (фактическая); *в* – эпюра сварочных напряжений

Сварочные напряжения возникают не только в направлении сварного шва, но и в перпендикулярном направлении. Значения этих напряжений зависят, прежде всего, от степени закрепления краев соединяемых пластин от перемещений, перпендикулярных сварному шву и от объема наплавленного металла.

Помимо указанных причин, на значения сварочных напряжений как вдоль, так и поперек сварных швов оказывают влияние исходная температура соединяемых деталей, способ и последовательность выполнения сварных швов, близкое расположение сварных швов – при расположении сварных швов на небольшом расстоянии друг от друга их сварочные напряжения могут суммироваться.

Сварочные напряжения, являясь самоуравновешенными, не снижают прочность соединяемых элементов при статической нагрузке. Однако при динамических нагружениях сварочные напряжения оказывают отрицательное влияние на несущую способность. Сварочные напряжения могут образовывать зоны с напряжениями одинакового знака, что препятствует развитию пластичности и может

привести к хрупкому разрушению. Совпадение по знаку сварочных напряжений с напряжениями от внешних нагрузок влечет за собой преждевременное появление пластических деформаций и соответственно снижение устойчивости сжатых элементов. Кроме того, сварочные напряжения сопровождаются соответствующими деформациями, которые искажают геометрическую форму сечений и конструктивного элемента в целом.

Для уменьшения сварочных деформаций рекомендуется располагать сварные швы симметрично относительно центра тяжести сечения конструкции, предусматривать обратный выгиб деталей перед их сваркой, а также предусматривать апробированные соотношения толщин соединяемых элементов, обеспечивающие их прямолинейность после сварки.

Последовательность выполнения работы

Работа выполняется в четыре этапа.

1-ый этап. Определение сварочных напряжений методом растяжения

Этот этап выполняется на образце из стали С235, изображенном на рис. 5.2, в следующей последовательности:

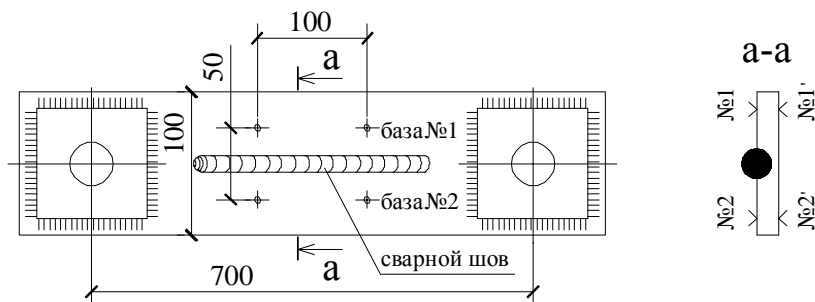


Рис. 5.2. Образец для испытаний

1) измерить размеры базы № 1 и № 2 (каждый размер измеряется трижды и для дальнейших вычислений берется средняя величина.

Кроме того, для учета возможного изгиба измерения производят и с обратной стороны – базы № 1' и № 2');

2) определить среднее значение базы (l_{cp});

3) произвести наплавку сварного шва вдоль оси образца;

4) после остывания образца до комнатной температуры и выпрямления образца произвести повторное измерение размеров базы № 1, 2, 1' и 2';

5) определить среднее значение длины базы после наплавки сварного шва (l_{cp1});

б) определить изменение длины базы № 1 и № 2 (Δ_{cp}) в результате наплавки сварного шва:

$$\Delta_{cp} = l_{cp} - l_{cp1};$$

7) определить напряжение сжатия по формуле

$$\sigma_{сж} = \Delta_{cp} \cdot E / l_{cp},$$

где E – модуль упругости;

8) вставить образец в разрывную машину и произвести нагружение образца до напряжений σ_2 , равных $(0,7...0,8) \sigma_y$ (при этом $\sigma_2 + \sigma_{max}$ должны быть больше σ_y);

9) снять нагрузку и произвести третье измерение длины базы № 1 и № 2, № 1' и № 2' (l_{cp2});

10) определить изменение длины баз в результате растяжения образца по сравнению с длиной баз после наплавки шва ($\Delta_{cp1} = l_{cp2} - l_{cp1}$);

11) вычислить среднюю величину снижения остаточных напряжений по формуле:

$$\sigma_1 = \Delta_{cp1} \cdot E / l_{cp1},$$

12) из следующих двух уравнений (уравнения равновесия остаточных напряжений после наплавки шва и после растяжения) определить σ_p и «в»:

$$(a - b) \sigma_{сж} = b \sigma_p;$$

$$(a - b) (\sigma_{сж} - \sigma_1) = b (\sigma_y - \sigma_2),$$

где a – ширина пластинки ($a = 100$ мм);

b – ширина эпюры растягивающих напряжений (рис. 5.3);

13) по найденным значениям σ_p и « b » построить эпюры напряжений после наплавки шва и растяжения образца (рис. 5.3).

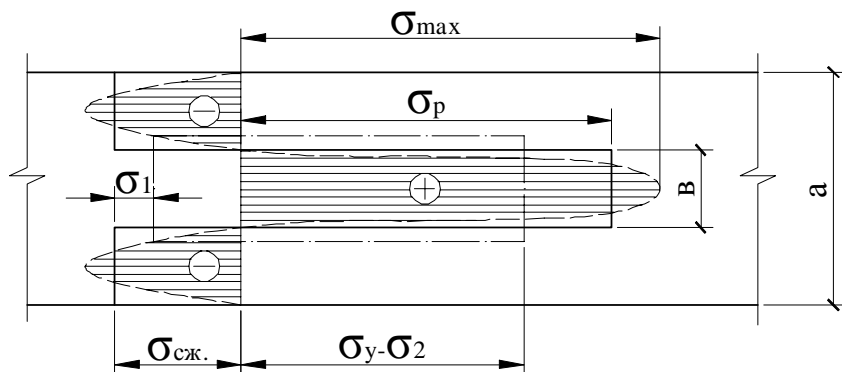


Рис. 5.3. Эпюра напряжений в образце после наплавки шва (штриховой линией – фактическая; сплошной линией – условно принятая) и после растяжения (штрихпунктирная линия)

Все измерения по данному этапу следует вносить в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Формы записи результатов испытаний

Но- мер базы	До сварки			После сварки			После растяжения		
	от- сче- ты	сред- ние от- сче- ты	сред- ние зна- чения	от- сче- ты	сред- ние от- сче- ты	сред- ние зна- че- ния	от- сче- ты	сред- ние отсче- ты	сред- ние значе- ния
1									
2									
1'									
2'									

*2-й этап. Определение деформаций и усадочной силы
при наплавке сварного валика на кромку полосы*

Для выполнения работы используется образец размером 10x100x300 мм из стали С235.

Последовательность выполнения:

1) установить пластину в рабочее положение (рис. 5.4) и закрепить измерительные приборы (индикаторы часового типа), при этом рабочий стержень индикаторов ставить в накерненные углубления;

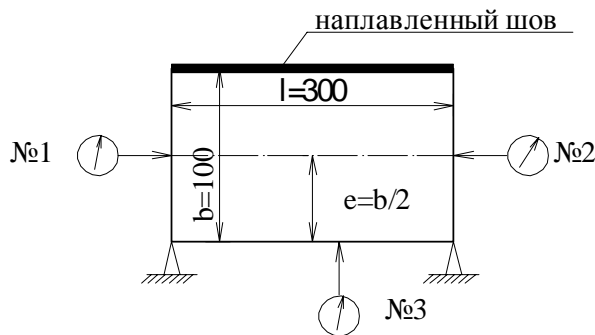


Рис. 5.4. Схема установки образца и приборов

- 2) записать показания приборов;
- 3) произвести наплавку валика сварного шва на продольную кромку образца;
- 4) произвести повторное снятие показаний приборов сразу же после окончания сварки;
- 5) произвести третье снятие показаний приборов после охлаждения образца до комнатной температуры;
- 6) определить укорочение образца ($\Delta_{пр}$) на уровне нейтральной оси (по данным индикаторов № 1 и № 2);
- 7) вычислить усадочную силу, действующую на образец от усадки сварного шва в продольном направлении:

$$P_{yc} = \Delta_{пр} E A / l;$$

8) вычислить теоретический прогиб пластины и сравнить его с фактическим (показания индикатора № 3)

$$f = Pe l^2 / (9,6EI).$$

Все результаты измерений записываются в таблицу, форма которой приведена ниже (табл. 5.2).

Для исключения искажения результатов измерений из-за коробления пластины ее следует перед снятием отсчетов выпрямлять.

Отчет по данному этапу следует сопровождать рисунками образца до наплавки шва, после наплавки и после охлаждения до комнатной температуры.

Таблица 5.2

Форма записи результатов измерений

Номер прибора	Начальные показания	Показания после сварки	Показания после остывания швов
1			
2			
3			

3-й этап. Определение поперечной усадки сварного шва в стыковом соединении

Работа выполняется в следующей последовательности:

- 1) собрать пластины под сварку (рис. 5.5), при этом пластины должны быть закреплены от случайных смещений;
- 2) измерить базу № 1, № 2 и результаты занести в табл. 5.3;
- 3) наплавить стыковой сварной шов, соединяющей пластинки;
- 4) после охлаждения пластин до комнатной температуры произвести повторное измерение базы № 1 и № 2;
- 5) определить величину поперечной усадки как разность измерений до сварки и после сварки.

Таблица 5.3

Форма записи результатов испытаний

Номер базы	Начальные замеры	Замеры после сварки при комнатной температуре	Укорочение базы

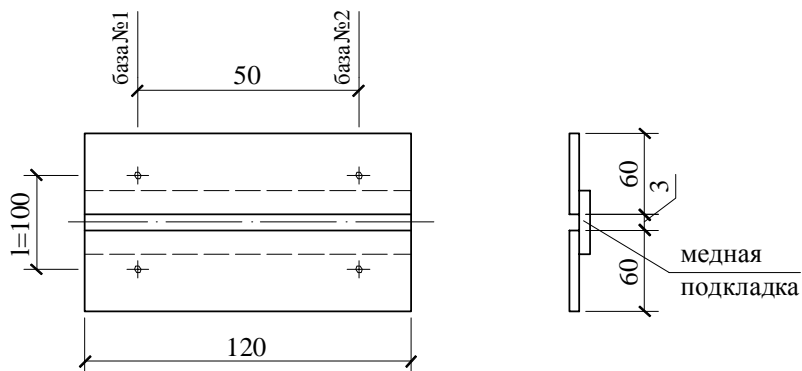


Рис. 5.5. Схема сборки пластин под сварку

4-й этап. Определение сварочных деформаций при сварке тавра

Последовательность выполнения:

- 1) собрать тавровое соединение на электроприхватках, как показано на рис. 5.6;
- 2) установить тавр на три штифта (рис. 5.7), при этом углубление в пластине от керна должно попасть на острие штифта III, а стрелка на приспособлении должна совпасть с риской на пластине;

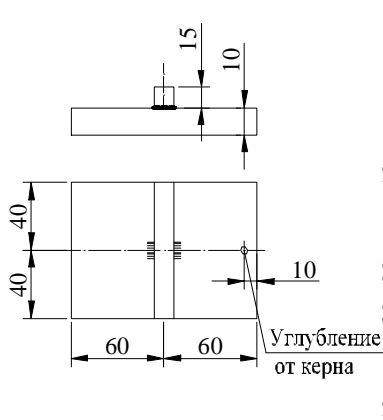


Рис. 5.6. Образец для испытаний деформаций образца

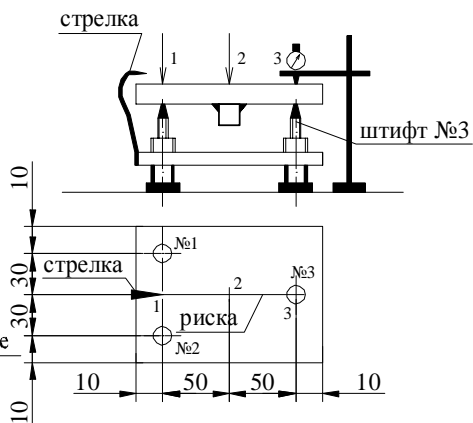


Рис. 5.7. Схема измерения

3) произвести измерения индикаторной головкой на штативе в точках 1, 2, 3 образца. Измерения произвести трижды, вычислить средние значения. Все измерения записать в табл. 5.4;

Таблица 5.4

Результаты измерений

Номер точки	Начальные замеры	Замеры после наплавки шва с одной стороны	Разность	Замеры после наплавки шва с другой стороны	Разность
1					
2					
3					

4) наплавить угловой шов с одной стороны;

5) после охлаждения образца до комнатной температуры произвести повторное измерение в точках 1, 2, 3 с помощью индикаторной головки. Для этого тавр вновь установить на три штифта;

б) наплавить угловой шов с другой стороны.

После охлаждения образца до комнатной температуры произвести в третий раз измерения в точках 1, 2, 3;

7) по результатам измерений определить угол загиба полки тавра (грибовидность) и сделать рисунок деформированного состояния тавра.

Содержание отчета

В отчете, кроме вычислений, рисунков и таблиц, предусмотренных этапами 1–4, следует указать причины появления сварочных напряжений и деформаций, их влияние на несущую способность элементов и методы уменьшения сварочных напряжений и деформаций.

Лабораторная работа № 6

ДЕФЕКТЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Цель работы: знакомство с дефектами сварных соединений и с методами контроля качества сварных швов.

Дефекты электродуговой сварки

Непровар образуется из-за малой силы тока, большой скорости сварки, смещения электрода с оси шва, неудовлетворительной сборки (уменьшения зазора между соединяемыми элементами), а также при сварке элементов большой толщины без разделки кромок (рис. 6.1, а).

Подрез (канавка вдоль шва) образуется при завышенной силе тока, большом катете шва, выполняемого не «в лодочку», малой скорости сварки и завышенном напряжении (рис. 6.1, б).

Прожог (сквозное отверстие в сварном шве) является следствием вытекания жидкого металла из сварочной ванны. Причины появления прожога: большая сила тока, малая скорость сварки, неплотное прилегание соединяемых элементов между собой (при сварке «на весу») или к подкладке (рис. 6.1, в).

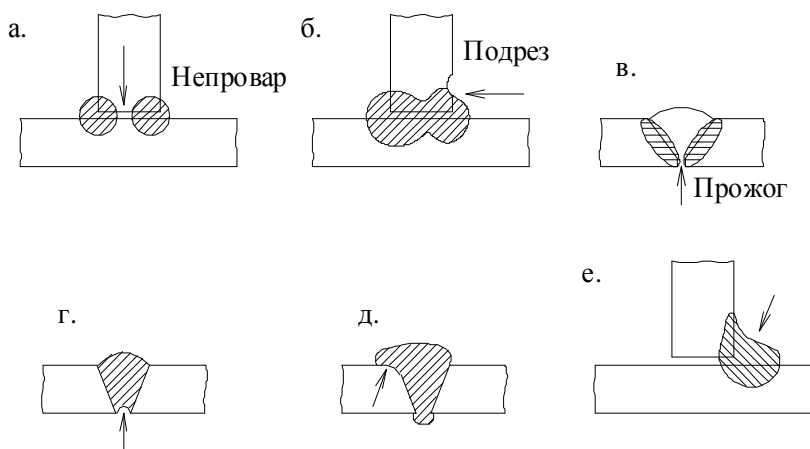


Рис. 6.1. Дефекты сварных швов

Шлаковые и окисные включения в теле сварного шва образуются при заниженной силе тока, загрязненности кромок соединяемых элементов, недостаточной защите жидкого металла (например, при длинной дуге), плохой очистке предыдущего слоя шва от шлака.

Незаваренные кратеры появляются в результате быстрого обрыва дуги.

Поры и раковины в сварном шве образуются при использовании увлажненных сварочных материалов, из-за загрязненности кромок соединяемых элементов, нарушении газовой защиты дуги, низкого качества сварочных материалов.

Трещины – причины появления: неправильная технология сварки металлов, склонных к образованию трещин (например, с повышенным содержанием серы или углерода), большие сварочные напряжения, возникающие при несвободных кромках соединяемых элементов, а также при неправильной последовательности выполнения сварных швов.

Несплавление образуется в результате неполного расплавления кромок соединяемых элементов или предыдущих слоев шва.

Отклонение формы сварного шва: чрезмерная выпуклость или вогнутость, неравномерная ширина сварного шва по его длине, вогнутость корня сварного шва (рис. 6.1, *г*), наплывы (рис. 6.1, *д*) и подтеки (рис. 6.1, *е*), грубая чешуйчатость.

Дефекты сварки вызывают концентрацию напряжений в конструкциях, уменьшают пластические свойства металла, резко снижают прочность сварных соединений при динамических нагрузках и при отрицательных температурах.

Внутренние дефекты электродуговой сварки и трещины устраняются вырубкой дефектного участка шва термическим или механическим способом до основного металла и повторной наплавкой сварного шва. Поверхностные дефекты устраняются либо их зачисткой (чрезмерная выпуклость, наплывы), либо наплавкой дополнительных слоев (подрезы, прожоги, чрезмерная вогнутость, подтеки).

Дефекты стыковой сварки

Наиболее распространенными дефектами стыковой сварки являются смещение осей соединяемых элементов и непровар. Причиной

первого дефекта является неправильная установка стержней в зажимах сварочной машины. Причиной второго дефекта являются окисление из-за отклонения в токовом режиме, малый припуск на оплавление, недостаточная продолжительность осадки под током и малая скорость осадки. Узлы с дефектами стыковой сварки бракуются.

Дефекты точечной сварки

Непровар (малый диаметр сварной точки) появляется из-за чрезмерного диаметра электрода при недостаточном токе и времени сварки, а также из-за шунтирования тока.

Наружный выплеск металла в сварной точке происходит при большой силе тока, а также при перекосе деталей относительно торцов электродов.

Чрезмерные вмятины (уменьшение толщины в местах образования сварных точек) могут быть вследствие чрезмерной силы тока, времени сварки, увеличенного усилия сжатия в период проковки, а также из-за малого диаметра электродов.

Прожег может быть следствием включения тока до обжатия деталей или наличия больших зазоров между соединяемыми деталями.

Вырыв появляется при преждевременном снятии давления (при недостаточной продолжительности проковки).

Такие дефекты точечной сварки как непровар, чрезмерные вмятины, прожег и вырыв устраняются наплавкой дополнительной точки. Наружный выплеск металла сварной точки устраняется механической зачисткой лишнего металла.

Методы контроля качества сварных соединений

Для обнаружения поверхностных и крупных дефектов в сварных соединениях (подрезы, прожоги, незаверенные кратеры, поверхностные поры и трещины, отклонения в форме сварного шва) используется визуальный контроль (внешний осмотр).

Прочностные характеристики сварных соединений (разрывное усилие, ударная вязкость, загиб в холодном состоянии и др.) контролируются частичным или полным разрушением образца на испытательных машинах.

Непроницаемость сварных соединений проверяется с помощью керосина, вакуума, пневматического или гидравлического давления. Первый способ основан на способности керосина проникать через имеющиеся неплотности и окрашивать мел, которым предварительно покрывается противоположная сторона сварного шва. Остальные способы основаны на уменьшении вакуума или давления через трещины и поры в сварном шве.

Мелкие поверхностные дефекты могут быть обнаружены с помощью цветной дефектоскопии, сущность которой состоит в следующем. На очищенную поверхность шва наносится слой индикаторной жидкости, которая после выдержки в 5–7 минут смывается, а поверхность протирается. Затем тонким слоем наносится проявитель, например, коалин. Проявитель окрашивается в яркий цвет оставшейся в дефектах индикаторной жидкостью, тем самым обнаруживая поверхностные дефекты сварного шва. Цветной метод позволяет обнаружить дефекты с минимальной глубиной 0,02 мм и минимальной шириной 0,002 мм. Метод обладает высокой мобильностью и производительностью, особенно при использовании материалов в аэрозольной упаковке. Работа с аэрозолями должна производиться в спецодежде (халат, фартук, перчатки) и на расстоянии не менее 20 м от места сварки, открытые участки тела следует оберегать от попадания аэрозольной струи, а помещение должно быть оборудовано приточно-вытяжной вентиляцией. К недостаткам метода следует отнести: трудность контроля сварных швов с грубой чешуйчатостью; огнеопасность и токсичность применяемых материалов.

Для обнаружения внутренних, а также мелких поверхностных дефектов используются физические методы контроля: просвечивание рентгеновскими и гамма-лучами, ультразвуковой и магнитографический. Первый метод основан на способности электромагнитных волн с частотой $5 \cdot 10^{10} - 6 \cdot 10^{19}$ Гц проникать сквозь металлы и воздействовать на фотопленку. Кассета с фотопленкой располагается под сварным швом, а с противоположной стороны источник излучения – рентгеновская трубка или радиоактивный изотоп (тулий-170, иридий-192, цезий-137, кобальт-60) (рис. 6.2). Дефект сварного шва поглощает лучи в меньшей степени, чем окружающий его металл, поэтому эмульсия под дефектом облучается более интенсивно и при обработке в проявителе чернеет. По этим участкам и определяется расположение, форма и размеры дефектов.

Преимуществами этого метода является возможность определения характера дефекта и его размеров, наличие документа (фотопленки), характеризующего качество сварного шва. К недостаткам метода относятся: вредность рентгеновских и гамма-лучей для человеческого организма, высокая стоимость и трудоемкость, связанная с последующей обработкой фотопленок, малая эффективность при обнаружении трещин, необходимость двустороннего доступа к сварному шву. При радиационных методах контроля для измерения индивидуальных доз облучения каждый работающий должен иметь дозиметр.

Ультразвуковой метод основан на способности ультразвуковых колебаний прямолинейно распространяться в металле и отражаться от границы раздела сред.

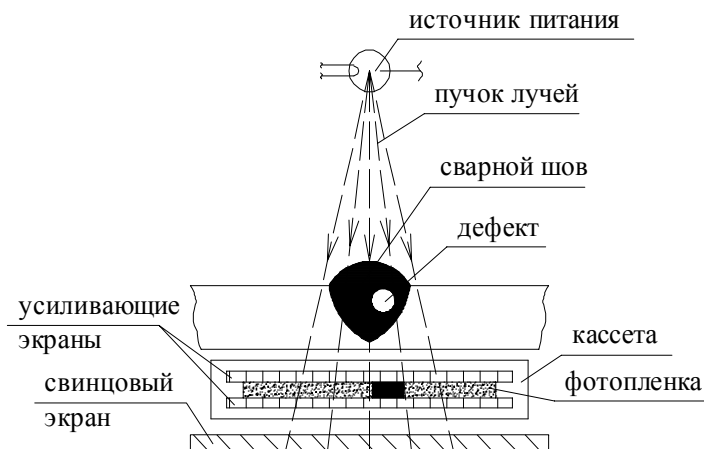


Рис. 6.2. Схема просвечивания металла

Для получения ультразвуковых колебаний используется пьезоэлектрический эффект, который заключается в преобразовании электрических колебаний высокой частоты в механические колебания с помощью искусственных пьезокристаллов, например, титаната бария $BaTiO_3$. Схема проверки сварных швов ультразвуком приведена на рис. 6.3.

Ультразвуковой импульс подается в металл с помощью призматического щупа. При достижении поверхности раздела сред с различными акустическими свойствами, т.е. дефекта, ультразвуковая волна частично отражается и воспринимается тем же щупом, что фиксируется световой или звуковой сигнализацией. Ультразвуковой метод применяется при толщинах 1,5–200 мм. Ультразвуковой метод обнаружения дефектов свободен от недостатков просвечивания рентгеновскими и гамма-лучами, но не позволяет определять характер дефектов. Например, при этом методе трудно отличить трещину от непровара, поры от шлаковых включений; неэффективен при контроле качества сталей с крупнозернистой структурой; не позволяет иметь документ качества сварного соединения; достоверность обнаружения дефектов зависит от квалификации оператора.

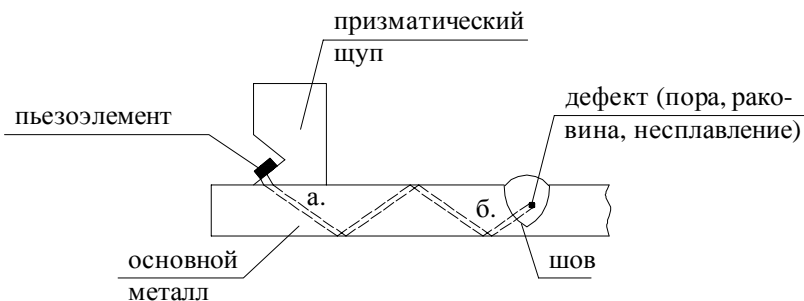


Рис. 6.3. Схема обнаружения дефектов с помощью ультразвука

Магнитографический метод основан на фиксации магнитных полей рассеяния на магнитной ленте, которая прижимается к сварному шву при его намагничивании. В однородном металле магнитный поток распределяется равномерно без искажений, а при наличии дефектов магнитный поток искажается, что проявляется на поверхности металла в виде полей рассеяния. Намагничивание исследуемого участка сварного шва производят электромагнитами или соленоидами. После записи магнитного рельефа сварного шва лента пропускается через воспроизводящее устройство, где на одном из экранов его двухлучевой трубки возникают видимые изображения магнитных лучей, а на другом – импульсы, характеризующие наличие дефектов. Контрастность изображения характеризует глубину их залегания, а форма магнитных полей примерно соответствует очертаниям дефек-

тов, например, газовые поры и шлаковые включения появляются на экране в виде темных пятен, непровар – в виде линий, трещины – в виде зигзагообразных линий с неровными краями.

Магнитографический метод обладает высокой производительностью, низкой стоимостью и хорошей чувствительностью. К недостаткам метода относятся: малый диапазон контролируемых толщин (до 25 мм), зависимость обнаружения дефектов от глубины их залегания, трудность выявления дефектов при грубочешуйчатых швах.

Последовательность выполнения работ

По стендам, плакатам и настоящему пособию ознакомиться с основными дефектами сварных соединений и причинами их появления.

Изучить методы контроля качества сварных соединений, ознакомиться с оборудованием для обнаружения дефектов в сварных соединениях. В заключение работы составить отчет.

Содержание отчета

В отчете следует привести виды дефектов сварных соединений и указать основные причины их появления, а также отрицательные последствия дефектов. Перечислить методы контроля качества сварных соединений, объяснить сущность каждого метода, указать преимущества и недостатки.

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Общие сведения

Смертельным для человека является ток силой 0,1 А и выше. Сила тока, поражающего человеческий организм, зависит, прежде всего, от электрического сопротивления организма. При расчетах за величину сопротивления человеческого организма принимается 1000 Ом. Однако в действительности эта величина различна у разных людей и, кроме того, для каждого человека она не является величиной постоянной и зависит от многих факторов. Например, при наличии влаги на поверхности кожи, при усталости или опьянении, при повышенной влажности воздуха, при наличии в воздухе металлической пыли сопротивление человеческого организма резко снижается.

Кроме силы тока, степень поражения организма человека зависит от продолжительности действия электрического тока и от площади соприкосновения с токоведущими элементами – с увеличением указанных факторов степень поражения также увеличивается.

Наиболее опасным для человека является переменный ток частотой 80 Гц – он в три-пять раз опаснее постоянного при прочих равных условиях. С увеличением частоты переменного тока степень поражения человеческого организма уменьшается, а при частоте 20000 Гц и выше он становится безопасным.

С увеличением напряжения сила тока, воздействующего на человека, также увеличивается. По нашим нормам относительно безопасным напряжением является электрический ток напряжением 36 В (при работе в сухих местах) и 12 В (при работе в сырых местах).

При поражении человека электрическим током необходимо, прежде всего, освободить пострадавшего от электропровода. Если пострадавший потерял сознание, его необходимо до прихода врача уложить на спину, обеспечить приток свежего воздуха, растереть и согреть тело пострадавшего, давать нюхать нашатырный спирт. При редком и судорожном дыхании необходимо сделать искусственное дыхание и массаж сердца.

Мероприятия по предотвращению поражения электрическим током

Корпуса сварочных аппаратов должны быть заземлены.

Перед началом лабораторных работ необходимо проверить исправность изоляции.

Нельзя использовать в качестве обратного провода трубы сантехнических устройств, металлоконструкции здания, технологическое оборудование.

При проведении лабораторных работ следует избегать прикосновений к токоведущим частям первичной цепи.

Все присоединения проводов производить только при выключенном рубильнике.

Следует избегать одновременного прикосновения к изделию и к неизолированным токоведущим частям сварочной цепи; особую осторожность следует проявлять при замене электрода, так как напряжение холостого хода больше, чем рабочее (при горении дуги).

Нельзя выполнять сварку в мокрой одежде.

Мероприятия по защите от световой радиации

Сварку и резку, а также наблюдение за электродугой при выполнении лабораторных работ следует вести с применением светофильтров.

Рабочее место по выполнению сварных швов необходимо изолировать специальными щитками или ширмами из несгораемых материалов.

Защита от вредных газовых выделений

К каждому сварочному посту необходимо обеспечить доступ свежего воздуха.

Для обезжиривания кромок соединяемых элементов нельзя применять хлорированные углеводороды (трихлорэтилен, дихлорэтилен), образующие в процессе сварки удушливый газ – фозген.

Защита от тепловых ожогов

Сварные швы и резку металла необходимо выполнять только в спецодежде (ботинки с боковой застежкой, брезентовые брюки навыпуск и без отворотов, брезентовая куртка с карманами, закрывающимися клапанами, и с рукавами, завязанными тесьмой), лицо должно быть закрыто щитком, а на голове должен быть головной убор или фибролитовая каска, руки должны быть в рукавицах, а при выполнении потолочной сварки – в асбестовых нарукавниках.

Защита от пожаров

Рабочее место при выполнении сварных швов и резки металлов в радиусе 5 м должно быть очищено от взрывоопасных и огнеопасных веществ.

Деревянные предметы на рабочем месте должны быть покрыты стальным листом или асбестом.

При термической резке в случае пожара необходимо, прежде всего, погасить пламя горелки и прекратить подачу кислорода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акулов, А.И. Технология и оборудование сварки плавлением / А.И. Акулов, Г.А. Вельчук, В.П. Демянцевич. – М.: Машиностроение, 1977.
2. Пешковский, О.Н. Сварка металлических конструкций / О.Н. Пешковский, В.В. Якубовский. – М.: Высшая школа, 1978.
3. Методические указания по проведению учебной практики по сварке. – М.: МИСИ им. Куйбышева, 1977.
4. Сварка и резка в промышленном строительстве / под ред. Б.Д. Малышева. – М.: Стройиздат, 1977.
5. Оборудование для сварочных работ в строительстве. – Киев: Будівельник, 1978.
6. Федин, К.К. Сварка, резка и пайка металлов / К.К. Федин. – М.: Высшая школа, 1971.
7. Шинкарев, Б.М. Сварка строительных металлоконструкций порошковой проволокой / Б.М. Шинкарев, А.М. Суптель. – Киев: Будівельник, 1978.
8. Николаев, Н.И. Лабораторные работы по сварке / Н.И. Николаев. – М.: Стройиздат, 1972.

ПРИЛОЖЕНИЕ

КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОДОВ С ПОКРЫТИЕМ

Покрытие электрода предназначено для повышения устойчивости дуги, газовой и шлаковой защиты жидкого и горячего металла сварного шва, легирования и рафинирования наплавленного металла. Кроме того, покрытие электрода влияет на род и полярность тока, на технологические характеристики сварки, на положение сварного шва при сварке. Обозначение электродов с покрытием включает десять характеристик. Пример обозначения:

Э46А – УОНИ13/45 – 4,0 – УД2	ГОСТ 9466-75,
Е – 432(5) – Б10	ГОСТ 9467-75.

Для удобства расшифровки используемых характеристик их можно пронумеровать от 1 до 10, и тогда обозначение электрода будет иметь вид:

1 – 2 – 3 – 4 5 6	
<hr/>	
Е – 7 – 8 9 10	11, 12

1 – первая часть обозначения указывает тип электрода. Наиболее часто используются электроды типа Э42, Э46, Э60, Э70. Буква «Э» обозначает «электрод», а цифра указывает временное сопротивление наплавленного металла электрода в кН/см^2 . Если к обозначению типа электрода добавляется буква «А», то это свидетельствует о повышенной пластичности наплавленного металла электрода. Например, для электрода Э42 относительное удлинение и ударная вязкость соответственно равны: 18% и 80 дж/см^2 . То же для электрода Э42А – 22 % и 150 дж/см^2 . Электроды с повышенной пластичностью используются для сварки конструкций, воспринимающих динамические нагрузки, а также с целью снижения напряжений.

2 – вторая часть обозначения – указывает марку электрода, которая характеризует покрытие электрода. Марка электрода определяет

род тока – переменный или постоянный (табл. П1). Каждому типу электрода соответствуют определенные марки.

Таблица П1

Типы и марки электродов, а также род тока

Тип электрода	Марка, род тока
Э42	ОМА-2, АНО-6М
Э42А	УОНИ13/45 (пост.)
Э46	МР-3, ОЗС-6, АНО-20, ОЗ6-12, АНО-24, АНО-32
Э46А	УОНИ13/55 (пост.), ВН-48
Э50	ВСЦ-4А(пост.)
Э50А	УОНИ13/55(пост.), ОЗС-18(пост.), АНО-Д, АНО-16
Э60	УОНИ13/65(пост.), ВСФ-65(пост.)
Э70	ВСФ-75(пост.), АНП-6П(пост.)
Э85	УОНИ13/85(пост.), НИАТ-3М(пост.)
Э100	ОЗШ-1(пост.)

Примечание. Марки, для которых не указан род тока, могут использоваться при постоянном и переменном токе.

3 – третья часть обозначения электрода содержит диаметр стержня электрода в мм.

4 – четвертая часть указывает сталь, для которой предназначен данный электрод: «У» – для углеродистой ($\sigma_{и} \leq 60 \text{ кН/см}^2$); «Л» – для легированной ($\sigma_{и} > 60 \text{ кН/см}^2$); «В» – для высоколегированной; «Т» – для теплоустойчивой; «Н» – электрод предназначен для наплавки.

5 – пятая часть обозначения характеризует толщину обмазки электрода; «М» – тонкообмазанный (отношение диаметра электрода с покрытием (D) к диаметру стального стержня (d) равно или меньше 1,2; «С» – среднеобмазанный ($D/d \ 1,45$); «Т» – толстообмазанный ($D/d \leq 1,8$); «Г» – особо толстообмазанный ($D/d > 1,8$).

6 – эта часть обозначения электрода указывает на чистоту металла по химсоставу. Здесь используются цифры 1, 2, 3; чем больше цифры, тем меньше вредных примесей (серы и фосфора) в металле электрода.

7 – здесь первые две цифры указывают минимальное значение временного сопротивления металла электрода, а третья цифра указывает номер группы, по которой определяется гарантированное

значение относительного удлинения и температуры, при которой определяется ударная вязкость (табл. П2).

Таблица П2

Температурные группы электродов

Номер группы	Относительное удлинение, %	Температура °С
1	20	+20
2	22	±0
3	24	-20
4	24	-30
5	24	-40
6	24	-50
7	24	-60

Если гарантированное удлинение находится в одной группе, а температура в другой, то номер температурной группы указывается в скобках, как это сделано в примере.

8 – эта часть обозначения указывает тип покрытия: «А» – кислое; «В» – основное; «Ц» – целлюлозное; «Р» – рутиловое; «П» – прочие.

Если покрытие содержит железный порошок для улучшения технологических свойств в количестве 20% и более, то добавляют букву «Ж». Бывают смешанные покрытия: «БЦ» и т.д. При сварке кислым покрытием сварные швы обладают пониженной стойкостью против образования трещин, имеют невысокую ударную вязкость ($\text{ан} \leq 12 \text{ кгс} \cdot \text{м/см}^2$). Рутиловые покрытия обеспечивают высокое качество наплавленного металла и хорошие сварочно-технологические свойства. Основные покрытия обеспечивают стойкость против образования трещин и наиболее высокую ударную вязкость. Целлюлозное покрытие обеспечивает высокую глубину проплавления.

9 – здесь указывается положение при сварке: «1» – для всех положений; «2» – для всех положений, кроме вертикального сверху вниз; «3» – для нижнего, горизонтального и вертикального снизу вверх; «4» – для нижнего.

10 – эта часть используется для обозначения «№ группы», в которой указаны полярность и напряжение холостого хода (табл. П3).

Таблица ПЗ

Напряжения холостого хода и полярность при сварке

№ группы	Напряжение холостого хода источника переменного тока		Рекомендуемая полярность источника постоянного тока
	номинальное	Пред. отклон.	
0	–	–	обратная
1			любая
2	50 В	± 5	прямая
3			обратная
4			любая
5	70 В	± 10	прямая
6			обратная
7			любая
8		± 5	прямая
9			обратная

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
Лабораторная работа № 1 РУЧНАЯ ДУГОВАЯ СВАРКА ПОКРЫТЫМ ЭЛЕКТРОДОМ.....	4
Лабораторная работа № 2 АВТОМАТИЧЕСКАЯ И ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКАЯ ДУГОВАЯ СВАРКА	19
Лабораторная работа № 3 КОНТАКТНАЯ СВАРКА	33
Лабораторная работа № 4 ТЕРМИЧЕСКАЯ РЕЗКА МЕТАЛЛОВ.....	44
Лабораторная работа № 5 СВАРОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ.....	52
Лабораторная работа № 6 ДЕФЕКТЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ	61
ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ	68
ЛИТЕРАТУРА.....	71
ПРИЛОЖЕНИЕ	72

Учебное издание

**СВАРКА
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ
КОНСТРУКЦИЙ**

Лабораторный практикум
для студентов специальности
1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство»

С о с т а в и т е л и :
ДАВЫДОВ Евгений Юрьевич
ИЛЬЮЧИК Виктор Владимирович

Технический редактор О.В. Песенько
Компьютерная верстка Д.А. Исаева

Подписано в печать 25.02.2011.

Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 4,42. Уч.-изд. л. 3,45. Тираж 300. Заказ 1148.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.

Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.