

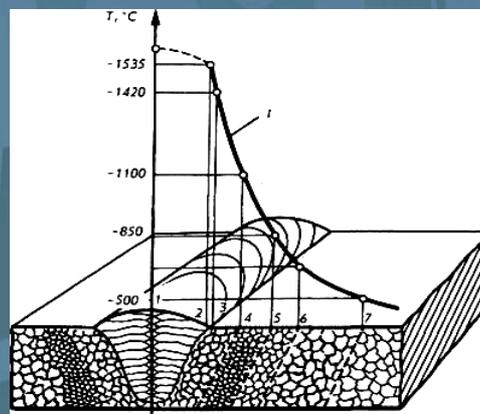
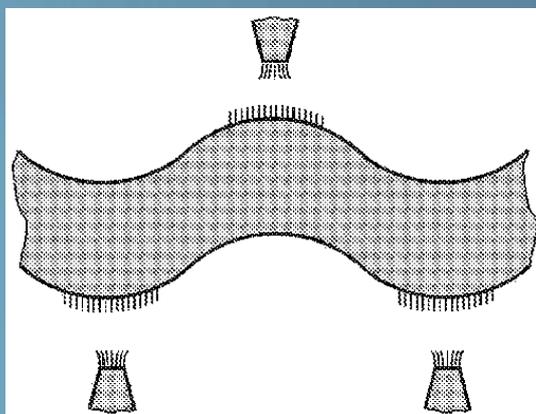
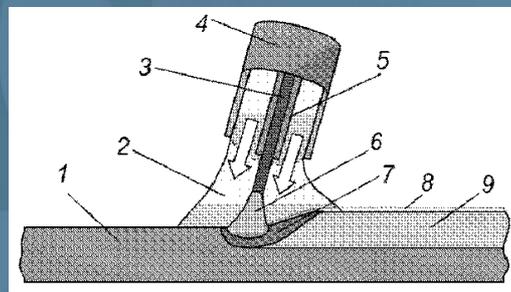
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)»

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ СВАРКИ

Лабораторный практикум

Составители:

*М.С. Корытов, В.В. Акимов,
В.В. Евстифеев, А.Ф. Мишуров*



УДК 621.7
ББК 30.61
Т38

Согласно 436-ФЗ от 29.12.2010 «О защите детей от информации, причиняющей вред их здоровью и развитию» данная продукция маркировке не подлежит.

Рецензент

д-р техн. наук, проф. С. В. Бирюков (СибАДИ)

Работа утверждена редакционно-издательским советом СибАДИ в качестве лабораторного практикума.

Т38 Технология и оборудование сварки [Электронный ресурс] : лабораторный практикум / сост. : М.С. Корытов, В.В. Акимов, В.В. Евстифеев, А.Ф. Мишуров. – Омск : СибАДИ, 2019. – Электрон. дан. – Омск : СибАДИ, 2019. – URL: http://bek.sibadi.org/cgi-bin/irbis64r_plus/cgiirbis_64_ft.exe. - Режим доступа: для авторизованных пользователей.

Рассматриваются технологии и оборудование сварки под флюсом, сварки в углекислом газе, напряжения и деформации при сварке, расчет скорости охлаждения металла зоны термического влияния сварного соединения в субкритическом интервале температур в зависимости от класса стали, режима сварки, способа сварки, при выполнении лабораторных работ.

Имеет интерактивное оглавление в виде закладок.

Предназначен для обучающихся всех форм обучения направления подготовки бакалавриата «Строительство», специальности «Строительство, эксплуатация, восстановление и техническое прикрытие автомобильных дорог, мостов и тоннелей», изучающих курс «Технология и оборудование сварки».

Подготовлен на кафедре «Автомобили, конструкционные материалы и технологии».

Текстовое (символьное) издание (2,2 МБ)

Системные требования: Intel, 3,4 GHz ; 150 МБ ; Windows XP/Vista/7/10 ; DVD-ROM ; 1 ГБ свободного места на жестком диске; программа для чтения pdf-файлов Adobe Acrobat Reader

Редактор И.Г. Кузнецова

Техническая подготовка Н.В. Кенжалинова

Издание второе. Дата подписания к использованию 22.01.2019

Издательско-полиграфический комплекс СибАДИ. 644080, г. Омск, пр. Мира, 5
РИО ИПК СибАДИ. 644080, г. Омск, ул. 2-я Поселковая, 1

© ФГБОУ ВО «СибАДИ», 2019

Лабораторная работа № 1

ДУГОВАЯ СВАРКА ПОД ФЛЮСОМ

Цель лабораторной работы – ознакомиться с оборудованием и технологией механизированной сварки под флюсом, расчетом параметров режима сварки, их влиянием на величину технологических коэффициентов.

Общие положения. Преимущества сварки под флюсом

Сварка под флюсом применяется для получения сварных конструкций из углеродистых, низко- и высоколегированных сталей, меди, алюминия и их сплавов. При этом применяются соответствующие материалы, к которым относятся флюсы различных марок и сварочные проволоки [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Основное назначение флюсов – защита расплавленного металла от вредного воздействия кислорода и азота воздуха. Кроме того, флюсы должны обеспечить хорошее формирование шва, надлежащий химический состав металла шва, высокие механические свойства сварного соединения, отсутствие пор и трещин в наплавляемом металле, устойчивость процесса сварки, легкую удаляемость шлаковой корки с поверхности шва. В процессе сварки флюсы не должны выделять в больших количествах вредные газы и дым [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Основные и наиболее распространенные марки флюсов для сварки углеродистых и низколегированных сталей – ОСЦ-45 и АН-348А. Флюс ОСЦ-45 малочувствителен к ржавчине, покрывающей поверхность основного металла, обеспечивает получение плотных швов, стойких к образованию трещин. Флюс АН-348А в сравнении с флюсом ОСЦ-45 обеспечивает несколько бóльшую устойчивость горения дуги и выделяет меньше вредных газов. Эти флюсы относятся к категории плавящихся и обеспечивают надежную защиту зоны сварки.

Таблица 1.1. Химический состав (%) основных марок флюсов

Марка флюса	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	CaO	MgO	K ₂ O, Na ₂ O	FeO	CaF ₂	S	P	Прочие
ОСЦ-45	42-45	2,5	-	38-43	5	1	-	1,5	6-8	0,15	0,15	-
АН-348 А	41-43,5	3	-	34,5-37,5	5,5	5,5-7,5	-	-	4-5,5	0,15	0,12	-

Длительное хранение флюса сопровождается поглощением влаги из воздуха, что неблагоприятно сказывается на качестве сварного шва, поэтому рекомендуется перед сваркой подвергать флюсы просушке при температуре 150...170 °С в течение 4...5 ч.

Химический состав флюсов ОСЦ-45 и АН-348А приведен в табл. 1.1.

Сварка под флюсом углеродистых сталей выполняется стальной холоднотянутой сварочной проволокой диаметром от 2 до 6 мм (ГОСТ 2246–81) с повышенным содержанием кремния и марганца (марок СВ-08ГА и СВ-08Г2). При этом используются марганцевые высококремнистые флюсы. Это позволяет избежать возникновения газовых пор, содержащих СО. Допускается использование безмарганцевых высококремнистых флюсов в сочетании с высокомарганцевой проволокой. Сварка легированных сталей выполняется низкоуглеродистой или легированной проволокой с применением низкокремнистого флюса с содержанием SiO не более 35% [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Таблица 1.2. Химический состав стальной сварочной проволоки (по ГОСТ 2246-81)

Марка проволоки	С	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Ti	S	P	Прочие элементы
								Не более		
СВ-08ГА	≤0,1	≤0,03	0,8-1,1	≤0,1	≤0,25	-	-	0,025	0,03	-
СВ-08Г2	0,05-0,11	≤0,03	1,8-2,1	≤0,2	≤0,3	-	-	0,025	0,03	-

Данные по химическому составу стальной сварочной проволоки приведены в табл. 1.2.

Сущность сварки под флюсом

Схема процесса сварки под флюсом приведена на рис. 1.1. Электродная проволока 1 из бухты подается в зону сварки через слой флюса 3 с помощью специального подающего механизма 2 сварочного автомата. Процесс сварки под флюсом начинается с возбуждения дуги. Для этой цели применяется несколько способов. Наиболее часто дугу возбуждают посредством закорачивания электрода 1 на изделие 9. При этом конец проволоки засыпают слоем флюса [1, 5, 6].

В зоне горения сварочной дуги под действием высокой температуры выделяется большое количество газов и паров, которые образуют газовый пузырь 4; оболочкой для него служит тонкий слой расплавленного флюса 5. Давление газа в пузыре составляет всего 7...9 г/см², но в сочетании с давлением дуги его достаточно для оттеснения жидкого металла в хвост ванны. Это улучшает передачу тепла к основному металлу и увеличивает глубину его проплавления. При поступательном перемещении дуги относительно основного металла происходит кристаллизация жидкой ванны 6

с образованием сварного шва 7. Расплавленный шлак 8 обладает низкой теплопроводностью, что улучшает условия кристаллизации металла шва.

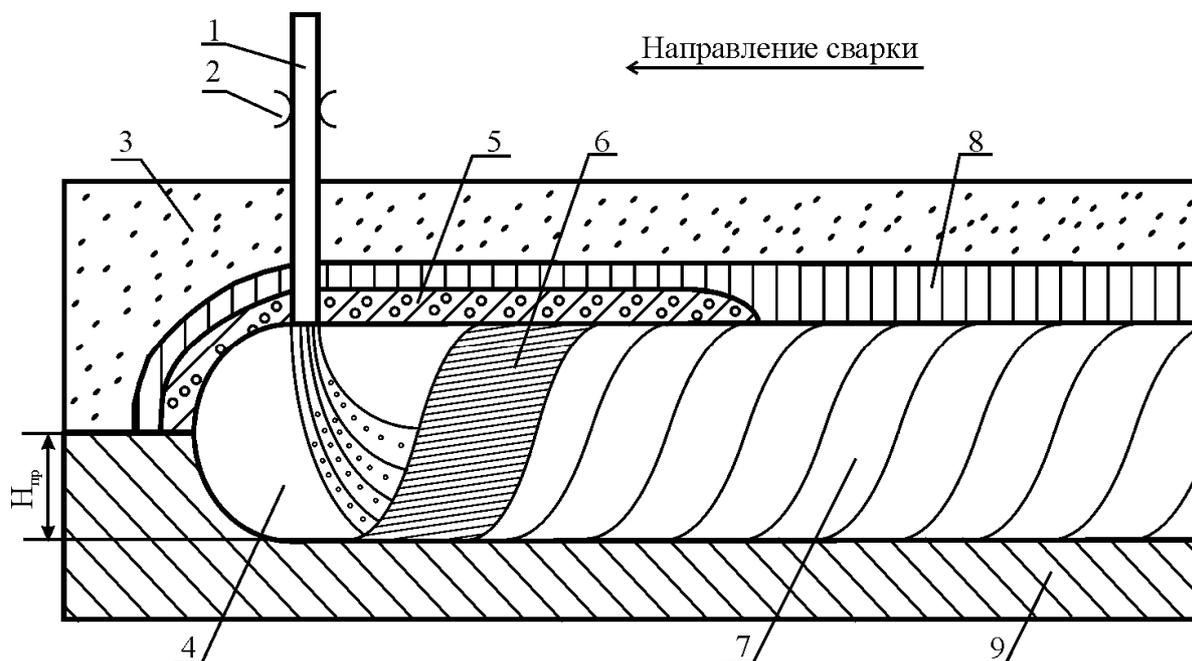


Рис. 1.1. Сварка под флюсом: 1 – электродная проволока; 2 – подающий механизм; 3 – флюс; 4 – газовый пузырь; 5 – расплавленный флюс; 6 – жидкая ванна металла; 7 – сварной шов; 8 – расплавленный шлак; 9 – изделие

Различают два варианта сварки под флюсом: механизированную и автоматическую. При механизированной сварке дуга перемещается сварщиком вручную. При автоматической сварке сварщик управляет процессом дистанционно, перемещение источника тепла – дуги – выполняет сварочный трактор, который обеспечивает нужную скорость сварки и точное расположение дуги относительно линии стыка. При таком варианте автоматизации возможно увеличение сварочного тока до 2000...3000 А. Это позволяет значительно улучшить условия труда и повысить производительность процесса [1, 5, 6].

Характеристики процесса сварки под флюсом

В процессе сварки между жидким флюсом и металлом протекают металлургические реакции обогащения металла марганцем и кремнием и образования шлака. Интенсивность перехода марганца и кремния в металл зависит от их содержания в проволоке и флюсе. Кроме того, на этот процесс оказывают влияние величины сварочного тока и напряжения дуги. При увеличении тока растет доля расплавленного металла шва и переход кремния и марганца в металл уменьшается. Рост напряжения приводит к увеличению коли-

чества расплавленного флюса, при этом переход кремния и марганца в шов увеличивается. Подбором сварочной проволоки, флюса и изменением режима сварки можно регулировать химический состав металла шва [1, 5, 6].

Значение сварочного тока зависит от толщины металла свариваемого изделия, диаметра электродной проволоки, подготовки кромок и вида соединения. При сварке под флюсом вследствие качественной защиты расплавленного металла и подвода тока на близком расстоянии от дуги (длина сухого вылета составляет 30...70 мм) оказывается возможным значительно повысить плотность тока, не опасаясь повышенного нагрева и окисления конца электродной проволоки. Так, применение электродной проволоки диаметром 2 мм при высокой плотности тока обеспечивает сварку за один проход стыковых соединений толщиной до 20 мм.

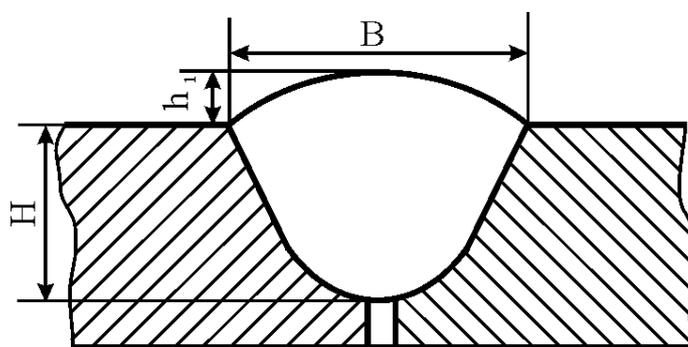


Рис. 1.2. Форма и размеры шва: B – ширина; H – глубина проплавления; h_1 – высота усиления шва

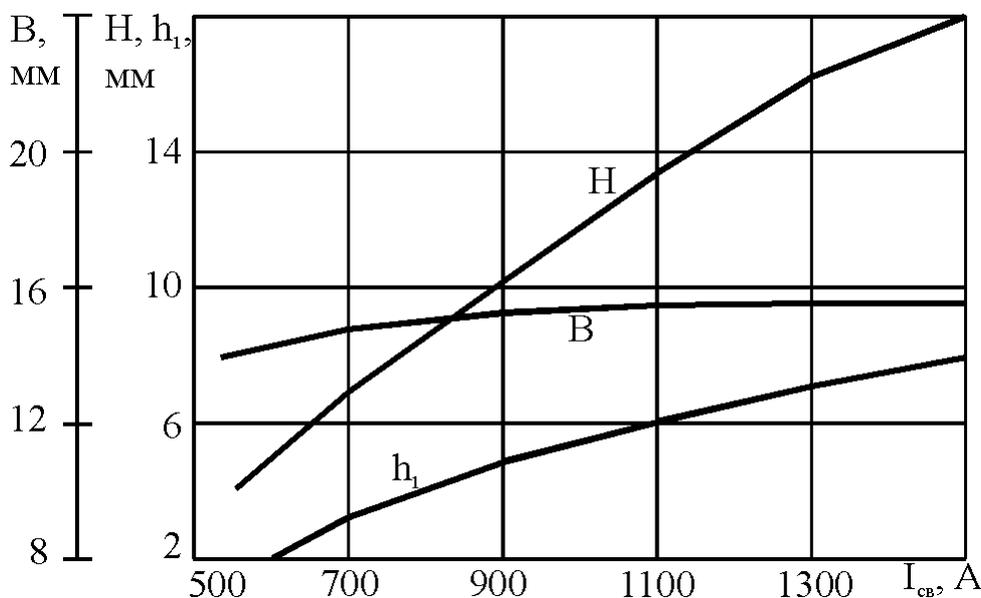


Рис. 1.3. Влияние сварочного тока на размеры шва

Значения сварочного тока и диаметра электродной проволоки оказывают исключительно большое влияние на форму и размеры шва (рис. 1.2).

С ростом сварочного тока увеличивается глубина проплавления основного металла за счет возрастания давления дуги на поверхность сварочной ванны (рис. 1.3), улучшаются условия теплопередачи от дуги к основному металлу и увеличивается погонная энергия. Ширина шва изменяется незначительно, т.к. дуга заглубляется в основной металл (находится ниже плоскости основного металла). Высота усиления шва растет с увеличением объема расплавляемого электродного металла [1, 5, 6].

Аналогичное влияние на глубину проплавления основного металла оказывает диаметр электрода. Чем меньше диаметр электрода (при неизменном токе в дуге), тем больше плотность тока и давление дуги на поверхность сварочной ванны, что увеличивает глубину проплавления (рис. 1.4). Такой подход используется в случае применения сварочного источника с ограниченной величиной тока сварки. Анализ рис. 1.4 показывает, что уменьшение диаметра электрода в 3 раза при $I_{св} = \text{const}$ дает увеличение глубины проплавления в 2,7 раза. Однако при этом уменьшается коэффициент формы провара шва Ψ :

$$\Psi = B/H,$$

где B – ширина шва, мм; H – глубина проплавления, мм.

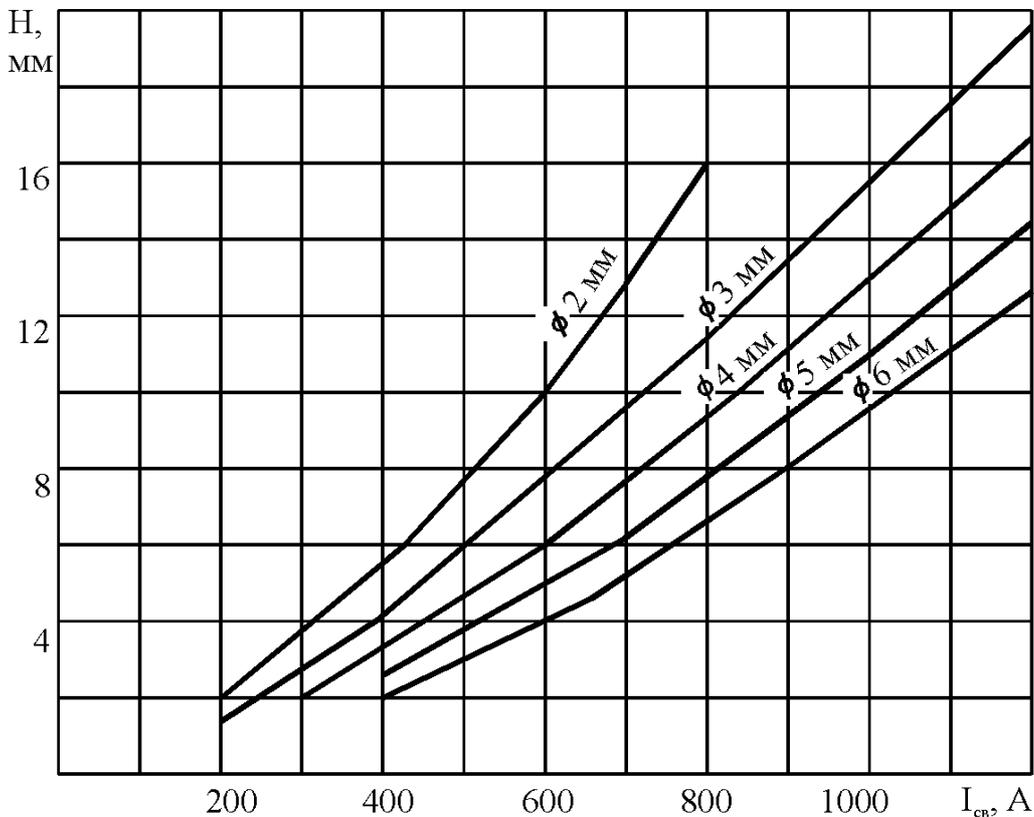


Рис. 1.4. Зависимость глубины проплавления от сварочного тока и диаметра электрода ($V_{св}=30$ м/ч)

Кроме того, происходит интенсифицирование зональных ликваций в металле шва (рис. 1.5).

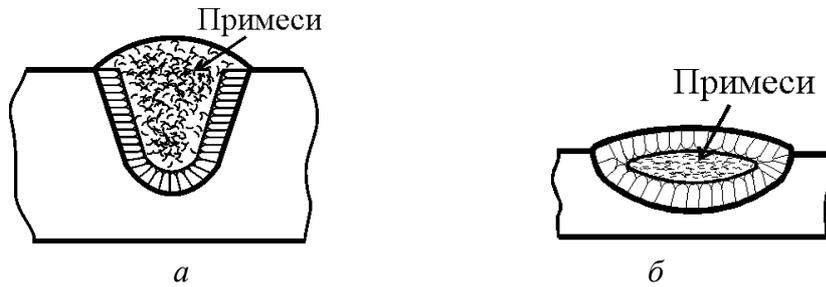


Рис. 1.5. Зональная ликвация в металле шва: *а* – при узкой форме провара; *б* – при широкой форме провара

Совместное изменение величины сварочного тока и диаметра электродной проволоки оказывает большое воздействие на ширину шва и позволяет в широких пределах изменять коэффициент формы проплавления Ψ . При неизменной величине сварочного тока применение электродов малого диаметра позволяет получать узкие швы с глубоким проплавлением, а использование электродов увеличенного диаметра позволяет получать широкие швы с уменьшенным проплавлением (рис. 1.6) [1, 5, 6].

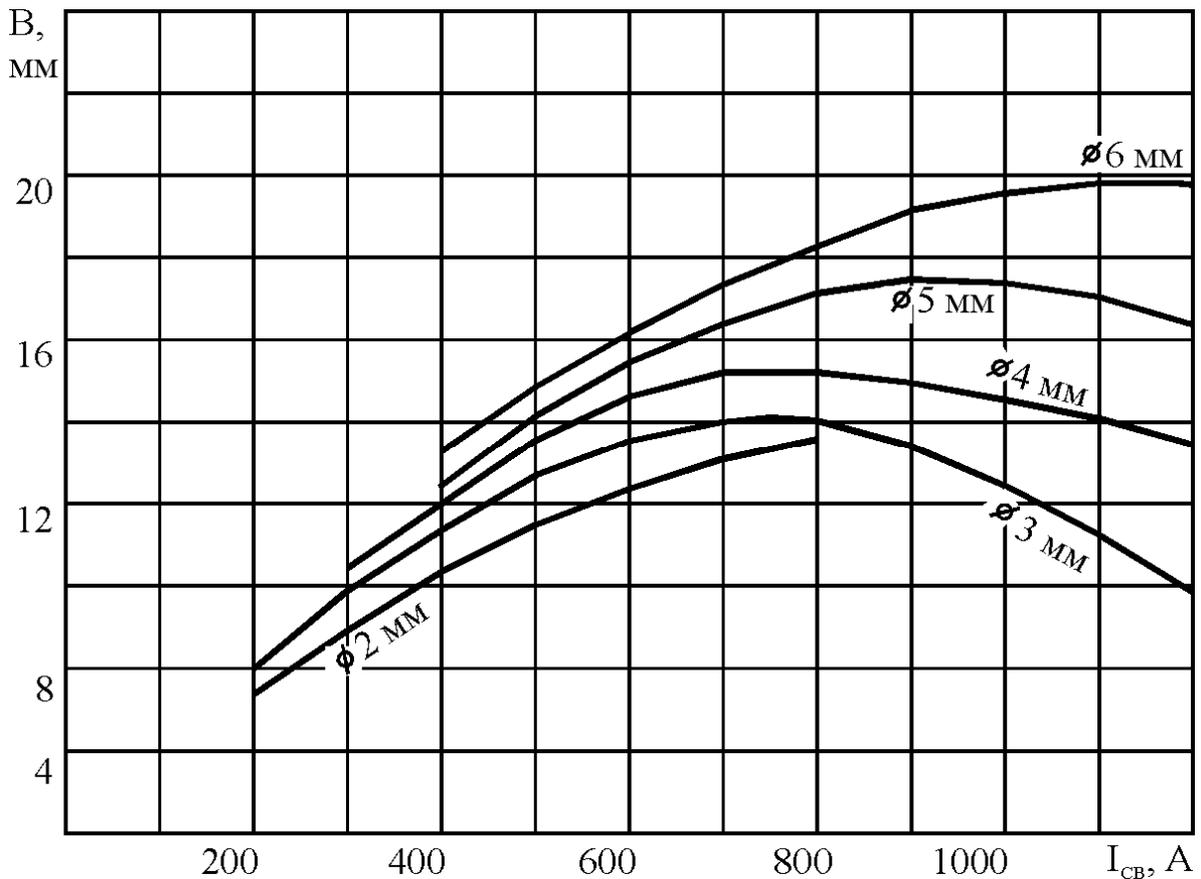


Рис. 1.6. Влияние сварочного тока и диаметра электрода на ширину шва

Иными словами, применение электродов увеличенного диаметра при неизменном сварочном токе уменьшает плотность тока и давление дуги на поверхность сварочной ванны. Происходит уменьшение глубины проплавления основного металла, т.к. ухудшаются условия теплопередачи от дуги в основной металл и снижается погонная энергия. Погружение дуги в металл жидкой ванны уменьшается, ширина шва возрастает [1, 5, 6].

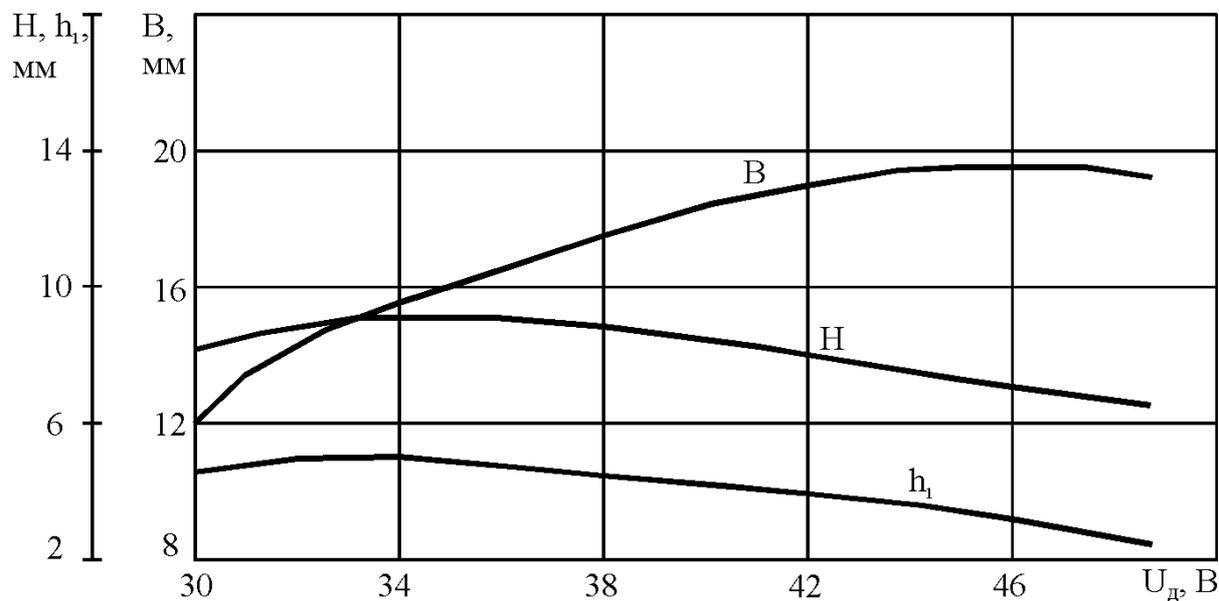


Рис. 1.7. Влияние напряжения дуги на форму и размеры шва

Таблица 1.3. Режимы сварки под флюсом

Диаметр электрода, мм	Род тока	Напряжение дуги, В, при соответствующем сварочном токе, А						
		200	300	400	500	600	800	1 000
2	Переменный	30-32	32-34	34-38	38-42	42-46	-	-
	Постоянный обратной полярности	29-31	31-33	33-36	36-40	40-44	-	-
5	Переменный	-	-	-	32-35	34-38	36-40	40-44
	Постоянный обратной полярности	-	-	-	30-34	32-36	34-38	38-42

Дополнительным средством воздействия на изменение ширины проплавления основного металла является изменение напряжения дуги (рис. 1.7). При низком напряжении дуга горит нестабильно, а шов получается неровным, с бугристой поверхностью. При повышении напряжения дуги формирование шва улучшается, он становится более широким и ровным при небольшом увеличении напряжения. Чрезмерное увеличение на-

пряжения дуги ухудшает стабильность ее горения при снижении ширины провара и формирование шва.

Рекомендуемые усредненные значения напряжения дуги при сварке стыковых соединений низкоуглеродистых сталей под флюсами ОСЦ-45 и АН-348А электродной проволокой СВ-08 диаметром 2 и 5 мм в зависимости от сварочного тока приведены в табл. 1.3.

Сварка под флюсом производится как на переменном, так и на постоянном токе. Влияние рода тока на форму и размеры шва определяется и различным количеством теплоты, выделяемой на аноде и катоде дуги, и различной степенью подвижности дуги при работе на прямой и обратной полярности. Величина подвижности дуги определяет значение площади поверхности сварочной ванны, воспринимающей тепловое действие дуги. При малой подвижности площадь уменьшается, увеличивая тепловую энергию, приходящуюся на единицу площади. При этом растет глубина проплавления. При возросшей подвижности площадь поверхности увеличивается, а удельная тепловая энергия снижается. Происходит уменьшение глубины проплавления. Минимальная подвижность дуги и максимальная глубина проплавления соответствуют сварке под флюсом на обратной полярности. И наоборот, увеличенная подвижность дуги и минимальная глубина проплавления соответствуют прямой полярности. Сварка на переменном токе занимает промежуточное положение между сваркой на обратной и прямой полярности. Именно поэтому швы, в которых требуется небольшое количество электродного металла и большая глубина проплавления (стыковые и угловые без разделки кромок), целесообразно выполнять на постоянном токе обратной полярности [1, 5, 6].

Скорость сварки меньше влияет на параметры шва, чем величина сварочного тока. При увеличении скорости сварки при неизменном сварочном токе и напряжении дуги время воздействия дуги на основной металл и количество выделяемой теплоты на единицу длины шва снижаются, вследствие чего глубина проплавления и ширина шва уменьшаются. Уменьшается и высота усиления шва (рис. 1.8). На скоростях сварки 70...80 м/ч возможно образование подрезов, что частично можно устранить увеличением напряжения дуги.

Стабильное поддержание горения дуги обеспечивает высокое качество сварного шва, поэтому скорость подачи проволоки должна соответствовать скорости ее плавления. Изменение линейной скорости подачи проволоки различных диаметров в зависимости от величины сварочного тока приведено на рис. 1.9.

Оптимальность результатов сварки зависит от правильного выбора: сварочного тока, диаметра электродной проволоки, напряжения дуги, скорости сварки, формы подготовки и углов разделки кромок соединения.

Масса металла электрода Q_p , расплавляемого в единицу времени, определяется из уравнения

$$Q_p = \alpha_p I_{св} t_{осн}$$

где α_p – коэффициент расплавления, г/(А·ч); $I_{св}$ – сварочный ток, А; $t_{осн}$ – основное время горения дуги, ч.

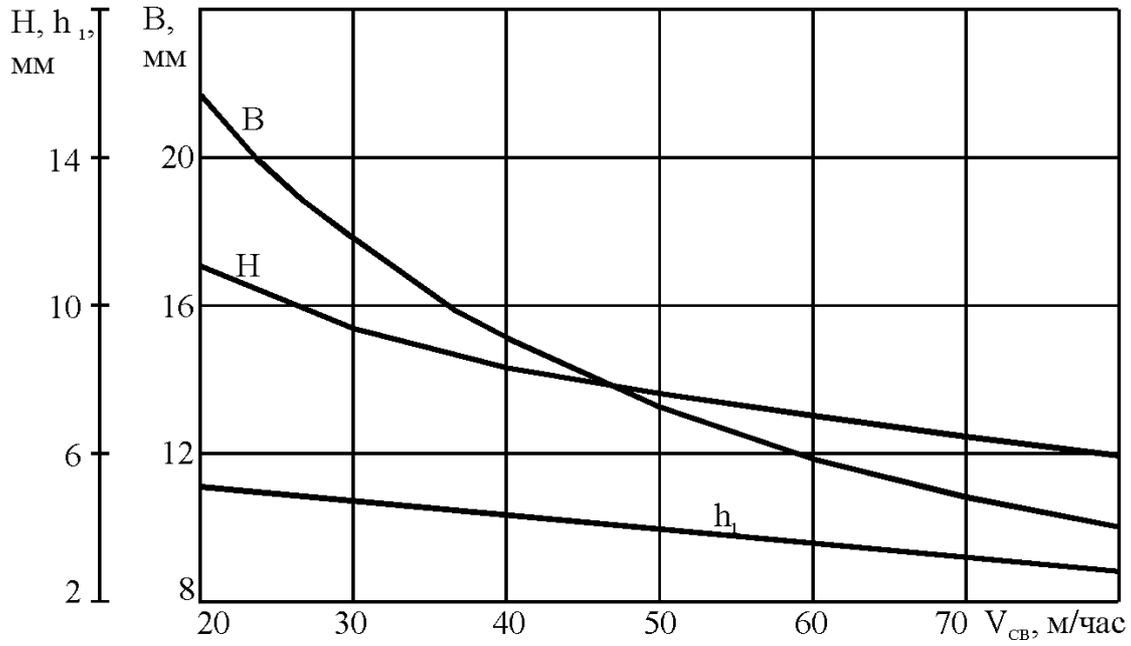


Рис. 1.8. Влияние скорости сварки на форму и размеры шва

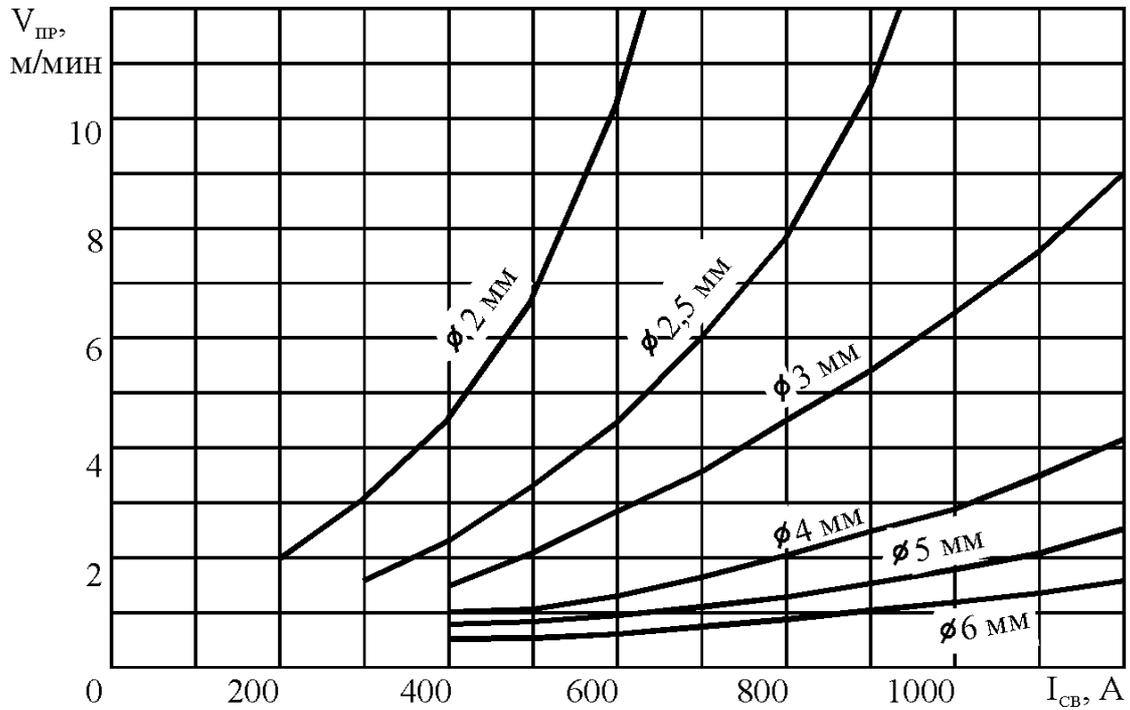


Рис. 1.9. Зависимость скорости подачи электродной проволоки от тока сварки и диаметра электрода ($V_{св}=30$ м/ч)

При сварке под флюсом потери электродного металла на угар и разбрызгивание практически отсутствуют (не превышают 1% от массы расплавленной электродной проволоки), поэтому можно считать, что весь расплавленный электродный металл переходит в шов [1, 5, 6].

На рис. 1.10 приведены зависимости коэффициента расплавления проволоки от сварочного тока. Видно, что при неизменном значении тока применение электродов малого диаметра позволяет резко повысить величину коэффициента расплавления α_p , г/(А·ч), а следовательно, и массу расплавленного электродного металла. Это снижает удельный расход электроэнергии, при этом экономия может составлять более 40%. Рекомендуемый сварочный ток для электродной проволоки диаметром 2 мм ограничен величиной 600 А.

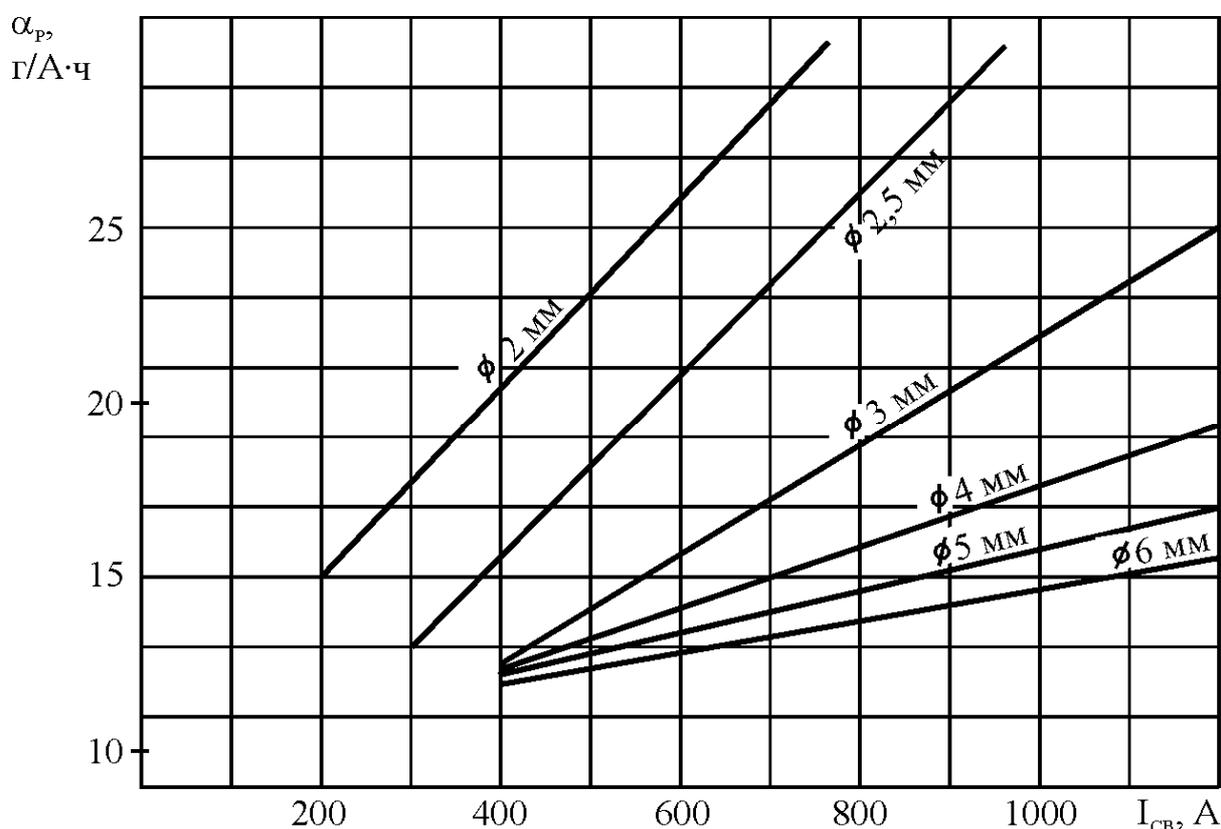


Рис. 1.10. Зависимость коэффициента расплавления от тока сварки и диаметра электродной проволоки ($V_{св}=30$ м/ч)

Сравнение процесса сварки под флюсом с другими процессами дуговой сварки показывает более высокую производительность, высокое качество и стабильность свойств сварного соединения, улучшение условий труда сварщика, более низкие затраты сварочных материалов и электроэнергии. К недостаткам способа можно отнести возможность сварки только в нижнем положении ввиду стекания расплавленного флюса и металла при отклонении плоскости шва от горизонтали более чем на 10...15°.

Выбор режима сварки под флюсом

Технология сварочного производства предусматривает различные варианты определения оптимальных режимов дуговой сварки. Это и опытные данные, и использование ранее полученных справочно-нормативных значений, и расчет. В справочниках по сварке приводятся данные (табл. 1.4, 1.5) для типов соединений, получивших широкое распространение. Это стыковые соединения, получаемые однопроводной сваркой под флюсом [1, 5, 6].

Таблица 1.4. Режимы односторонней однопроводной сварки стыкового соединения листа толщиной 3...10 мм (без скоса кромок) на флюсомедной подкладке (проволока СВ-08, флюс АН-348А)

Толщина листа, мм	Зазор в стыке, мм	Диаметр электродной проволоки, мм	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч
3	0-2	2	275-300	28-30	44
4		2	375-400		40
		3	420-460		
5	0,5-2,5	2	425-450	32-34	35
		4	540-580	30-32	40
6		2	440-480	32-34	30
		4	640-680		40
8	0,5-3,5	4	820-860	38-40	40
		5	860-900	36-38	37
10		5	940-980	38-40	35

Таблица 1.5. Режимы односторонней однопроводной сварки стыкового соединения листа толщиной 4...20 мм (без скоса кромок) на флюсомедной подкладке (проволока СВ-08, флюс АН-348А)

Толщина листа, мм	Зазор в стыке, мм	Диаметр электродной проволоки, мм	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч
4	1-1,5	4	520-550	28-30	50
6	2-3		600-650	28-32	40
8	2-3,5		625-675	32-36	34
10	3-4	5	700-750	34-36	30
12	4-5		750-800	36-40	27
16	5-6		900-950	38-40	20
18			950-1 000	40-42	17
20			950-1 000	42-44	15

Определение режимов сварки под флюсом с использованием справочных данных (пример)

Требуется определить режимы сварки под флюсом для односторонней сварки стыкового соединения листов из низкоуглеродистой стали толщиной 6 мм.

1. Используя данные табл. 1.1 и 1.2, назначаем сварочную проволоку СВ-08ГА и плавный флюс АН-348А.

2. По ГОСТ 8713–79 предусмотрены виды сварных соединений, характер и формы поперечного сечения выполненного шва, конструктивные элементы подготавливаемых кромок для соединений без скоса кромок или со скосом.

Назначаем сварку стыкового соединения стальных листов толщиной 6 мм выполнять без скоса кромок с заданным технологическим зазором от 0,5 до 2,5 мм (см. табл. 1.4).

3. Так как сварное соединение не требует большого количества расплавленного электродного металла, назначаем сварку под флюсом на постоянном токе обратной полярности.

4. Используя справочные данные табл. 1.4 и 1.5, назначаем $d_{эл}=2$ мм; $I_{св}=440...480$ А; $U_0=32...34$ В; $V_{св}=30$ м/ч.

5. Определим оптимальное значение скорости подачи проволоки (см. рис. 1.9). Получим $V_{пр}=5,5$ м/мин.

Таблица 1.6. Режимы односторонней односторонней сварки стыкового соединения листов низкоуглеродистой стали под флюсом на флюсомедной подкладке постоянным током обратной полярности (электрод СВ-08ГА, флюс АН-348А)

Толщина листа, мм	Диаметр электродной проволоки, мм	Подготовка кромок	Технологический зазор, мм	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость подачи проволоки, м/мин	Скорость подачи проволоки, м/ч	Скорость сварки, м/ч	Геометрические параметры шва			Коэффициент формы провара $\Psi_{расч}$	Коэффициент формы провара $\Psi_{таб}$
									B, мм	H, мм	h_1 , мм		
6,0	2,0	Без подготовки	0,5...2,5	460	33	5,6	336	30	10,8	6	4,5	1,8	1...3

6. По рис. 1.4, 1.6, 1.7 определяем геометрические параметры шва, которые обеспечивают ранее выбранные режимы сварки: $B=10,8$ мм; $H=6$ мм; $h_1=4,5$ мм.

Коэффициент формы провара для сварки под флюсом лежит в пределах $\Psi_{маб}=1...3$.

Производим проверку полученных геометрических размеров шва $\Psi_{расч}=B/H=10,8/6=1,8$.

Расчетное значение коэффициента формы провара лежит в рекомендованных границах.

7. Заносим данные по сварочным режимам и размерам полученного сварного шва в табл. 1.6.

Устройство сварочного автомата АДФ-1002 и подготовка его к работе

Сварочный трактор АДФ-1002 (рис. 1.11) предназначен для автоматической сварки под флюсом соединений встык с разделкой и без разделки кромок, для сварки угловых швов вертикальным или наклонным электродом, а также нахлесточных швов [1, 5, 6].

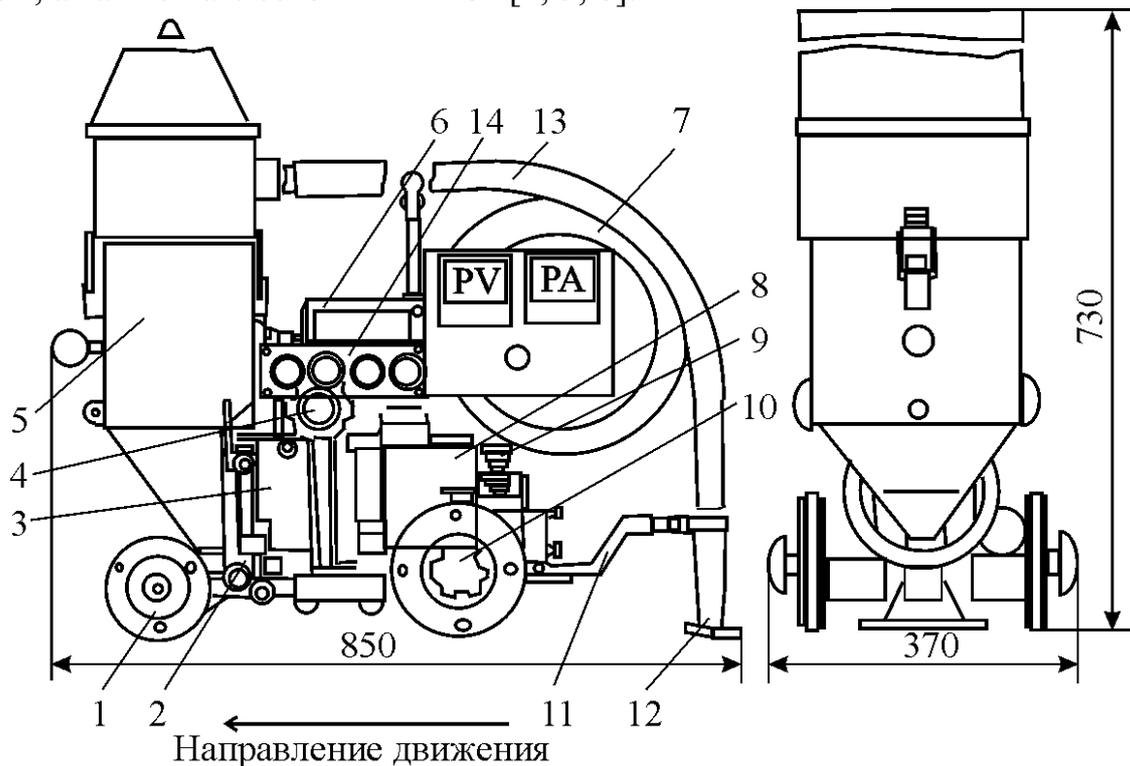


Рис. 1.11. Общий вид сварочного автомата АДФ-1002: 1 – переднее шасси; 2 – токоподвод; 3 – сварочная головка; 4 – корректировочный механизм; 5 – бункер для флюса; 6 – кронштейн; 7 – кассета; 8 – двигатель; 9 – ходовой механизм; 10 – маховичок; 11 – кронштейн; 12 – сопло; 13 – шланг; 14 – пульт управления

Сварочный автомат представляет собой самоходный механизм, состоящий из редуктора подающего устройства, входящего в блок сварочной головки 3, и ходовой тележки, состоящей из переднего шасси 1 и ходового механизма 9. Редуктор и ходовой механизм приводятся от общего электродвигателя 8. Скорость сварки и скорость подачи проволоки из кассеты 7 регулируются сменными шестернями. Подача электродной проволоки осуществляется сварочной головкой 3. На ее корпусе укреплены токоподвод 2 и кронштейны 6 с пультом управления 14. На кронштейнах установлены корректирующий механизм 4, правильный механизм для пластического деформирования сварочной проволоки (на схеме не показан), кассета 7 и бункер с флюсом 5.

Токоподвод 2 служит для подвода сварочного тока к электродной проволоке и направления ее в зону сварки. В качестве токоподвода используют два скользящих подпружиненных контакта из медного сплава, расположенных в непосредственной близости от горячей дуги (длина сухого вылета около 40 мм).

Правильный механизм состоит из трех роликов, расположенных над механизмом подачи. Режим правки регулируется упорным винтом верхнего ролика. Корректирующий механизм обеспечивает необходимое поперечное смещение проволоки относительно стыка сварного соединения. Кроме того, он используется для поперечного наклона сварочной головки, когда возникает необходимость точной установки электрода в плоскости копира.

Пульт управления используется для контроля параметров сварки и предварительной настройки режима [1, 5, 6].

К сварочному автомату прикладываются два сменных бункера, обеспечивающих работу вертикальным и наклонным электродами. В нижней части бункера закреплена игла-указатель, которой сварщик регулирует направление перемещения дуги по стыку.

Сварочный автомат комплектуется источником тока на 1000 А и блоком управления сварочным процессом, позволяющим без участия оператора выполнять последовательность действий [1, 5, 6]:

1. Подъем и опускание электродной проволоки.
2. Закорачивание сварочной проволоки перед сваркой, подъем проволоки из шлаковой ванны и др.
3. Передвижение автомата при отсутствии сварочной проволоки.
4. Включение сварочного тока и возбуждение дуги, подачу электродной проволоки, передвижение автомата по свариваемому изделию.
5. Дистанционное управление, регулирование сварочного тока.
6. Заварку кратера и отключение сварочного тока в конце цикла.

Режимы сварки предварительно устанавливаются для каждого конкретного случая и при необходимости проверяются контрольным проваром шва. При выполнении сварочных работ порядок и последователь-

ность действий сварщика следующие: 1. Включение источника сварочного тока. 2. Закорачивание электрода на изделие нажатием кнопки «ВНИЗ». 3. Включение фрикционной муфты ходового механизма тележки маховичком 10. 4. Подача флюса из бункера на закороченный электрод за счет открытия заслонки. 5. Подача давления воздуха на эжектор флюсоотсоса. 6. Возбуждение сварочной дуги нажатием кнопки «ПУСК». 7. Завершение цикла сварки нажатием кнопки «СТОП».

При нажатии кнопки «СТОП» автомат останавливается, но сварочная дуга продолжает гореть 1...2 с, производя заварку кратера за счет плавного спада сварочного тока. По истечении этого времени автомат отключает сварочный ток. Процесс сварки завершен.

При подготовке сварочного трактора к работе выполняются следующие действия: 1. Проверяется направление вращения двигателя 8 и при необходимости изменяется на противоположное. 2. В зависимости от типа сварного соединения, типа шва и способа его сварки монтируется переднее шасси автомата. 3. При сварке стыковых швов без разделки кромок, а также нахлесточных швов на переднее шасси устанавливаются два обрезиненных колеса. Вылет колес впереди электрода зависит от конструкции свариваемого изделия и конфигурации шва. 4. При сварке стыковых швов с разделкой кромок или с зазором не менее 2 мм на одной из штанг переднего шасси закрепляется копир. 5. В зависимости от типа свариваемого шва и его положения во время сварки направление электрода по шву может осуществляться тремя способами: Автоматическое направлением электрода самокопированием (с использованием корректирующего механизма; двойное копирование, грубое и точное). Полуавтоматическое направление по шву с помощью направляющей линейки. Ручное копирование. 6. Предварительная установка наплавочных режимов в зависимости от марки свариваемой стали, электродной проволоки и флюса согласно технологии, разрабатываемой для каждого конкретного случая. 7. Сварка контрольного образца.

Порядок выполнения работы

Лабораторная работа выполняется в следующей последовательности:

1. Зарисовать схему сварки под флюсом по рис. 1.1. Отметить основные положения сварки под флюсом и характеристики сварочного процесса.
2. Используя графические зависимости и табличные справочные данные, произвести выбор сварочных режимов в соответствии с индивидуальным заданием и заполнить сводную табл. 1.6.
3. Ознакомиться с устройством и работой сварочного автомата АДФ-1002.

4. Настроить сварочный автомат на выбранные сварочные режимы в соответствии с индивидуальным заданием и произвести сварку образца.
5. Оценить качество полученного сварочного шва. Произвести замер основных параметров шва, сравнить опытные и табличные значения.
6. Сделать выводы по проделанной работе.

Контрольные вопросы и задания

1. Объясните возможность увеличения производительности сварки под флюсом в сравнении с другими дуговыми способами сварки.
2. Чем можно объяснить высокое качество швов, получаемых сваркой под флюсом?
3. Почему при сварке под флюсом достигается экономия расхода электродного материала?
4. При сварке под флюсом плотность тока в дуге может достигать 150...200 А/мм², что невозможно при ручной дуговой сварке. Дайте объяснение.
5. За счет чего при сварке под флюсом улучшаются условия труда и повышается культура производства?
6. Какие металлы свариваются под флюсом?
7. Укажите используемые для сварки под флюсом сварочные материалы.
8. Чем можно объяснить значительную (до 40%) экономию электроэнергии в сравнении с ручной дуговой сваркой?
9. Укажите род используемого тока и величины рабочих напряжений дуги для сварки под флюсом.
10. Чем можно объяснить необходимость просушки флюса и освобождения его от влаги? Укажите режимы температуры сушки и времени выдержки.
11. При сварке под флюсом достигается значительная глубина проплавления основного металла. Дайте этому объяснение.
12. Какие параметры сварки оказывают максимальное влияние на глубину проплавления основного металла?
13. Как влияет выбор рода тока (переменный, постоянный), полярности дуги (прямая, обратная) на геометрические параметры шва и форму его поперечного сечения?
14. Дайте объяснение влиянию скорости сварки на основные размеры шва (B , H , h_1).

Лабораторная работа № 2

СВАРКА В УГЛЕКИСЛОМ ГАЗЕ

Цель лабораторной работы – ознакомиться с оборудованием и технологией полуавтоматической сварки в углекислом газе, расчетом параметров режима сварки, их влиянием на величину технологических коэффициентов.

Особенности сварки стали в углекислом газе и сущность способа

При сварке металлов в среде защитных газов применяются дорогостоящие инертные газы. Попытки перейти на более дешевый углекислый газ предпринимались еще в начале XX в., но не дали положительного результата. Был выявлен ряд недостатков процесса: низкая стабильность, большие потери металла на разбрызгивание, порообразование в металле шва. Это отодвинуло промышленное внедрение способа до 1950–1952 гг.

При сварке в среде углекислого газа используют капельный и мелкокапельный (струйный) перенос металла через дуговой промежуток (рис. 2.1) [1, 5, 6].

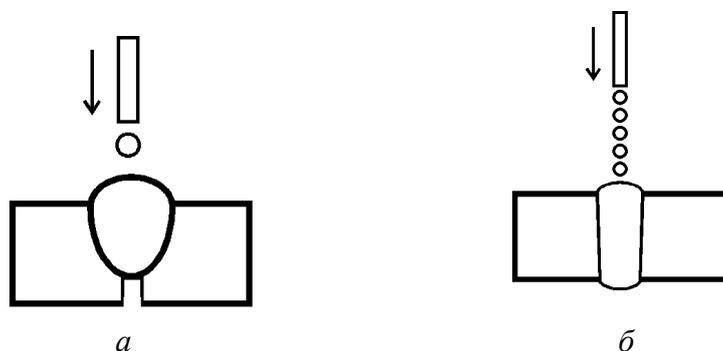


Рис. 2.1. Формы расплавления и переноса электродного металла при сварке в среде углекислого газа плавящимся электродом: *a* – капельный перенос; *б* – мелкокапельный (струйный) перенос

При капельном переносе (рис. 2.1, *a*) решающее влияние на стабильность процесса и потери на разбрызгивание оказывает выбор диапазона частот коротких замыканий дугового промежутка каплями жидкого металла. Во время контакта возрастает сварочный ток и увеличивается сжимающее действие электромагнитных сил, разрывающих жидкую перемычку между электродом и изделием. Оптимальным является 90...450 коротких замыканий в секунду, что приводит к повышению стабильности процесса горения и уменьшению разбрызгивания металла до 7%. При этом со-

храняется возможность ведения сварки во всех пространственных положениях.

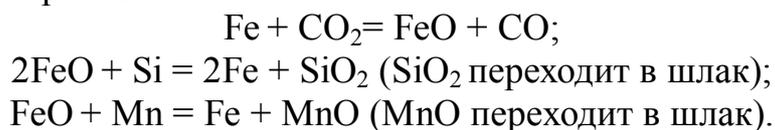
Переход на мелкокапельный (струйный) перенос (рис. 2.1, б) возможен лишь при выполнении следующих условий:

- использовании сварочной проволоки уменьшенного диаметра (0,6...1,2 мм);
- работе на плотностях тока 100...450 А/мм²;
- применении повышенной индуктивности в цепи дуги.

При этом повышаются стабильность процесса горения, производительность с одновременным уменьшением потерь на разбрызгивание до 2%.

Сварочная проволока, применяемая для сварки в СО₂, имеет повышенное содержание раскислителей (Si, Mn). Раскислители необходимы для нейтрализации окисляющего действия СО₂, они препятствуют образованию окислов железа [1, 5, 6].

При сварке в СО₂ протекают следующие химические реакции в жидком металле сварного шва:



На практике широко используется сварочная проволока СВ-08Г2С диаметром 0,8...2 мм (механизированная сварка) и диаметром 1...3 мм (автоматическая сварка), ГОСТ 2246–76. В проволоке содержится до 0,1% С, около 1,0% Si и до 2,0% Mn.

В качестве защитного газа применяют сварочную или пищевую углекислоту, ГОСТ 8050–76. Для сварки неответственных швов используют пищевую углекислоту с обязательным удалением влаги. Техническая углекислота при этом способе не применяется. Средний расход газа составляет 8...23 л/мин, он зависит от выбранного режима сварки.

Сварка в углекислом газе выполняется серийно выпускаемыми промышленностью полуавтоматами и автоматами, которые комплектуются сварочными источниками тока:

- автоматы – АДГ-502;
- полуавтоматы – ПДГ-305, ПДГ-308, ПДГ-312, ПДГ-502, ПДГ-508, ПДГ-512, ПДГ-516, ПДГ-603, А-765;
- сварочные источники тока – ВДГ-303, ВДГ-601, ВДУ-305, ВДУ-504, ВДУ-505, ВДУ-506, ВДУ-601, ВДУ-1201.

Широкое применение сварки в углекислом газе обусловлено высокой производительностью процесса, удовлетворительным качеством сварного шва, относительно небольшими потерями металла на разбрызгивание, низкой стоимостью СО₂ и возможностью сварки во всех пространственных

положениях, за счет чего происходит вытеснение ручной дуговой сварки листов толщиной от 1 до 3 мм [1, 5, 6].

Производительность сварки в углекислом газе может быть выше производительности сварки под флюсом при применении сварочной проволоки диаметром до 2 мм. К недостаткам способа можно отнести повышенное выделение дыма и аэрозолей, необходимость защиты от света дуги и защиты дуги от ветра.

Характеристики процесса сварки в углекислом газе

Важными показателями, характеризующими параметры сварного шва, являются глубина проплавления основного металла H , величина усиления шва h_1 и ширина шва B (рис. 2.2).

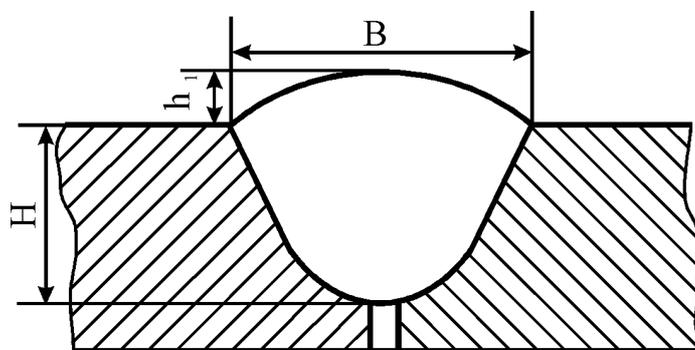


Рис. 2.2. Форма поперечного сечения сварного шва стыкового соединения

Зависимость глубины проплавления от сварочного тока и диаметра проволоки приведена на графике (рис. 2.3). С ростом сварочного тока растет проплавление основного металла за счет увеличения давления дуги на поверхность сварочной ванны. Из графика видно, что при одном и том же сварочном токе глубина проплавления возрастает с уменьшением диаметра электродной проволоки. За счет увеличения плотности тока в дуге растет и дополнительное давление на сварочную ванну. При наплавочных работах для уменьшения глубины проплавления необходимо применять проволоку большего диаметра. Опыты показывают, что при сварке в углекислом газе глубина проплавления выше, чем при сварке под флюсом [1, 5, 6].

На параметры шва также влияют напряжение дуги и скорость сварки. Длина (напряжение) дуги оказывает существенное влияние на глубину проплавления, она выбирается исходя из минимального разбрызгивания металла и необходимости получить шов правильной формы. На рис. 2.4 приведены зависимости рекомендуемых напряжений сварки, соответст-

вующих минимальным потерям на разбрызгивание и оптимальной форме шва, от величины сварочного тока и диаметра электродной проволоки.

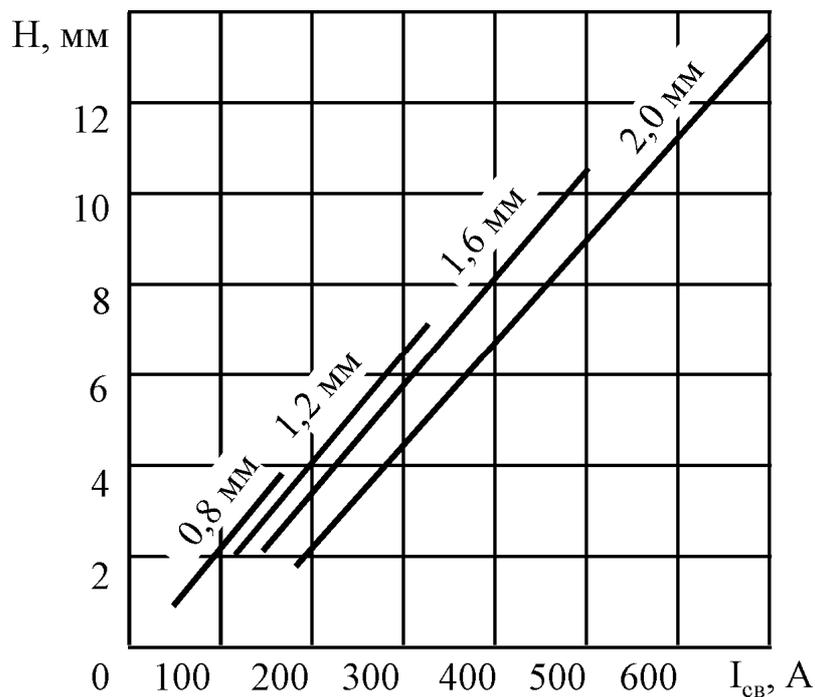


Рис. 2.3. Зависимость глубины проплавления от величины сварочного тока и диаметра электродной проволоки при сварке в углекислом газе (ток обратной полярности, $V_{св}=30$ м/ч)

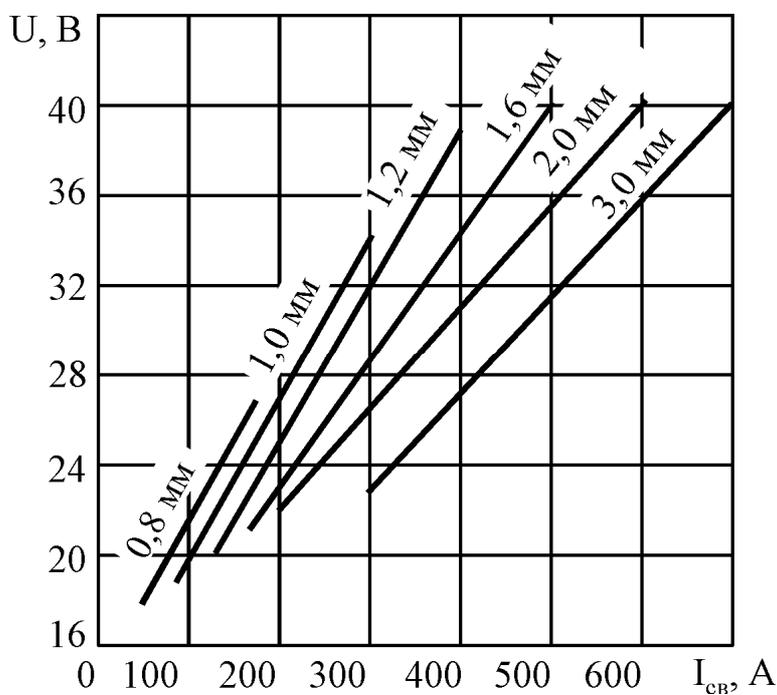


Рис. 2.4. Рекомендуемые напряжения дуги для проволоки СВ-08Г2С в зависимости от сварочного тока (ток обратной полярности, $V_{св}=30$ м/ч)

С увеличением сварочного тока (см. рис. 2.4) напряжение дуги возрастает, причем каждому диаметру проволоки соответствует свое оптимальное значение напряжения дуги. Графические зависимости влияния скорости сварки на глубину проплавления не показываются, но увеличение скорости сварки в 3 раза (с 20 до 60 м/ч) дает уменьшение глубины проплавления примерно в 1,5 раза.

Ширина шва B также зависит от силы тока в дуге, напряжения сварки, скорости сварки и диаметра электродной проволоки. С ростом сварочного тока ширина шва увеличивается. Так же влияет и изменение напряжения сварочной дуги. Рост скорости сварки уменьшает погонную энергию дуги, что приводит к уменьшению ширины проплавления. Уменьшение диаметра проволоки снижает ширину шва [1, 5, 6].

Сварка в углекислом газе обычно сопровождается повышенным разбрызгиванием, величина которого зависит от длины дуги, диаметра электродной проволоки, плотности тока и других параметров. График изменения потерь Ψ для проволоки диаметром 2 мм приведен на рис. 2.5.

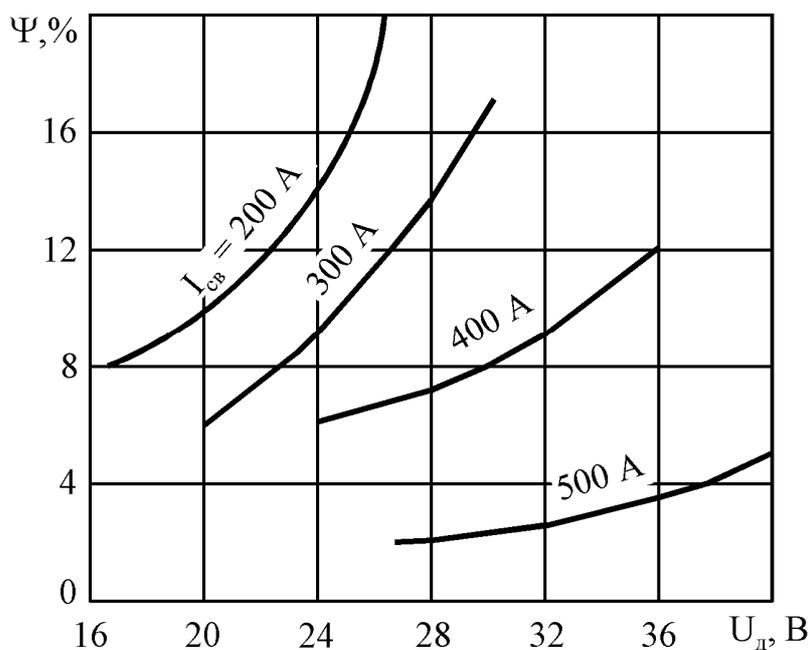


Рис. 2.5. Разбрызгивание электродного металла (коэффициент потерь Ψ , %) в зависимости от напряжения дуги и сварочного тока (сварка в углекислом газе проволокой 2 мм, ток обратной полярности)

С ростом напряжения дуги разбрызгивание увеличивается. Особенно заметно это влияние при минимальной плотности тока, что соответствует сварочному току в 200...300 А. Увеличение сварочного тока, переход на проволоку меньшего диаметра увеличивают плотность тока в дуге и способствуют переходу на мелкокапельный перенос металла. При этом растет давление дуги на поверхность жидкой ванны и увеличивается проплавление.

ние металла. Образуется глубокая полость, в которой горит погруженная дуга, разбрызгиваемые капли удерживаются внутри этой полости. Следовательно, для уменьшения разбрызгивания необходимо применять короткую дугу и сварочную проволоку малого диаметра при высокой плотности тока [1, 5, 6].

Скорость подачи электродной проволоки является весьма важной характеристикой, влияющей на производительность процесса сварки. Главными факторами влияния на изменение скорости подачи проволоки являются сварочный ток и диаметр электрода (рис. 2.6).

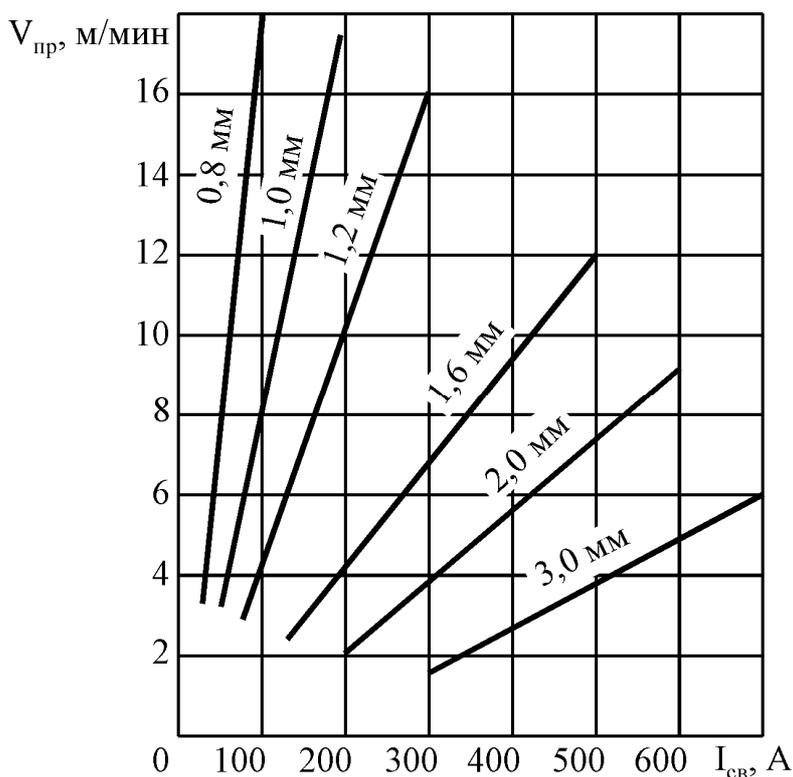


Рис. 2.6. Влияние сварочного тока и диаметра электродной проволоки на скорость ее подачи при сварке в углекислом газе (ток обратной полярности)

При увеличении сварочного тока растет скорость подачи электродной проволоки, причем тем интенсивнее, чем меньше ее диаметр. Несколько меньшее влияние на скорость подачи, особенно при использовании проволоки малого диаметра и высокой плотности тока, оказывает вылет электрода. С увеличением вылета электрода скорость подачи проволоки возрастает, поскольку количество выделяемого на электроде тепла под действием сварочного тока пропорционально сопротивлению (длине) вылета, квадрату силы тока и времени прохождения тока через сухой вылет электрода. Влияние напряжения дуги и скорости сварки на скорость подачи незначительно и им можно пренебречь.

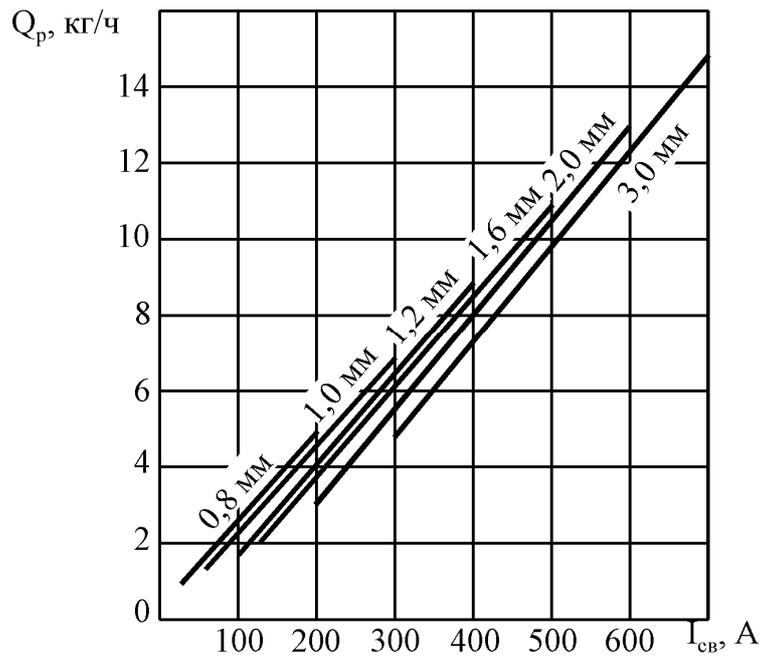


Рис. 2.7. Зависимость массы расплавленной электродной проволоки Q_p от сварочного тока и диаметра электрода при сварке в углекислом газе (ток обратной полярности)

Таблица 2.1. Режимы сварки в среде углекислого газа

Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Диаметр проволоки, мм	Длина вылета электрода, мм	Скорость подачи электродной проволоки, м/ч	Производительность плавления электродного металла, кг/ч
200	27-31	0,8	6-10	660-920	2,6-3,4
250	29-34	0,8	6-10	990-1 330	3,9-5,2
	28-34	1,0	7-15	490-850	3,0-5,2
300	32-36	1,0	10-15	830-1 130	5,1-7,0
	31-36	1,2	10-22	450-790	4,0-7,0
350	34-40	1,2	10-15	1 050-1 450	6,5-8,9
	33-40	1,6	10-22	510-1 000	5,2-8,9
400	36-42	1,2	14-22	900-1 200	8,0-10,7
	35-42	1,4	14-30	510-900	6,2-10,7
450	39-45	1,2	14-22	1 070-1 450	9,5-12,8
	37-45	1,4	14-30	610-1 050	7,4-12,8
500	40-49	1,2	14-22	1 240-1 700	11,0-15,0
	38-49	1,4	14-30	720-1 240	8,7-15,0
	38-49	1,6	19-38	550-980	8,7-15,0
550	43-51	1,4	20-30	1 050-1 430	12,8-17,3
	42-51	1,6	18-38	640-1 100	10,0-17,3
600	45-54	1,4	20-30	1 200-1 630	14,6-19,7
	43-54	1,6	18-38	730-1 250	11,4-19,7
800	52-58	1,6	18-25	1 150-1 435	18,0-23,0
	48-58	2,0	20-40	610-900	14,6-23,0

Из рис. 2.7 видно, что целесообразно использовать малые диаметры электродной проволоки и ток повышенной плотности 250...450 А/мм².

Рациональные как с технологической, так и с экономической точек зрения параметры электродов (диаметр, длина вылета, напряжение дуги) при сварке в углекислом газе проволоками СВ-08ГС и СВ-08Г2С диаметром от 0,8 до 2 мм низкоуглеродистых и низколегированных сталей на токе обратной полярности при скоростях сварки от 30 до 40 м/ч токами величиной от 200 до 800 А приведены в табл. 2.1.

Оборудование для сварки в среде СО₂. Сварочный полуавтомат ПДГ-601

Сварка в углекислом газе может выполняться механизированным способом с использованием различных сварочных полуавтоматов и автоматическим способом. При механизированной сварке сварщик вручную перемещает сварочную горелку. При автоматической сварке эту функцию выполняет сварочный автомат [1, 5, 6].

Сварочный полуавтомат ПДГ-601 предназначен для механизированной сварки в углекислом газе на форсированных режимах проволокой диаметром от 0,8 до 2 мм при токе до 630 А.

Схема полуавтомата показана на рис. 2.8. Сварочный полуавтомат состоит из сварочного выпрямителя ВДГ-601 17, выполненного в одном корпусе с блоком управления 10, механизма подачи электродной проволоки 6 с установленной на нем бухтой 7. Механизм подачи обеспечивает подачу сварочной проволоки в горелку 3 через шланг 5, по которому одновременно подается и углекислый газ. Механизм подачи находится в непосредственной близости от зоны сварки (длина шланга горелки 2,5...3 м), но от сварочного источника тока может быть удален на десятки метров. Система подачи углекислого газа состоит из баллона с жидкой углекислотой 13, закрепленного на корпусе сварочного источника. Давление углекислого газа на выходе из баллона понижается до необходимой величины редуктором, оснащенным расходомером (на схеме не показан), и подогревается электроподогревателем 12 для исключения замораживания редуктора и шлангов. Для очистки газа от влаги используется осушитель газа 11. По шлангу 9 углекислый газ поступает в блок управления, где располагается электромагнитный запорный клапан, обеспечивающий экономный расход СО₂ (на схеме не показан). Сварочные кабели 15 и 16 подключаются таким образом, чтобы обеспечить сварку на обратной полярности (минус на изделие).

Сварочный выпрямитель ВДГ-601 является двухрежимным источником тока с ппологопадающей внешней характеристикой с регулированием тока и напряжения [1, 5, 6].

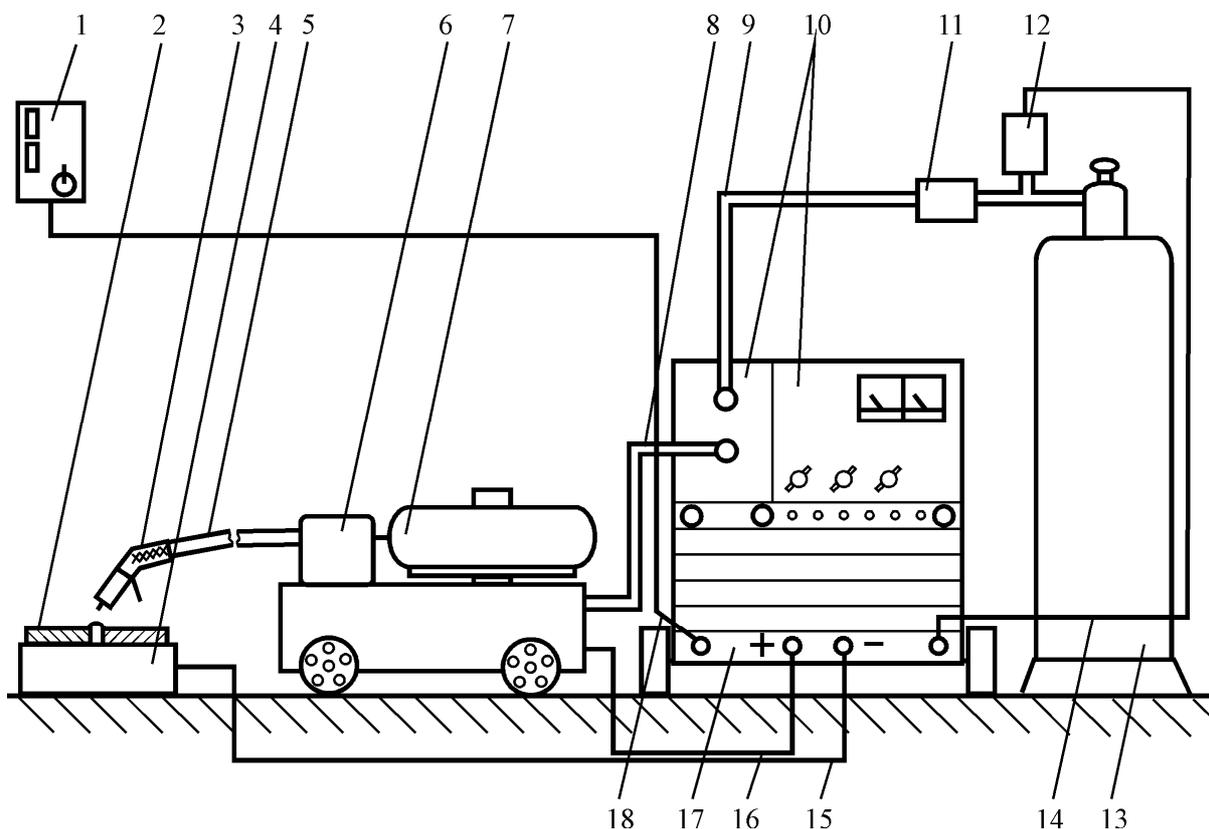


Рис. 2.8. Полуавтомат ПДГ-601: 1 – пульт дистанционного управления; 2 – изделие; 3 – сварочная горелка; 4 – стол; 5 – шланг для подачи сварочной проволоки и углекислого газа; 6 – механизм подачи электродной проволоки; 7 – бухта электродной проволоки; 8, 9 – шланги подачи углекислого газа; 10 – блок управления полуавтоматом; 11 – осушитель углекислого газа; 12 – электроподогреватель углекислого газа; 13 – баллон с жидкой углекислотой; 14 – кабель электропитания подогревателя; 15, 16 – сварочные кабели; 17 – сварочный выпрямитель ВДГ-601; 18 – кабель подключения пульта дистанционного управления

Таблица 2.2. Основные технические данные выпрямителя ВДГ-601

№ п/п	Наименование параметра	Норма
1	Номинальное напряжение питающей сети трехфазного переменного тока, В	220 или 280
2	Номинальная частота тока, Гц	50
3	Первичный ток, А: - исполнение 220 В - исполнение 380 В	170 100
4	Номинальный сварочный ток, А	630
5	Пределы регулировки сварочного тока, А	100...700
6	Пределы регулировки рабочего напряжения, В	18...66
7	Время цикла сварки, мин	10
8	Отношение продолжительности рабочего периода к продолжительности цикла сварки ПВ, %	60
9	Потребляемая мощность, кВт	69

Плавное регулирование сварочного напряжения можно производить либо на блоке управления полуавтоматом (местное регулирование), либо на выносном пульте управления (дистанционное регулирование). Выпрямитель оснащен системой автоматической стабилизации сварочного напряжения, для чего в цепь питания сварочной дуги включена регулируемая индуктивность. Это позволяет повысить стабильность процесса горения дуги и уменьшить потери металла на разбрызгивание. Основные данные сварочного выпрямителя ВДГ-601 приведены в табл. 2.2.

Выбор режима механизированной сварки в углекислом газе

Рассмотрим стыковое соединение листов из низкоуглеродистой стали без скоса кромок с двусторонним проплавлением:

1. Используя справочно-нормативные данные, выбрать режимы механизированной сварки для стыкового соединения стального листа толщиной 10 мм (рис. 2.9).

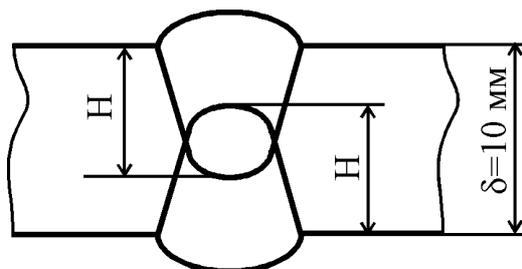


Рис. 2.9. Стыковое соединение с двусторонним проплавлением

Обычно при сварке стыкового соединения с двусторонним проплавлением для обеспечения гарантированного провара в корне шва задают глубину проплавления при одностороннем проходе не менее 70% от толщины листа. Здесь $H=0,7 \delta = 0,7 \cdot 10 = 7$ мм.

2. Используя графические зависимости и справочные данные, - определить диаметр электродной проволоки и сварочный ток (см. рис. 2.3). Подходят комбинации $\varnothing 1,2$ мм и $I_{св}=340$ А и $\varnothing 1,6$ мм и $I_{св}=370$ А;

- с учетом меньшего разбрызгивания принять $\varnothing 1,6$ мм и $I_{св}=370$ А;

- напряжение на дуге найти из графика рис. 2.4. При $\varnothing 1,6$ мм и $I_{св}=370$ А напряжение дуги $U_d=33$ В;

- используя график (см. рис. 2.6), найти V_{np} при $\varnothing 1,6$ мм и $I_{св}=370$ А; $V_{np}=510$ м/ч;

- найти производительность процесса Q_p , кг/ч, из графика рис. 2.7. При $\varnothing 1,6$ мм и $I_{св}=370$ А $Q_p = 7,0$ кг/ч;

- определить длину вылета электрода по рекомендуемому выражению $l_e=10 \cdot d_{эл} = 10 \cdot 1,6=16$ мм.

3. Найденные режимы сварки занести в табл. 2.3.

Таблица 2.3. Режимы сварки в углекислом газе для рассматриваемого примера

Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Диаметр проволоки, мм	Длина вылета электрода, мм	Скорость подачи проволоки, м/ч	Часовая производительность расплавления, кг/ч
370	33	1,6	16	510	7,0

4. С использованием справочных табличных данных определить режимы сварки в углекислом газе. В соответствии с табл. 2.1 $I_{св}=370$ А; $U_0=33...40$ В; $d_{эл}=1,6$ мм; $l_0=10...22$ мм; $V_{пр}=510...1000$ м/мин; $Q_p=5,2...8,9$ кг/ч.

5. Найденные табличные значения режимов сварки в углекислом газе для рассматриваемого примера занести в табл. 2.4.

Таблица 2.4. Режимы сварки в углекислом газе для рассматриваемого примера с использованием справочных табличных данных

Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Диаметр проволоки, мм	Длина вылета электрода, мм	Скорость подачи проволоки, м/ч	Часовая производительность расплавления, кг/ч
350	33-40	1,6	10-22	510-1000	5,2-8,9

6. Выполнить сравнение полученных данных сварочных режимов (см. табл. 2.3 и 2.4).

Порядок выполнения работы

Лабораторная работа выполняется в следующей последовательности:

1. Зарисовать схему полуавтомата ПДГ-601. Объяснить сущность, область применения, достоинства и недостатки способа сварки в углекислом газе.

2. Кратко показать основные характеристики способов сварки в углекислом газе и их влияние на размеры сварного шва и режимы сварки.

3. Произвести выбор режимов механизированной сварки в углекислом газе в соответствии с индивидуальным заданием с использованием табличных и справочных данных.

4. По выбранным режимам сварки настроить сварочный полуавтомат и произвести контрольную сварку образца (сварку выполняет учебный мастер).

5. Визуальный контроль качества сварки. Осмотром отметить наличие поверхностных дефектов. Определить геометрические размеры шва, зарисовать контрольный образец.

6. Сделать выводы по работе.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие стали сваривают в среде углекислого газа (малоуглеродистые, среднеуглеродистые, легированные)?

2. Какие трудности возникли при внедрении сварки в углекислом газе на начальном этапе?

3. Какие формы расплавления и переноса металла через дуговой промежуток используются при сварке в углекислом газе?

4. Укажите род тока, используемый при сварке в углекислом газе. Объясните почему.

5. За счет чего повышается стабильность процесса горения при сварке в углекислом газе?

6. Почему в состав сварочной проволоки вводятся Si и Mn? Что произойдет при отсутствии Si и Mn в сварочной проволоке?

7. Чем отличается механизированная сварка от автоматической?

8. Покажите достоинства и недостатки сварки в среде углекислого газа.

9. Покажите основные характеристики процесса сварки в углекислом газе.

10. Почему сварка в углекислом газе выполняется с уменьшенным диаметром сварочной проволоки?

11. Почему для сварки в углекислом газе используется повышенная плотность тока в дуге?

Лабораторная работа № 3

НАПРЯЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Цели лабораторной работы – изучить причины возникновения сварочных напряжений и деформаций, ознакомиться с методами правки деформированных сварных пространственных конструкций.

Источники сварочных напряжений

Источниками напряжений являются неравномерный нагрев металла вблизи зон сварки, литейная усадка, структурные изменения (мартенситное превращение) [1, 5, 6].

Сварочные напряжения вызывают:

- искажение формы детали после механической обработки;
- потерю устойчивости конструкции;
- снижение сопротивляемости конструкции хрупким разрушениям, усталости;
- снижение хладостойкости;
- ускорение коррозионного разрушения;
- «холодные» и «горячие» трещины в сварных соединениях.

Остаточные сварочные напряжения при кристаллизации металла шва (литейная усадка) проявляются из-за различной плотности стали в жидком ($\gamma_{жс}=7,0 \text{ г/см}^3$) и твердом ($\gamma_{тс}=7,8 \text{ г/см}^3$) состояниях. Исходя из сохранения массы металла получаем, что после кристаллизации объем металла шва уменьшается ($V_{тс}=V_{жс}\cdot\gamma_{жс}/\gamma_{тс}$). Так как кристаллизующийся металл жестко связан с основным металлом, то его усадка (объемная усадка стали составляет 2%) вызывает появление внутренних напряжений.

Возникновение внутренних напряжений от неравномерного нагрева объясняет схема стыкового соединения (рис. 3.1).

При наложении шва металл, окружающий стык, прогревается на ширину b . Происходит тепловое расширение свариваемых пластин и соответственно уменьшение зазора δ . При охлаждении металл в областях шва и зоны нагрева стремится сократиться, но этому препятствуют холодные слои металла и жесткая заделка пластин в узлах закрепления. Это приводит к возникновению растягивающих напряжений в сварном соединении.

Величина упругих напряжений по закону Гука равна

$$\sigma=\varepsilon\cdot E=(\Delta b\cdot E)/L,$$

где E – модуль упругости; ε – относительная деформация; Δb – величина усадки металла.

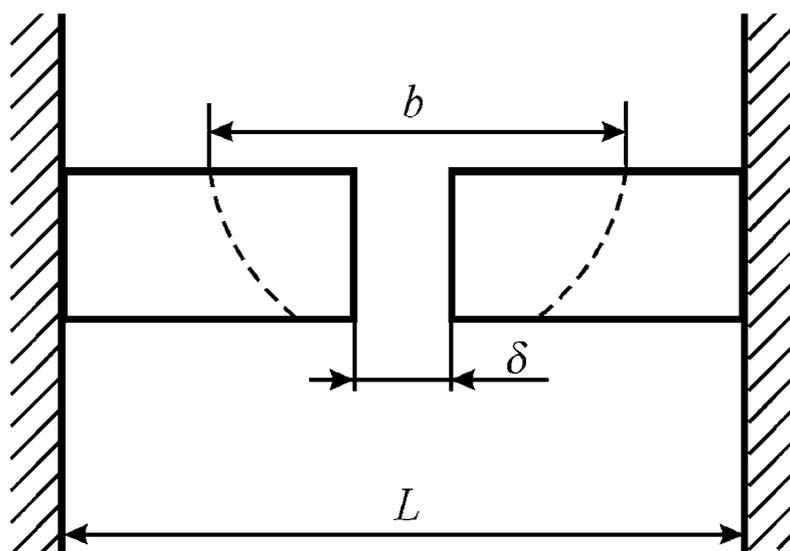


Рис. 3.1. Зона прогрева металла при стыковом соединении

Видно, что величину напряжений от неравномерного нагрева металла можно уменьшить за счет уменьшения зоны разогрева и увеличения размера L .

Внутренние напряжения от линейной усадки и неравномерного нагрева вызывают продольное и поперечное укорочение сварного соединения (табл. 3.1) [1, 5, 6].

Таблица 3.1. Продольная и поперечная усадка сварных соединений

Тип соединения	Толщина свариваемых листов, мм	Способ сварки	Продольная усадка, мм/м	Поперечная усадка, мм/м
Стыковое без разделки кромок	1...4	Ручная	0,35	0,70
		Автоматическая	0,20	0,70
Стыковое с разделкой кромок	5...8	Ручная	0,35	1,2
Тавровое с односторонним швом	3...5	Ручная	0,20	0,50
		Автоматическая	0,10	0,25
Нахлесточное	3...5	Ручная	0,35	1,5

Внутреннее напряжение от структурных превращений связано с тем, что аустенит имеет удельный объем $v_{ay}=0,122 \text{ см}^3/\text{г}$, а при его превращении в мартенсит ($v_m=0,127 \text{ см}^3/\text{г}$) твердые слои металла затрудняют его деформацию.

Деформации при сварке

При приложении нагрузки к пластичной детали она испытывает упругую деформацию, равномерно-пластическую и сосредоточенную (рис. 3.2) [1, 5, 6].

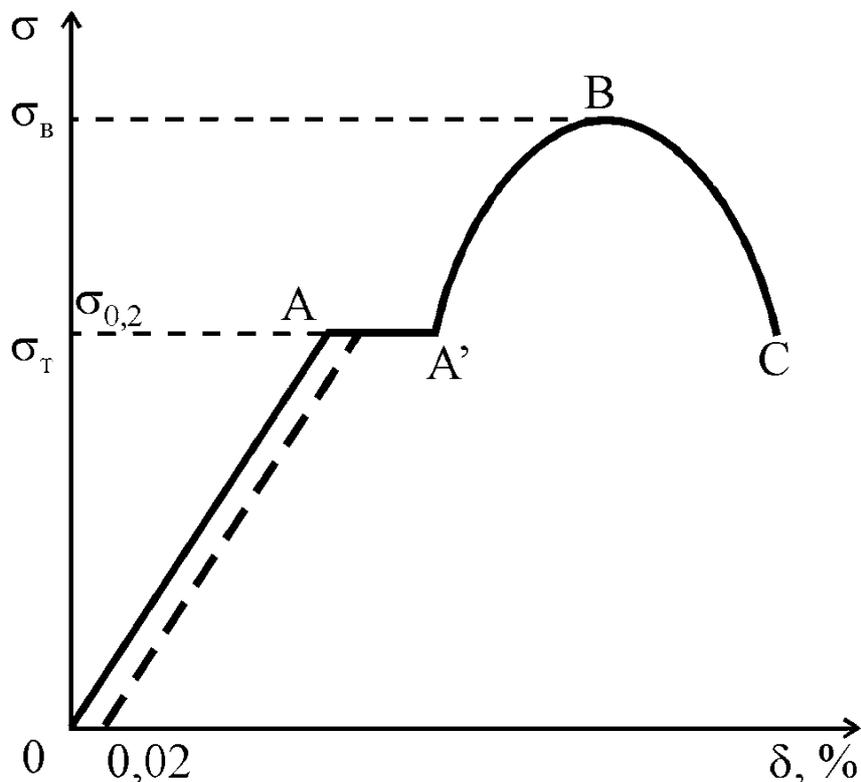


Рис. 3.2. Диаграмма растяжения с площадкой текучести:
OA – упругая деформация; *A'B* – равномерная пластическая деформация; *BC* – сосредоточенная деформация;
AA' – площадка текучести

Напряжение $\sigma_{0,2}$, вызывающее остаточную деформацию $\delta = 0,2\%$, принято называть условным пределом текучести. По физической природе предел текучести σ_m или условный предел текучести $\sigma_{0,2}$ характеризует сопротивление материала малым пластическим деформациям.

При сварке соединение нагревается от температуры окружающей среды до температуры плавления стали. Известно, что предел текучести стали σ_m при температурах выше $600\text{ }^\circ\text{C}$ очень мал. В этом случае сварочные напряжения $\sigma_{св}$ будут выше предела текучести и вызовут пластическую деформацию [1, 5, 6].

Механизм образования сварочных деформаций представлен на рис. 3.3.

При нагреве металла сварочной дугой температурному удлинению препятствует жесткая заделка свариваемых элементов. Возникают напряжения сжатия, пропорциональные нагреву (см. рис. 3.3, участок *OA*). Уве-

Мероприятия, снижающие сварочные напряжения и деформации

Для снижения сварочных напряжений и деформаций рекомендуется следующий комплекс мероприятий:

1. При проектировании сварной конструкции следует стремиться к использованию обоснованных сечений швов и наименьшей их протяженности, предусматривать припуски на усадку отдельных элементов конструкций [1, 5, 6].

2. Расположение сварных швов должно быть симметричным относительно главных осей как отдельных элементов, так и всей конструкции в целом.

3. Не следует допускать пересечения в одной точке более трех швов.

4. Собранный конструкция перед сваркой должна быть проверена в отношении правильности ее размеров и величины зазоров в стыке.

5. Для уменьшения остаточной деформации перед сваркой конструкции или элемента в сварном соединении следует создавать искусственную деформацию, обратную по знаку ожидаемой от сварки.

6. По возможности сварку узлов осуществлять в приспособлениях.

7. Применять местный или общий подогрев конструкции для наведения в сварном соединении деформаций обратного знака по отношению к усадке [1, 5, 6].

8. Уменьшать зону разогрева путем применения теплоотводящих подкладок, либо повышения скорости сварки, либо использования охлаждающих смесей.

9. Порядок наложения швов в конструкции должен быть таким, чтобы последующий шов мог вызвать обратные деформации по отношению к деформациям предыдущего шва (обратноступенчатый способ наложения шва, сварка от середины шва в оба конца).

10. Для создания в сварном соединении напряжения сжатия применять проковку, чеканку, обкатку роликами шва и околошовной зоны.

11. Использовать отпуск для снятия внутренних напряжений (650...680 °С).

Правка деформированных элементов мостовых конструкций

При сварке конструкций имеют место следующие деформации [1, 5, 6]:

- волнистость и саблевидность листов;
- коробоватость листов;
- хлопуны и выпучивание листов и стенок балок;
- перелом в стыке сварного соединения;
- грибовидность полок тавровых соединений;
- ромбовидность и винтообразность коробчатых элементов;
- продольный и поперечный выгибы элементов изделия.

Исправление элементов осуществляют термическим или термомеханическим способом.

Термомеханическую правку выполняют местным нагревом деформированного участка с одновременным механическим воздействием. Нагрев осуществляется ацетиленокислородным пламенем. Запрещается правка элемента путем наплавки дуговой сваркой, графитовыми электродами, плазменными горелками [1, 5, 6].

Температура местного нагрева металла ~ 700 °С. Допускается температура нагрева до 900 °С. Термически упрочненные стали во избежание разупрочнения нагревают до температуры ниже 700 °С.

При термической и термомеханической правках допускается применять проколачивание нагретого металла кувалдой через гладилку, при этом температура нагретого металла должна быть более 700 °С.

Температуру нагреваемой поверхности контролируют по цвету термокарандашами или приборами с переносной контактной термопарой типа ТПР-14 (0...500 °С).

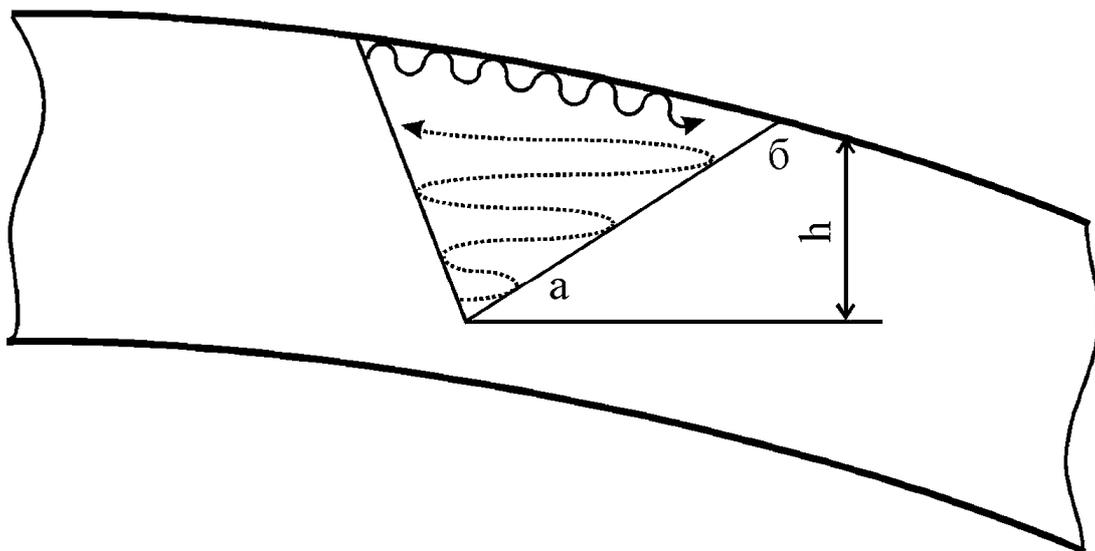


Рис. 3.4. Устранение деформации саблевидности ступенчатым нагревом клиновидных зон

Не допускается правка углеродистых и низколегированных сталей при температуре воздуха ниже -15 °С, а термически упрочненных сталей – при температуре ниже 0 °С.

Запрещается охлаждать нагретый металл водой. Допускается повторный нагрев одних и тех же участков после полного остывания не более трех раз.

Правка волнистости осуществляется путем нагрева полосами по гребню волны. Минимальная ширина зоны нагрева полосы – не менее трех толщин листа.

Правка саблевидности выполняется за счет нагрева «клиньев» со стороны выпуклой кромки. Высота клина h равна $2/3$ ширины листа.

Значительные деформации устраняют ступенчатым нагревом клиновидных зон (рис. 3.4). Сначала нагревают участок a от вершины к основанию, охлаждают нагретый участок до исчезновения свечения металла, а затем нагревают участок b .

Во избежание деформаций при любой толщине металла нагрев ведут одновременно двумя горелками с обеих сторон клина.

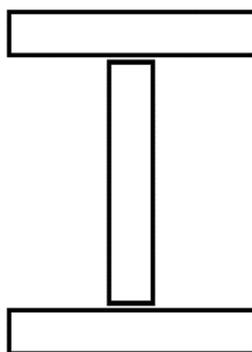
Порядок выполнения работы

Необходимо выполнить следующую последовательность действий:

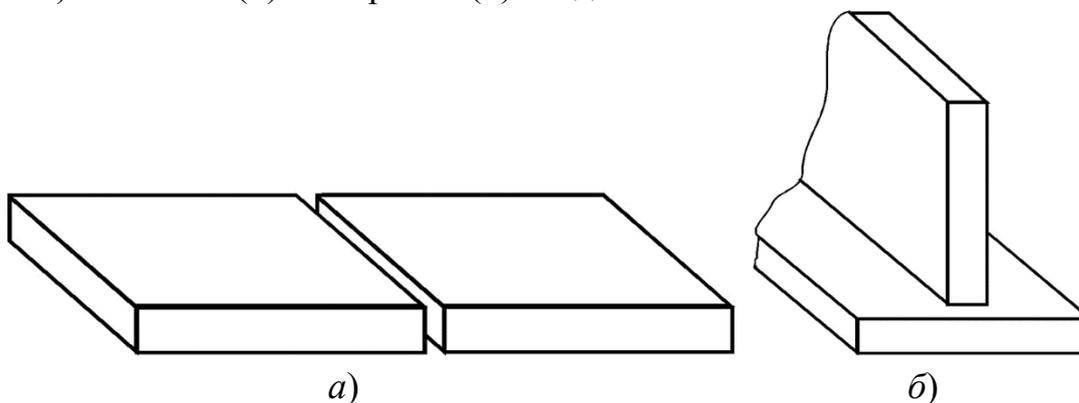
1. Ознакомиться с теорией возникновения сварочных напряжений и деформаций, с методами их уменьшения и устранения.

2. Для уменьшения сварочных напряжений и деформаций указать последовательность сборки элементов и порядок наложения сварных швов в следующих случаях:

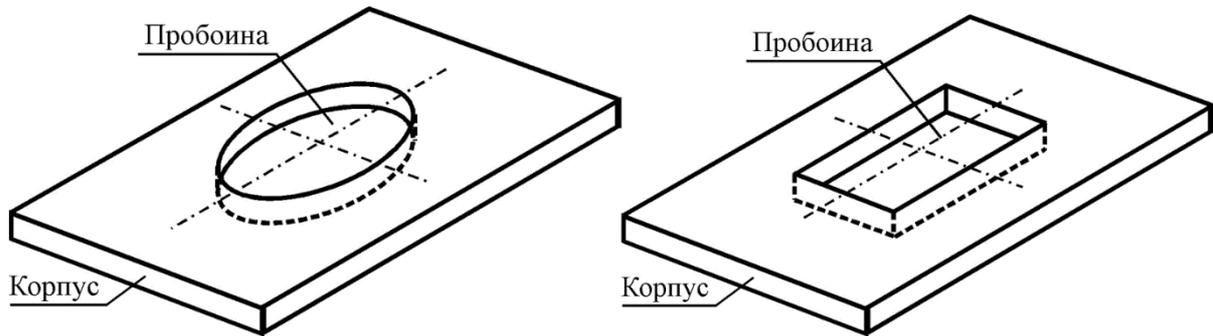
а) сварка двутавровой балки;



б) стыковое (a) и тавровое (b) соединения:

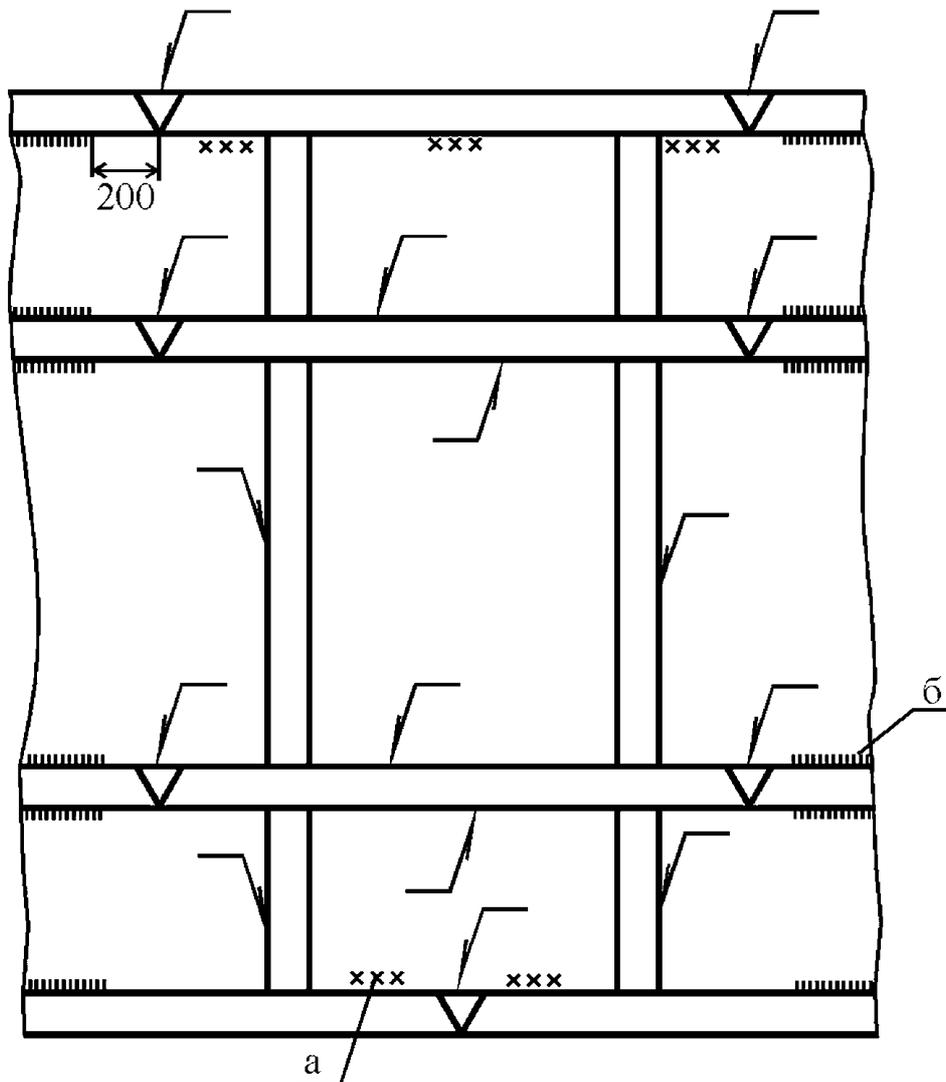


в) постановка и сварка заплаты при наличии пробоины (отверстия) в корпусе:

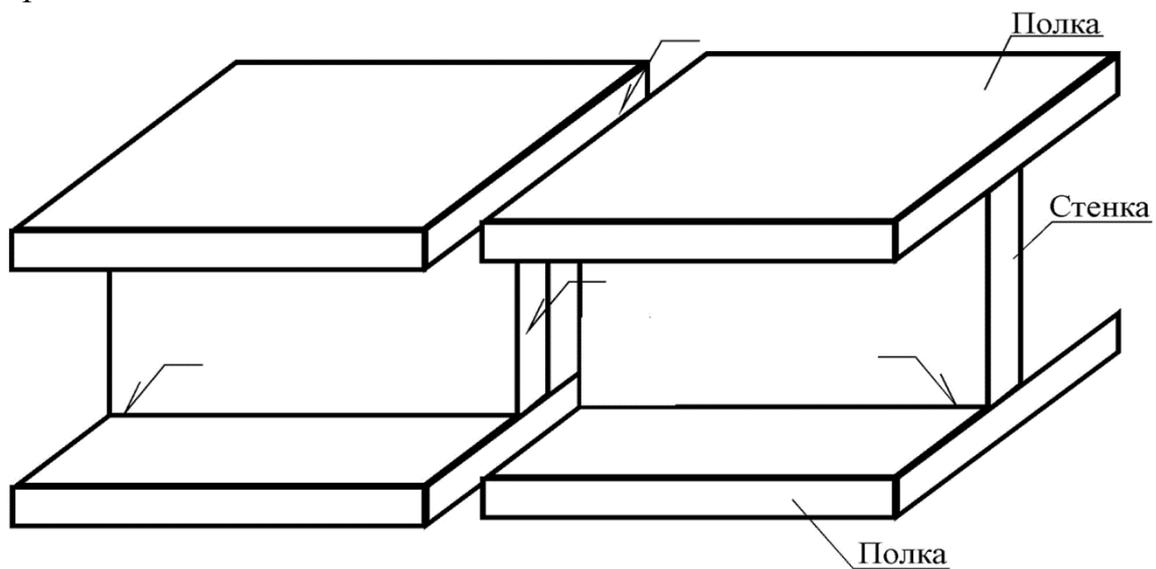


г) заварить стыковое соединение при $\delta=5$ мм длиной 5 м: ручной электродуговой сваркой; автоматической сваркой под слоем флюса;

д) указать порядок расположения сварных швов: *а* – прихватка; *б* – старые сварные швы;

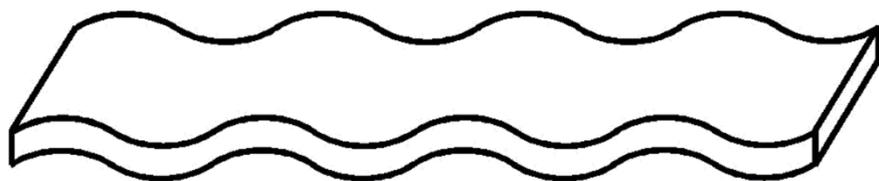


е) устранить неправильное расположение сварных соединений и сварных швов:

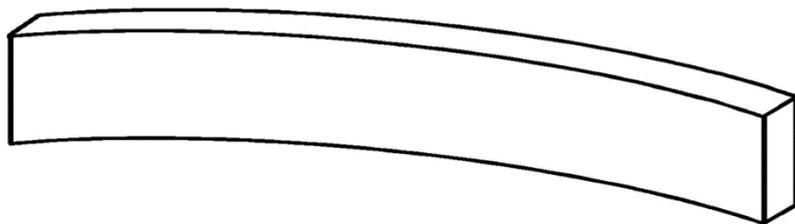


3. Указать места нагрева и способ нагрева конструкции при правке:

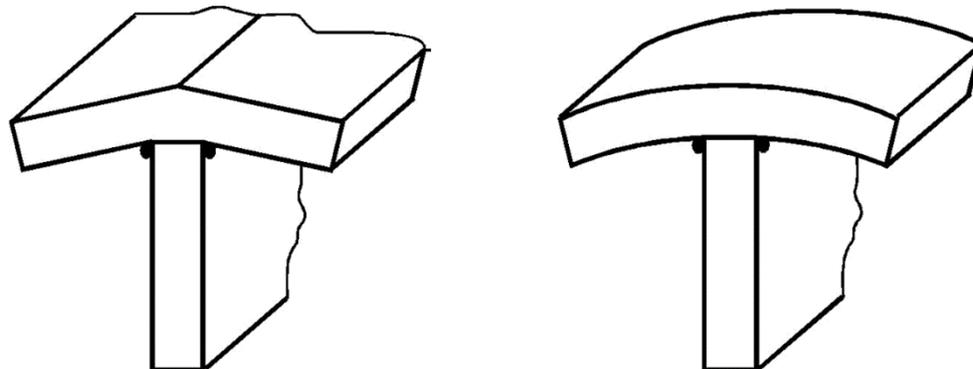
а) волнистости листа



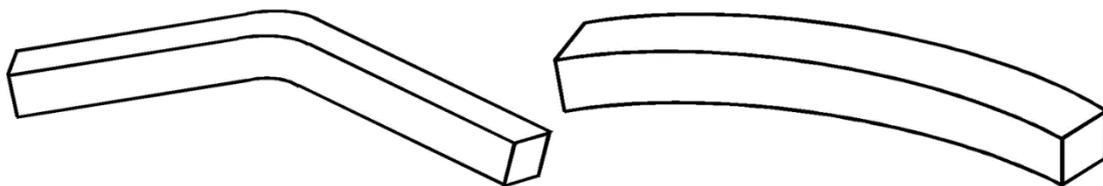
б) саблевидности



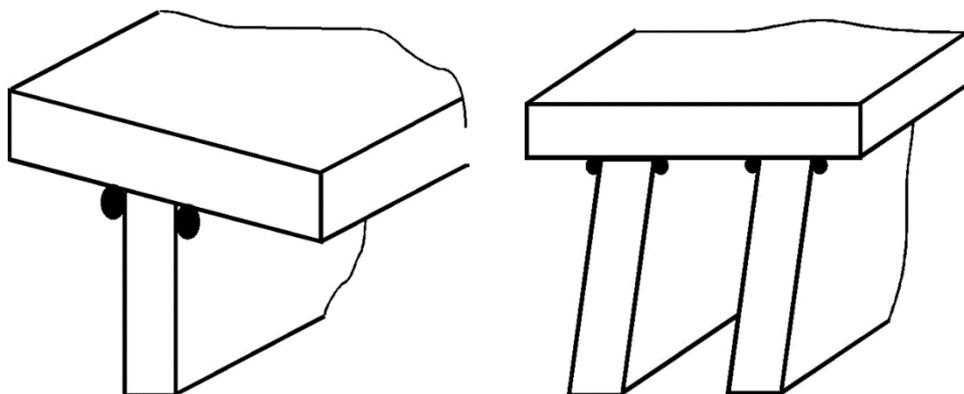
в) грибовидности



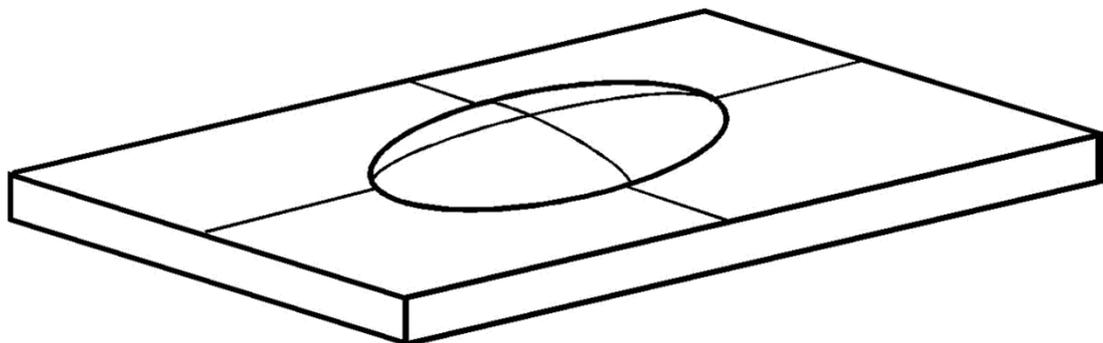
г) выгиба различной кривизны



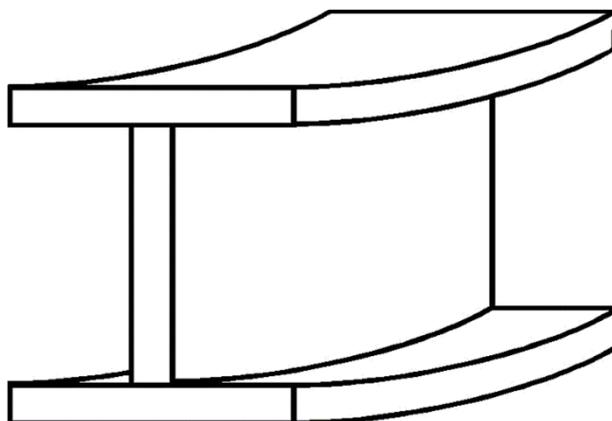
д) перекоса ребер и полок



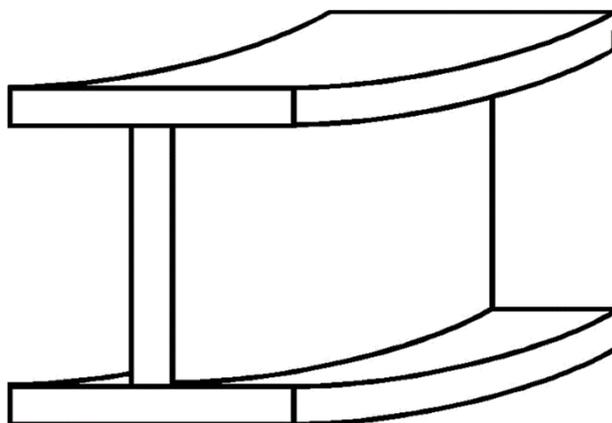
е) выпучин листа



ж) выгиба двутавровой балки нагревом полосы



з) выгиба двутавровой балки нагревом клиньев



Контрольные вопросы и задания

1. Назовите источники сварочных напряжений.
2. В чем причина сварочных деформаций?
3. Какова зависимость остаточных напряжений от температуры нагрева стали?
4. Перечислите мероприятия, снижающие сварочные напряжения и деформации.
5. Сформулируйте особенности термической правки конструкций.
6. Перечислите методы правки конструкций.
7. Какое воздействие оказывают сварочные напряжения на стальные конструкции?
8. Какова причина возникновения сварочных напряжений?
9. В чем причина усадки жидкого металла при затвердевании?
10. На что влияет неравномерность нагрева металла?
11. Почему при закалке стали образуются закалочные трещины?
12. Что является источником сварочных деформаций?
13. Как температура нагрева стали влияет на предел текучести стали?
14. Пересечение какого количества сварочных швов допускается в одной точке?
15. Для чего создают искусственную деформацию, обратную по знаку ожидаемой от сварки?
16. Как уменьшить зону разогрева сварного соединения при сварке?
17. В чем сущность обратноступенчатого способа наложения шва?
18. Как в сварном соединении создать напряжение сжатия?
19. Для чего после сварки применяют отпуск при 650...680 °С?
20. Для чего применяют сварку в приспособлениях?
21. Перечислите виды остаточных деформаций в сварных конструкциях.

22. Какие источники нагрева применяются при правке сварных конструкций?
23. Какая температура местного нагрева необходима при правке сварных конструкций?
24. Как контролировать температуру нагрева при правке?
25. Допускается ли правка сварных конструкций сварочной дугой?
26. Можно ли охлаждать водой нагретый металл после правки?
27. Сколько раз допускается повторный нагрев одних и тех же участков после полного остывания металла?
28. В чем сущность правки саблевидности нагревом клиньев?
29. В чем сущность правки нагревом полосы?
30. В чем сущность правки выпученной листовой стали?
31. Правка саблевидности нагревом выполняется с выпуклой или вогнутой стороны?
32. Что больше: пластические деформации укорочения на этапе нагрева сварного соединения или пластические деформации удлинения на этапе остывания?
33. Допускается ли термомеханическая правка проколачиванием нагретого металла кувалдой через гладилку?
34. Почему термически упрочненные стали при правке нагревают до температуры ниже 700 °С?
35. Для чего применяют термокарандаши?
36. Для чего в листовых конструкциях применяют подогрев кромок под сварку?

Лабораторная работа № 4

СКОРОСТЬ ОХЛАЖДЕНИЯ МЕТАЛЛА ЗОНЫ ТЕРМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ

Цели лабораторной работы – ознакомиться с выбором режима механизированной и автоматизированной сварки низколегированных мостовых сталей с учетом требуемых скоростей охлаждения металла шва и зоны термического влияния, освоить расчет скорости охлаждения металла сварного соединения в субкритическом интервале температур.

Строение зоны термического влияния сварного соединения

Основные виды низколегированных мостовых сталей и их механические свойства приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1. Механические свойства мостовых сталей

Марка стали	Класс стали	Толщина металла, мм	Прочность на растяжение, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %
16Д	С 38/23	4...60	375...510	215...235	26
10ХСНД	С 52/40	16...40	510...670	390	19
15 ХСНД	С 46/33	8...50	470...685	335...390	19...21
14Г2АФД	С 52/40	4...50	550	400	20
15Г2АФДпс	С 52/40	4...32	550	400	19

В процессе сварки затвердевший металл сварочной ванны (сварной шов) и нагретый основной металл, прилегающий к сварному шву, охлаждаются с различной скоростью, зависящей от способа сварки, режима сварки, химсостава и толщины свариваемого изделия. Область основного металла с измененной структурой, нерасплавленная и прилегающая к сварному шву, нагретая до высоких температур, называется зоной термического влияния (ЗТВ) [1, 5, 6].

Схема структурных превращений в ЗТВ приведена на рис. 4.1.

Участок неполного расплавления имеет небольшие размеры (ширина участка 0,1...0,4 мм) и состоит из частично оплавленных зерен основного металла. Из-за высокого перегрева участок после охлаждения имеет крупнозернистую структуру и пониженную в связи с этим ударную вязкость. Температурный интервал участка – $T_C \dots T_L$. В участках неполного расплавления и перегрева вероятность возникновения трещин и разрушения конструкции в процессе эксплуатации наибольшая.

Участок перегрева находится в интервале температур $T_C \dots 1100$ °С и имеет ширину 1...3 мм. В результате высокотемпературного перегрева этот

участок характеризуется наличием крупного зерна с пониженной вязкостью металла [1, 5, 6].

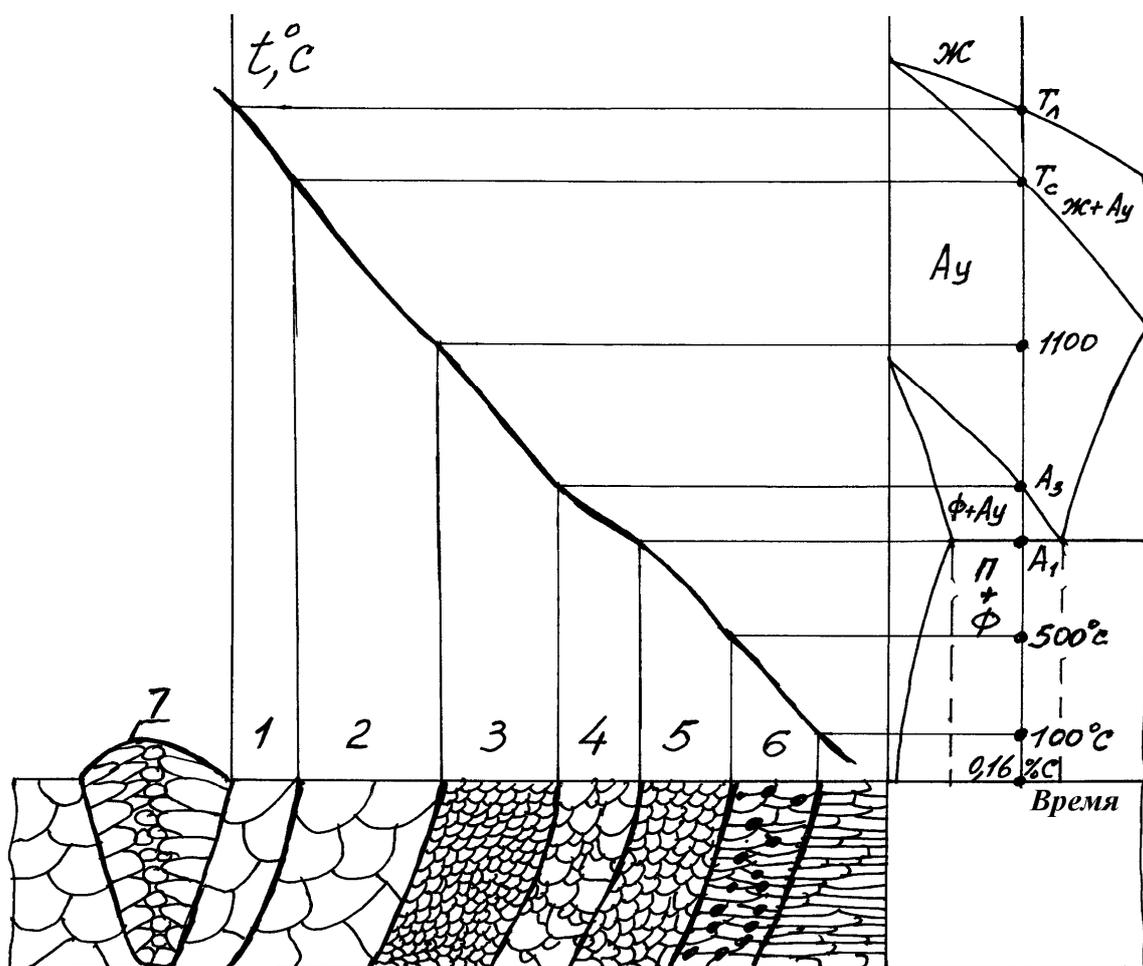


Рис. 4.1. Строение зоны термического влияния сварного соединения: 1 – участок неполного расплавления; 2 – участок перегрева; 3 – участок нормализации; 4 – участок неполной перекристаллизации; 5 – участок рекристаллизации; 6 – участок старения; 7 – сварной шов; $T_{л}$ – температура начала затвердевания (ликвидус); $T_{с}$ – температура конца затвердевания (солидус)

Участок нормализации расположен в интервале температур $1100\text{ }^{\circ}\text{C} \dots A_3$. Характеризуется мелким зерном, повышенной ударной вязкостью металла. Это наиболее благоприятный участок с точки зрения работоспособности сварного соединения. Ширина участка лежит в пределах 1,2...4 мм.

Участок неполной перекристаллизации распределен в интервале температур $A_3 \dots A_1$. Если до сварки феррит и перлит основного металла имели крупное зерно, то после сварки в этом участке наблюдаются крупные и мелкие зерна из-за неполной перекристаллизации структуры (перлит перекристаллизуется, а феррит нет). Ширина участка около 1 мм.

Участок рекристаллизации расположен в интервале температур $A_1 \dots 500$ °С. Если сварке подвергалась деформированная сталь, то в этом участке наблюдается ее разупрочнение из-за рекристаллизации. Ширина участка 1,5...2 мм.

Участок старения имеет температурный интервал 500...100 °С. При пониженном содержании углерода в стали (менее 0,1%) и ее медленном охлаждении наблюдается понижение ударной вязкости стали вследствие выделения по границам зерен феррита мелкодисперсных химических соединений.

Размеры участков с неудовлетворительными механическими свойствами можно уменьшить, увеличив скорости охлаждения стали в ЗТВ. Это достигается при сварке концентрированными источниками нагрева, на повышенных скоростях, с использованием теплоотводящих подкладок и накладок, с охлаждением защитного газа. Использование повышенной скорости охлаждения металла в ЗТВ сварного соединения при сварке низколегированных сталей может привести к образованию закалочных структур и связанных с ними закалочных трещин [1, 5, 6].

Диаграмма распада аустенита при непрерывном охлаждении

На рис. 4.2 кривые 1 и 2 представляют собой соответственно начало и конец распада аустенита на механические смеси феррита и цементита: перлит, сорбит, троостит, бейнит. Эти структуры не вызывают образования закалочных трещин [1, 4, 5, 6].

Температуры M_H , M_K – соответственно начало и конец превращения аустенита в мартенсит. T_m – температура минимальной устойчивости аустенита.

Кривые V_1 , V_{KP} , V_2 – различные скорости охлаждения детали.

Причиной образования закалочных трещин в металле шва и в ЗТВ является превращение аустенита в мартенсит, который имеет повышенный удельный объем ($V_M=0,127$ см³/г) по сравнению с аустенитом ($V_{Ay}=0,122$ см³/г), низкую прочность, пластичность и повышенную скорость охлаждения в интервале $M_H \dots M_K$.

Условие закалки стали: скорость охлаждения детали $V_{ОХЛ.ДЕТ}$ должна быть больше критической скорости закалки стали V_{KP} или равна ей. Поэтому, чтобы не произошла закалка шва и ЗТВ сварного соединения и не образовались в них закалочные трещины, необходимо, чтобы скорость охлаждения детали была меньше критической скорости закалки стали и пересекала кривые 1 и 2 диаграммы распада аустенита при непрерывном охлаждении V_1 .

Согласно технологии механизированной и ручной сварки при заводском изготовлении стальных конструкций мостов [5, 6], режимы сварки

должны назначаться с учетом класса прочности и марки стали, толщины металла, типа соединения и параметров разделки кромок.

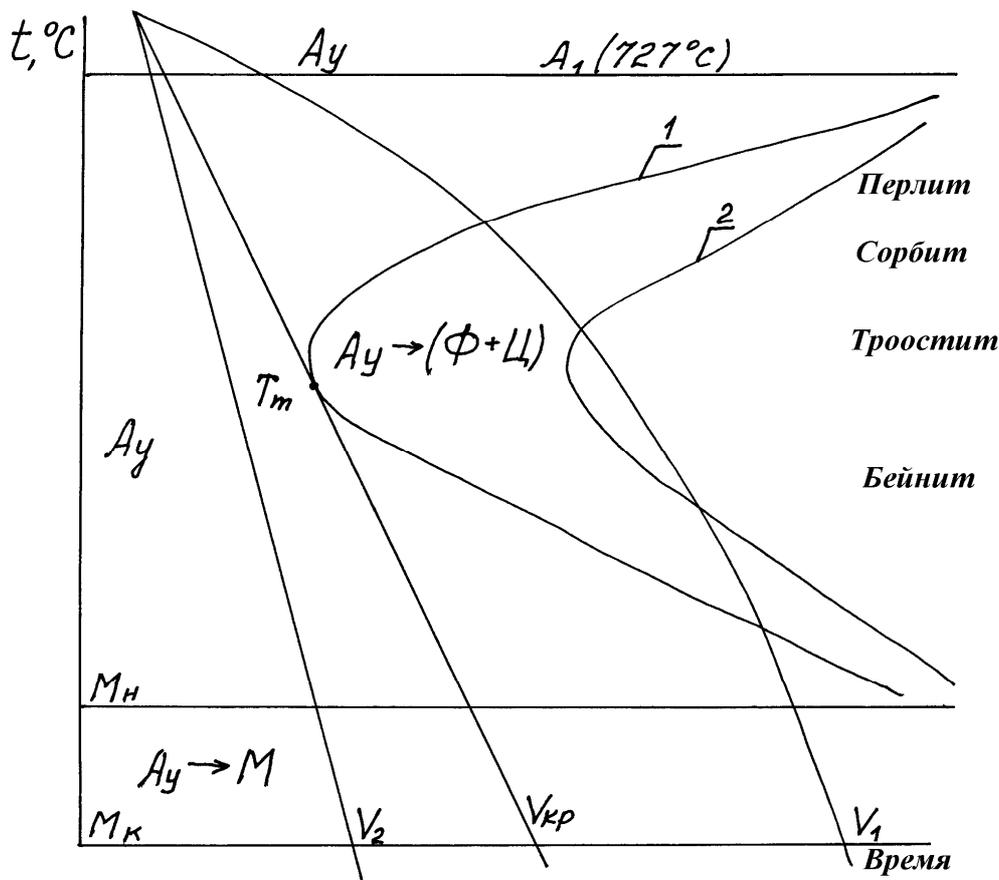


Рис. 4.2. Диаграмма распада аустенита при непрерывном охлаждении:
 Ау – аустенит; М – мартенсит

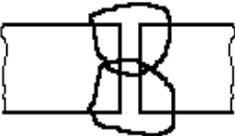
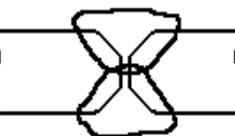
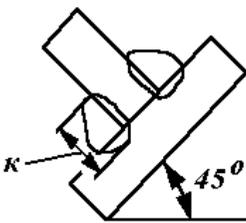
При этом должны соблюдаться следующие условия: скорость охлаждения ω металла шва и ЗТВ в субкритическом интервале температур рекомендуется выдерживать в следующих пределах:

- для низколегированной стали класса С 46/33 $\omega = 8...15 ^\circ\text{C}/\text{с}$;
- для низколегированной стали класса С 52/40 $\omega = 15...25 ^\circ\text{C}/\text{с}$;
- для углеродистых сталей класса С 38/23 скорость охлаждения не регламентируется.

При многопроходной сварке низколегированных сталей скорость охлаждения может быть увеличена на 25% от рекомендуемой, но не более чем до $40 ^\circ\text{C}/\text{с}$.

При односторонней двухсторонней сварке стыковых соединений без скоса кромок из низколегированной стали толщиной $8...16$ мм скорость охлаждения стали может быть уменьшена до $4,5 ^\circ\text{C}/\text{с}$ при условии, что сварной шов со второй стороны накладывается после полного охлаждения металла, нагретого при сварке первой стороны [1, 5, 6].

Таблица 4.2. Режимы автоматической сварки под флюсом

Форма поперечного сечения шва	Толщина металла, мм	Число проходов	Параметры режима				Марка стали
			J_{CB}, A	$U_{Д}, B$	$V_{CB}, м/ч$	$V_{П.М}, м/ч$	
	10	2	650...700	32...34	29...32	49...55	10ХСНД 15ХСНД 16Д
	12	2	700...750	32...34	29...32	55...61	
	14	1	750...800	32...34	26...29	66,5...61	
		1	750...800	34...36	26...29	61...66,5	
	16	1	800...850	34...36	22...26	68...66,5	
		1	750...800	36...38	22...26	61...66,5	
	32	1	700...750	34...36	18...20,5	55...61	10ХСНД 15ХСНД 16Д
		1	750...800	34...36	22...26	61...66,5	
	40	1	700...750	36...38	18...20,5	55...61	
		1	750...800	36...38	22...26	61...66,5	
	$k=6$	2	650...700	26...28	40...47	49...55	10ХСНДА 15ХСНДА 16Д
	8	2	650...700	28...30	29...32	49...55	
	10	2	700...750	30...32	23...27	55...61	
	12	2	700...750	32...34	18...22	55...61	

Расчет скорости охлаждения металла шва и ЗТВ рекомендуется проводить по методике, изложенной ниже [1, 5, 6].

Расчет скорости охлаждения металла зоны термического влияния в субкритическом интервале температур

Расчет выполняется по следующей методике:

1. По диаграмме изотермического распада аустенита для свариваемой стали устанавливается средняя температура интервала наименьшей устойчивости аустенита T_m . Допускается принимать: для стали 16Д $T_m=500$ °С, для сталей 15ХСНД, 10ХСНД $T_m=520$ °С.

2. По табл. 4.2 выбирается режим сварки, по параметрам режима рассчитывается эффективная тепловая мощность сварочной дуги:

$$q=0,24 \cdot J_{CB} \cdot U_D \cdot \eta,$$

где J_{CB} – сварочный ток, А; U_D – напряжение на дуге, В; η – эффективный КПД процесса нагрева металла сварочной дугой (определяется из табл. 4.3).

Таблица 4.3. Значения КПД процесса нагрева

Ручная сварка металлическим электродом		Автоматическая сварка под слоем флюса АНЗ48А или ОСЦ45	
наплавка на плоскость	угловое соединение или первый слой стыкового соединения	наплавка на плоскость	угловое или стыковое соединение с разделкой кромок
0,7...0,75	0,75...0,8	0,8...0,85	0,85...0,9

3. Определение значения погонной энергии q_{II} :

$$q_{II}=q/V_{CB},$$

где V_{CB} – скорость сварки, см/с (см. табл. 4.2).

В табл. 4.4 для справок приведен химический состав мостовых сталей, а в табл. 4.5 – скорость охлаждения сталей.

4. Определение среднего значения безразмерного критерия:

$$\frac{1}{\theta} = \frac{2 \cdot q / V_{CB}}{\pi \cdot C \cdot \gamma \cdot \delta^2 \cdot (T_m - T_0)},$$

где C – удельная теплоемкость, кал/г·°С; γ – плотность металла, г/см³ (для углеродистых сталей $C \cdot \gamma=1,15...1,3$ кал/°С·см³, для низколегированных сталей $C \cdot \gamma=1,25$ кал/°С·см³); δ – толщина свариваемого металла, см; T_0 – начальная температура свариваемого металла, °С.

Таблица 4.4. Химический состав мостовых сталей

Марка стали	Массовая доля элементов, %								
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	P	S	V
16Д	0,1...0,18	0,12...0,25	0,4...0,7	До 0,3	До 0,3	0,2...0,35	не более 0,035 0,04		–
15ХСНД	0,2...0,18	0,4...0,7	0,4...0,7	0,6...0,9	0,3...0,6	0,2...0,4	0,035	0,035	–
10ХСНД	До 0,12	0,8...1,1	0,5...0,8	0,6...0,9	0,5...0,8	0,4...0,06	0,035	0,035	–
14Г2АФД	0,12...0,18	0,3...0,6	1,2...1,6	До 0,4	До 0,3	0,15...0,3	0,035	0,035	0,07...0,12
15Г2АФДпс	0,12...0,18	До 0,17	1,2...1,6	До 0,3	До 0,3	0,2...0,4	0,035	0,035	0,08...0,15

Таблица 4.5. Скорость охлаждения сталей (°C/c)

Охлаждающая среда	Интервал	
	727...500 °C	$M_H...M_K$
Вода техническая, $t=20$ °C	600	270
Минеральное масло	150...200	30...20
Воздух спокойный	30	10
Сплав 75% Sn + 25% Cd	450	50

При этом вместо q/V_{CB} и δ подставляются приведенные их значения, полученные умножением q/V_{CB} и δ на коэффициенты, указанные в табл. 4.6. Данные коэффициенты учитывают конструктивную форму соединения.

Таблица 4.6. Коэффициенты приведения

Приводимая величина	Конструктивная форма соединения		
	Первый слой V-образного соединения, высота слоя $h=0,4 \cdot \delta$	Наплавка однопроходная, сварка стыкового соединения без разделки кромок	Первый слой таврового или нахлесточного соединения
q/V_{CB}	3/2	1	2/3
δ	3/2	1	1

5. По графику на рис. 4.3 определяется значение критерия V/θ в зависимости от критерия $1/\theta$.

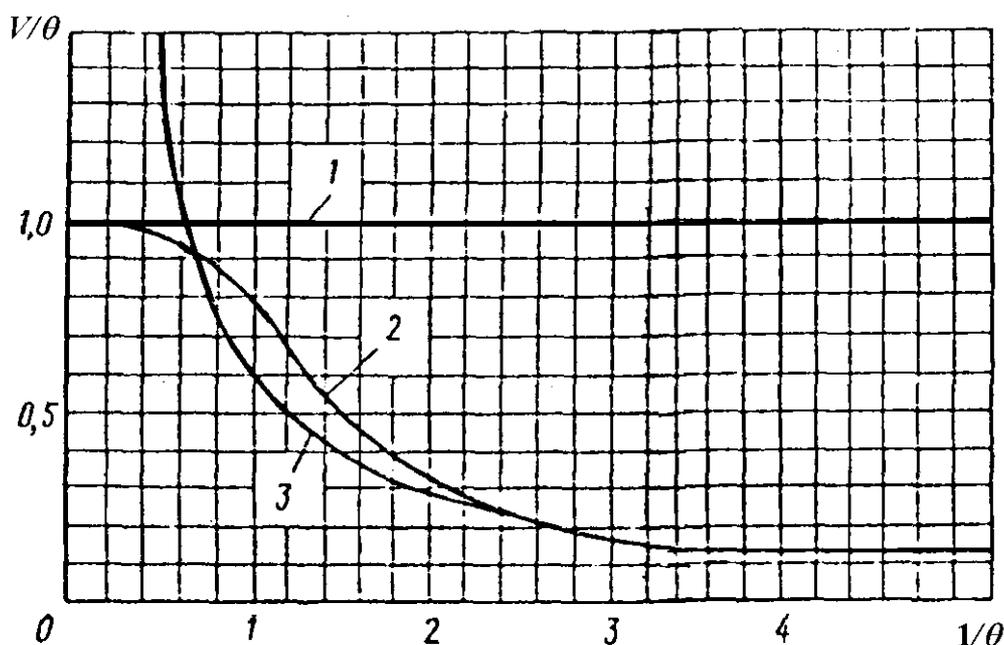


Рис. 4.3. Зависимость безразмерных критериев: 1 – полубесконечное тело; 2 – пластина конечной толщины; 3 – тонкая пластина

При однопроходной сварке встык значение V/θ определяется по кривой «тонкая пластина». Во всех других случаях сварки при наложении первого слоя шва или наплавке V/θ определяется по следующей методике:

- при $(1/\theta) \geq 2,5$ – по кривой «тонкая пластина»;
- при $0,4 \leq (1/\theta) \leq 2,5$ – по кривой «пластина конечной толщины»;
- при $(1/\theta) < 0,4$ – значение $(V/\theta)=1$, что соответствует «полубесконечному телу».

«Полубесконечное тело» с одной стороны ограничено плоскостью, которая влияет на распределение тепла, а остальные граничные поверхности достаточно удалены от источника тепла и наличие их не сказывается на распределении тепла по изделию (при наплавке валика на поверхность массивного тела) [1, 5, 6].

Пластина – плоский слой небольшой толщины, в котором температура по толщине может считаться выровненной (при сварке со сквозным проплавлением).

Знак «минус» у критерия V/θ означает охлаждение металла.

6. Определяется скорость охлаждения околошовной зоны при температуре T_m :

$$\omega = \frac{V}{\theta} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot (T_m - T_0)^2}{q / V_{CB}},$$

где λ – коэффициент теплопроводности, кал/°С·с, для углеродистых и низколегированных сталей в интервале температуры нагрева при сварке составляет 0,09...0,095 кал/см·°С·с.

Если значение $(1/\theta) > 5$, то скорость охлаждения определяется по зависимости

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot C \cdot \gamma \cdot (T_m - T_0)^2}{\left(\frac{q}{V_{CB}} - \delta \right)^2}.$$

7. Полученная скорость охлаждения металла шва и ЗТВ сварного соединения ω сравнивается с рекомендуемыми значениями для данного класса стали. Если расчетное значение скорости охлаждения превышает рекомендуемое, то режим сварки корректируют в сторону увеличения погонной энергии сварочной дуги [1, 5, 6].

Порядок выполнения работы

Лабораторная работа выполняется в следующей последовательности:

1. Зарисовать строение ЗТВ сварного соединения (см. рис. 4.1) и дать характеристику участков.

2. Зарисовать диаграмму распада аустенита при непрерывном охлаждении (см. рис. 4.2).

3. Рассчитать скорость охлаждения металла сварного соединения для режима, выбранного в табл. 4.2 по указанию преподавателя. Сравнить расчетную скорость охлаждения с рекомендуемой и при необходимости откорректировать режим сварки и скорость охлаждения металла ЗТВ.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие процессы происходят в свариваемом твердом (не расплавленном) металле в результате термического цикла, сопровождающего выполнение сварки?

2. Расскажите об основных закономерностях формирования размера и состава зерен высокотемпературной фазы по ходу термического сварочного цикла.

3. Какие расчетные методы применяются для определения скорости охлаждения металла при различных температурах?

4. Какие характерные структуры различных участков зоны термического влияния получаются при сварке плавлением горячекатаной низкоуглеродистой стали?

5. В чем заключаются особенности структуры и свойств зоны термического влияния при сварке холоднодеформированной (наклепанной) низкоуглеродистой стали?

6. Опишите основные зависимости устойчивости и распада аустенита при изотермической выдержке ниже критической температуры и при непрерывном охлаждении.

7. Опишите особенности термического воздействия на металл при выполнении сварных соединений многослойными швами.

8. Какие конечные структуры в зоне термического влияния закаливаемых сталей получаются при их сварке многослойными швами?

9. Какие причины вызывают образование холодных трещин в сварных соединениях различных металлов и сплавов?

10. Опишите причины и особенности изменения деформационной способности сталей по мере изменения температур на ветви нагрева и охлаждения при термическом режиме сварочной операции.

11. Дайте характеристику поведения водорода в сварных соединениях различных сталей и опишите его влияние на образование холодных трещин в сварных соединениях сталей.

12. В чем заключаются основные методы борьбы с образованием холодных трещин в сварных соединениях, закаливаемых при сварке сталей?

13. Какие меры борьбы с деформационными трещинами в сварных соединениях сталей, свариваемых многослойными швами, вам известны?

14. Какая термическая обработка применяется для сварных конструкций из углеродистых и легированных сталей?

Библиографический список

1. Куликов, В.П. Технология сварки плавлением и термической резки [Электронный ресурс] : учебник / В.П. Куликов. – Электрон. дан. – Минск : Новое знание, 2016. – 463 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/74037>, свободный после авторизации. – Загл. с экрана (дата обращения : 22.12.2018).
2. ГОСТ 9087–81. Флюсы сварочные плавные. – Введ. 1981–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 1998. – 10 с.
3. ГОСТ 8713–79. Сварка под флюсом. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры. – Введ. 1981–01–01. – М. : Стандартиформ, 2007. – 38 с.
4. Зорин, Н.Е. Материаловедение сварки. Сварка плавлением [Электронный ресурс] : учебное пособие / Н.Е. Зорин, Е.Е. Зорин. – Электрон. дан. – СПб. : Лань, 2018. – 164 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/102605>, свободный после авторизации. – Загл. с экрана (дата обращения : 22.12.2018).
5. Зорин, Е.Е. Лабораторный практикум: электродуговая, контактная сварка и контроль качества сварных соединений [Электронный ресурс] : учебное пособие / Е.Е. Зорин. – Электрон. дан. – СПб. : Лань, 2017. – 160 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/93714>, свободный после авторизации. – Загл. с экрана (дата обращения : 22.12.2018).
6. Технология и оборудование сварки : лабораторный практикум / сост. : М.Я. Швец, В.П. Делис, В.И. Матюхин, В.В. Акимов, В.В. Евстифеев, М.С. Корытов, А.Ф. Мишуров. – Омск : СибАДИ, 2014. – 55 с.