

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет
(СибАДИ)»

ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

Лабораторный практикум

Составители: М.С. Корытов, И.М. Князев



Омск • 2021

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.

Рецензенты:

канд. техн. наук, доц. В.А. Лисин (СибАДИ);
канд. техн. наук, доц. М.А. Гольчанский (СибАДИ)

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

Т38 Технология восстановления деталей [Электронный ресурс] : лабораторный практикум / сост. : М.С. Корытов, И.М. Князев. – Электрон. дан. – Омск : СибАДИ, 2021. – URL: http://bek.sibadi.org/cgi-bin/irbis64r_plus/cgiirbis_64_ft.exe. – Режим доступа: для авторизованных пользователей.

Рассматриваются технологии и оборудование для восстановления изношенных поверхностей деталей при помощи методов сварки и наплавки: ручной дуговой покрытыми электродами, под флюсом, в защитном углекислом газе, плазменной, а также методика выбора рационального метода восстановления.

Имеет интерактивное оглавление в виде закладок.

Предназначен для обучающихся всех форм обучения по специальности 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства», направлениям 23.03.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы», 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов».

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

Текстовое (символьное) издание (1,8 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 первое. Дата подписания к использованию 17.09.2021
Издательско-полиграфический комплекс СибАДИ. 644080, г. Омск, пр. Мира, 5
РИО ИПК СибАДИ. 644080, г. Омск, ул. 2-я Поселковая, 1

© ФГБОУ ВО «СибАДИ», 2021

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Технология восстановления деталей» является одной из профилирующих при подготовке студентов технических направлений и специальностей, связанных с производством, эксплуатацией и ремонтом наземных транспортно-технологических средств. Ремонтно-обслуживающая база транспортного комплекса выполняет большое количество ремонтных работ, направленных на поддержание и восстановление работоспособности транспортно-технологической техники. Повторное использование деталей с допустимым износом и восстановление изношенных деталей, узлов и механизмов, способствует успешному решению проблемы снабжения ремонтных предприятий и автохозяйств запасными частями и позволяет достичь большой экономии конструкционных и эксплуатационных материалов.

Целью лабораторного практикума является формирование профессиональных компетенций: умения выявлять и устранять неисправности, выбирать технологии восстановления деталей машин, агрегатов, узлов, технологические процессы восстановления деталей.

Восстановление деталей является одним из важных направлений проведения организационно-технических мероприятий, и способствует повышению эффективности ремонтного производства в целом.

Под восстановлением деталей понимают комплекс операций, направленных на восстановление исправного состояния изношенной поверхности детали и обеспечения срока службы детали на уровне новой или больше.

При восстановлении изношенной поверхности детали прежде всего необходимо возобновить ее первоначальные (или близкие к ним) геометрические размеры, устранить эксплуатационные дефекты, восстановить геометрическую форму, структуру и физико-механические свойства в соответствии с техническими условиями. Одним из весьма эффективных способов восстановления изношенного слоя, а также ремонта дефектов, вызванных другими причинами, являются сварка и наплавка.

В данный практикум входит 5 лабораторных работ по разделу курса «Восстановление деталей сваркой и наплавкой». В описаниях лабораторных работ приводятся краткие теоретические сведения, необходимые студентам для подготовки к самостоятельному выполнению работы, даются методические указания по выполнению работ и составлению письменных отчетов. Самостоятельное выполнение лабораторных работ способствует более полному усвоению теоретического материала, выводит на более высокий уровень инженерно-технического мышления.

Лабораторная работа № 1

РУЧНАЯ ЭЛЕКТРОДУГОВАЯ СВАРКА И НАПЛАВКА

Цель работы: ознакомление с основами технологии восстановления при помощи ручной электродуговой сварки и наплавки стали покрытыми электродами и методом определения влияния режимов сварки на величину технологических коэффициентов.

Общие сведения о ручной электродуговой сварке и наплавке покрытыми электродами

Электрическая сварочная дуга, ее характеристики

Механические повреждения в автомобильных деталях возникают при воздействии на них в процессе эксплуатации нагрузок, превышающих допустимые, а также в результате усталости металла. В деталях образуются трещины, пробоины, изломы и деформации. Часто такие повреждения появляются в элементах рамы, кузовах, коленчатых валах и многих других деталях. Кроме повреждений такого характера в стальных деталях образуются и коррозионные повреждения.

Сварка – наиболее распространенный способ восстановления деталей в авторемонтном производстве. Этим способом восстанавливают около 40% деталей. Широкое применение сварки обусловлено простотой технологического процесса и используемого оборудования, возможностью восстановления деталей из большинства применяемых в автомобилестроении металлов и сплавов, высокой производительностью и низкой себестоимостью.

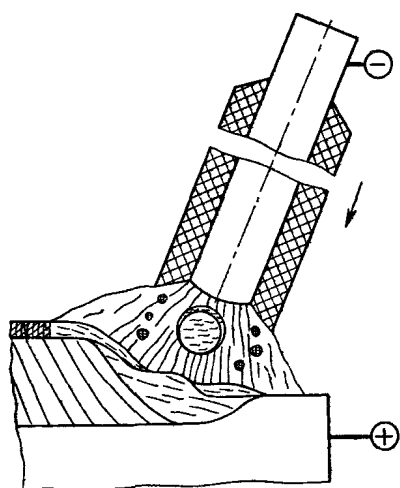


Рис. 1.1. Схема подключения источника сварочного тока при прямой полярности

Источником тепла, необходимого для расплавления металла при дуговой сварке и наплавке, является электрическая дуга – мощный стабильный электрический разряд в ионизированной атмосфере газов и паров металла [1, 2, 3, 4, 5, 6].

При ручной дуговой сварке и наплавке стали покрытыми электродами возбуждение дуги осуществляется за счет короткого замыкания электрода на изделие. Когда сварщик на мгновение касается электродом свариваемого изделия (или «чиркает» по его поверхности), происходит зажигание дуги.

Сварка и наплавка выполняются на постоянном или переменном токе. При использовании постоянного тока применяют прямую

и обратную полярность. Если минус источника питания подключается к электроду, а плюс – к изделию (рис. 1.1), то такая полярность называется прямой. Если подключение дуги выполняется наоборот, то полярность считается обратной.

При выборе полярности необходимо учитывать неравномерность распределения тепловой энергии в различных зонах дуги. Так, в зоне катода выделяется около 36% тепла, в зоне анода – примерно 43%. Остальная тепловая энергия выделяется в наиболее протяженной части дуги – столбе дуги. В этих условиях температура в зоне катода составляет около 2800–3200 К, в зоне анода – примерно 3200–3400 К, а у оси столба дуги – около 5730–7730 °С.

Если электроды предназначены для сварки на обратной полярности, надо обязательно проверить подключение: (–) на изделии, (+) на электроде, иначе дуга будет обрываться или будет происходить зашлаковка шва. Причиной этого является меньшее количество выделяемого тепла на электроде. В результате образуется козырек из покрытия, который растрескивается, а куски его попадают в жидкую ванну.

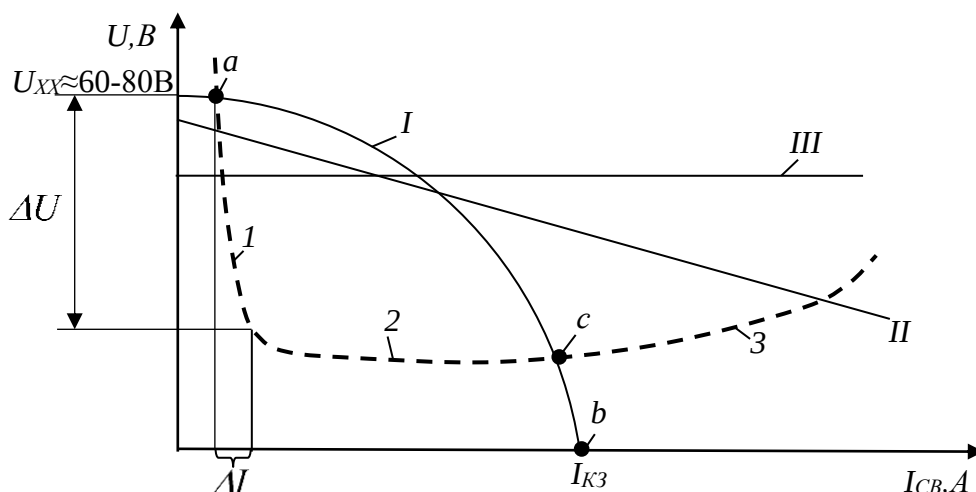


Рис. 1.2. Статическая вольт-амперная характеристика дуги (---) и внешние характеристики источников питания дуги:
I – падающая; II – пологая; III – жесткая

Одной из важнейших характеристик электрической сварочной дуги является ее статическая вольт-амперная характеристика. Это зависимость напряжения дуги от силы сварочного тока, взятая при постоянной длине дуги (рис. 1.2).

Характеристика состоит из трех участков: 1 – падающего; 2 – жесткого; 3 – возрастающего. Для ручной дуговой сварки рабочим является жесткий участок этой характеристики.

При выборе источника питания дуги необходимо знать его внешнюю характеристику. Под внешней характеристикой источника питания дуги понимают зависимость напряжения, вырабатываемого источником, от силы сварочного тока.

Источники питания сварочной дуги могут иметь падающую (I),логопадающую (II) и жесткую (III) характеристики (см. рис. 1.2).

Для питания дуги при ручной дуговой сварке необходим источник тока, имеющий падающую внешнюю характеристику (см. рис. 1.2). Здесь U_{XX} – напряжение холостого хода; точка a – точка нестабильного горения дуги, то есть дуга может при этом гореть, но нужно строго соблюдать длину дуги, что при ручной сварке практически выдержать нельзя, поэтому на этом режиме сварку не ведут. Изменение нагрузки на ΔI приводит к большим колебаниям напряжения ΔU и дуга гаснет; точка c – точка стабильного горения дуги, когда небольшие изменения нагрузки ΔI практически не меняют напряжение, то есть ΔU очень мало и дуга горит стабильно; I_{K3} (точка b) – ток короткого замыкания.

Ручная дуговая сварка и наплавка стали покрытыми электродами. Краткая характеристика процесса

Область применения процесса – восстановление сваркой и наплавкой стальных изделий с короткими и прерывистыми швами сложной конфигурации, когда применение автоматизированных процессов сварки затруднено [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Достоинствами данного вида сварки являются: 1) возможность проведения сварки в любом пространственном положении (нижнем, вертикальном, потолочном), что особенно важно при монтажных работах и сборке конструкций сложной формы; 2) универсальность по маркам свариваемых материалов.

К недостаткам ручной дуговой сварки следует отнести: 1) трудности, связанные со сваркой тонких листовых заготовок (толщиной менее 1 мм); 2) невысокую производительность; 3) значительную зависимость качества сварного шва от квалификации сварщика; 4) длительный срок обучения сварщика высокой квалификации.

Режимы ручной дуговой сварки и наплавки

Режимы ручной дуговой сварки и наплавки в виде связи между диаметром электрода d и силой сварочного тока I приведены в табл. 1.1. Длина дуги обычно составляет 0,5–1,1 от величины диаметра электрода и вручную поддерживается сварщиком на постоянном уровне.

Сварочный ток I определяется по соотношению

$$I = k d,$$

где k – опытный коэффициент (для электродов из низкоуглеродистых сталей $k = 40–60$, для электродов из высоколегированных сталей $k = 35–40$), А/мм.

Таблица 1.1. Рекомендации по выбору диаметра электрода

Толщина листа, мм	1-2	3-5	4-10	12-24 и более
Диаметр электрода, мм	2-3	3-4	4-5	5-6

Электроды для ручной дуговой сварки и наплавки

Электрод представляет собой стальной стержень с нанесенным на него покрытием. Один конец электрода на 30–40 мм очищен от покрытия для закрепления в электрододержателе.

Электрод характеризуется маркой сварочной проволоки, типом электрода, маркой электрода.

Марка сварочной проволоки содержит информацию о химическом составе стального стержня электрода, тип электрода указывает механические свойства и химический состав сварного шва, марка электрода определяет технологию сварки.

Марка сварочной проволоки обозначается буквами «Св» (сварочная) и следующими далее цифрами и буквами. Первые две цифры показывают содержание углерода в сотых долях процента. Буква «А» в конце марки сварочной проволоки означает пониженное содержание вредных примесей (серы и фосфора). Содержание легирующих элементов в марке сварочной проволоки задается так же, как в марках легированных сталей: вначале указывается буква, обозначающая название легирующего элемента, затем – среднее содержание этого элемента в целых процентах. Если после буквы соответствующего легирующего элемента цифра отсутствует, то содержание легирующего элемента составляет 1–1,5%. Буквы в марках сварочной проволоки из легированных сталей обозначают наличие следующих легирующих элементов: «Х» – хрома, «Н» – никеля, «М» – молибдена, «В» – вольфрама, «К» – кобальта, «Г» – марганца, «С» – кремния, «Ф» – ванадия, «Т» – титана, «Д» – меди, «Ю» – алюминия и т. д.

Примеры маркировки стальной сварочной проволоки: *Св-08* – содержание углерода 0,08% (сталь качественной выплавки); *Св-08А* – содержание углерода 0,08% (сталь высококачественной выплавки с пониженным содержанием вредных примесей серы и фосфора); *Св-08Г2С* – содержание углерода 0,08%, марганца – 2%, кремния – 1%; *Св-10Х13* – содержание углерода 0,1%, хрома – 13%; *Св-04Х19Н9С2* – содержание углерода 0,04%, хрома – 19%, никеля – 9%, кремния – 2%.

Для ручной дуговой сварки и наплавки применяют стальные стержни из сварочной проволоки. На них наносится покрытие, обеспечивающее стабильное горение дуги. В состав покрытия входят вещества:

- *газообразующие* – неорганические (мрамор, магнезит и др.) и органические (крахмал, древесная мука, целлюлоза, декстрин и др.) вещества;
- *шлакообразующие* – руды (титановая и марганцевая руда), различные минералы (полевой и плакиковый шпаты, гранит, кремнезем и др.);
- *раскислители* (кремний, марганец) и легирующие вещества (Ti, Cr, Ni и др.);
- *связующие* – водный раствор жидкого стекла;
- *формовочные добавки* – они придают покрытию повышенную пластичность (бетонит, каолин, декстрин, слюда и др.).

Для устойчивого горения дуги в покрытие также вводят вещества с низким потенциалом ионизации (соли щелочных металлов, калиевое и натриевое жидкое стекло и др.).

Таблица 1.2. Классификация электродов для ручной дуговой сварки

Тип электрода	Относительное удлинение, %	Назначение
Э70 Э85 Э100 Э125 Э150	14 12 10 8 6	Сварка легированных конструкционных сталей повышенной и высокой прочности с временным сопротивлением $\sigma_s > 600$ МПа
Э55 Э60	20 18	Сварка углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с $\sigma_s \leq 600$ МПа
Э38 Э42 Э46 Э50	14 18 18 16	Сварка углеродистых и низколегированных сталей с $\sigma_s \leq 500$ МПа
Э42А Э46А Э50А	22 22 20	Сварка углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с повышенными требованиями к пластичности и ударной вязкости
ЭН-У30Х28С4Н4-50	Твердость слоя HRC = 50	Для наплавочных работ и относительно высокой ударной вязкости наплавки

Все электроды для ручной сварки можно разделить на следующие группы:

В – для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами (49 типов);

Л – для сварки легированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву свыше 600 МПа (5 типов);

Т – для сварки легированных теплоустойчивых сталей (9 типов);

У – для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву: а) $\sigma_s \leq 600$ МПа; б) $\sigma_s > 600$ МПа;

М – для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами (44 типа).

Пример марки электродов: ЭН-У30Х28С4Н4-50. В приведенной марке наплавочных электродов имеется повышенное содержание углерода У30 в десятых долях %, цифра в конце (50) – твердость слоя по Роквеллу.

В табл. 1.2 приведена классификация электродов для ручной дуговой сварки.

Технологические коэффициенты при ручной дуговой сварке и наплавке стали

При выборе оптимальных режимов ручной сварки и наплавки проводится расчет технологических коэффициентов, определяющих технико-экономические показатели сварки и наплавки: 1) коэффициент расплавления; 2) коэффициент наплавки; 3) коэффициент потерь электродного металла.

Коэффициент расплавления представляет собой массу электродного металла в граммах, расплавленного за 1 ч горения дуги, отнесенную к силе тока:

$$\alpha_P = \frac{Q_P \cdot 3600}{I_{CB} \cdot t},$$

где Q_P – масса расплавленного металла электрода, г; I_{CB} – сила сварочного тока, А; t – время сварки, с.

Массу расплавленного электрода определяют по формуле

$$Q_P = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \gamma (l_1 - l_2) = \mu \cdot (l_1 - l_2),$$

где d – диаметр стального стержня электрода, см; γ – удельная масса металла электрода, г/см³; $\mu = (\pi \cdot d^2 \cdot \gamma) / 4$ – масса одного погонного сантиметра стержня, г; l_1 – длина электрода до сварки, см; l_2 – длина огарка, см. Для стержня диаметром $d=4$ мм масса погонного сантиметра стержня $\mu=0,98$ г/см.

Коэффициент наплавки показывает количество металла электрода в граммах, наплавленного на свариваемое изделие за 1 ч горения дуги, отнесенное к силе тока:

$$\alpha_H = \frac{Q_H \cdot 3600}{I_{CB} \cdot t},$$

где Q_H – масса наплавленного на изделие металла, г; I_{CB} – сила сварочного тока, А; t – время сварки, с.

Масса наплавленного металла Q_H определяется путем взвешивания изделия (пластины, на которую наплавляется металл) до и после сварки:

$$Q_H = G_1 - G_2,$$

где G_1 – масса пластины до сварки, г; G_2 – масса пластины после сварки, г.

Перед взвешиванием пластины необходимо удалить шлак с поверхности сварного шва. Во время удаления шлака необходимо пользоваться защитными очками и голицами.

Коэффициент потерь электродного металла представляет отношение металла, потерянного при сварке на окисление, разбрызгивание и испарение, ко всей массе расплавленного металла электрода:

$$\psi = \frac{Q_P - Q_H}{Q_P} \cdot 100\%,$$

где Q_P – масса расплавленного металла электрода, г; Q_H – масса наплавленного на изделие металла электрода, г.

Для правильного выбора режимов сварки нужно учитывать значимость указанных выше коэффициентов. По значимости коэффициенты можно различить следующим образом:

1. Коэффициент наплавки α_H (определяет произвольность процесса сварки). Чем больше значение α_H , тем меньше основное время сварки, так как

$$t_o = \frac{3600 \cdot Q_H}{I_{CB} \cdot \alpha_H},$$

где t_o – основное время сварки (когда горит дуга).

2. Коэффициент потерь ψ . Чем меньше потери, тем лучше режим сварки.

3. Коэффициент расплавления α_P . Необходимо помнить, что α_H и α_P зависят друг от друга, поэтому часто используется при расчетах режимов сварки именно α_P .

Определение технологических коэффициентов и выбор оптимального режима сварки

Оборудование, инструмент и приспособления для проведения экспериментальной части лабораторной работы

1. Сварочный пост для ручной дуговой сварки и наплавки. 2. Источник питания сварочной дуги. 3. Аналитические весы. 4. Масштабная линейка. 5. Сварочные электроды. 6. Стальные пластины (под наплавку). 7. Защитные маски, защитные очки. 8. Слесарный инструмент (молоток, зубило). 9. Плоскогубцы. 10. Секундомер.

Наплавку образцов выполняет учебный мастер, остальные операции по взвешиванию, измерению и расчету технологических коэффициентов проводят студенты.

Порядок выполнения экспериментальной части работы

К работе допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности:

1. Ознакомиться с содержанием теоретической части работы и составить краткий конспект.
2. Наметить электроды и пластины для каждой наплавки. Эксперименты по наплавке проводятся с использованием электродов одинакового диаметра и марки при трех значениях сварочного тока.
3. Измерить длину каждого электрода и взвешиванием определить массу каждой пластины до наплавки.
4. Произвести наплавку всех пластин на выбранных режимах (эту операцию производит учебный мастер, прошедший аттестацию по дуговой сварке).
5. Измерить длину полученных после наплавки огарков электродов.
6. После наплавки взять плоскогубцами пластину и, охладив наплавленные швы под краном проточной холодной водой, после просушки пластины ударами слесарного инструмента (молотка или зубила) удалить с поверхности пластины шлак и брызги застывшего металла.
7. Взвешиванием определить массу пластины после наплавки.
8. Произвести расчет технологических коэффициентов при использованных режимах сварки, данные занести в табл. 1.3.

Таблица 1.3. Результаты эксперимента

Но- мер опыта	I, A	t, c	Длина электрода, см		$Q_P, г$	Масса пластины, г		$Q_H, г$	$\alpha_P, г/А·ч$	$\alpha_H, г/А·ч$	$\psi, \%$
			l_1	l_2		G_1	G_2				
1											
2											
3											

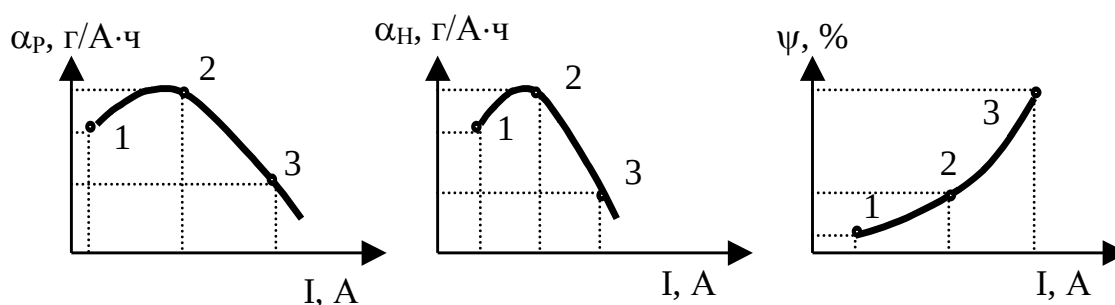


Рис. 1.3. Графики зависимости технологических коэффициентов от силы сварочного тока

9. На основании экспериментальных данных построить графики зависимости технологических коэффициентов от силы сварочного тока. Форма кривых будет иметь вид, подобный изображенным на рис. 1.3.

10. Сделать вывод о том, какой из изученных режимов является оптимальным. Помня значимость коэффициентов и анализируя графики, можно сказать, что режим сварки будет тем лучше, чем больше значение α_H и меньше значение ψ . Судя по приведенным графикам, это режим точки 2. При некотором росте ψ значение α_H будет максимально.

11. Защита работы тестированием.

Контрольные вопросы и задания

1. В чем сущность электрической сварочной дуги?
2. Что такое статическая вольт-амперная характеристика дуги?
3. Что такое внешняя характеристика источника питания электрической дуги?
4. Какой должна быть внешняя характеристика источника питания дуги при ручной дуговой сварке и наплавке покрытыми стальными электродами?
5. С какой целью при ручной дуговой сварке и наплавке стали производят короткое замыкание?
6. Укажите, чем отличается прямая полярность при дуговой сварке и наплавке от обратной полярности.
7. Укажите, в какой зоне сварочной дуги выделяется большее количество тепловой энергии: у катода или у анода.
8. Какую информацию дает марка стальной сварочной проволоки?
9. Расшифруйте две марки сварочной проволоки *Св-08* и *Св-08А* и укажите, в чем разница между ними.
10. Расшифруйте типы электродов *Э42* и *Э42А* и укажите, в чем разница между ними.
11. Почему режим в области точки 2 (см. рис. 1.3) является оптимальным?
12. Почему значениям коэффициента α_H отдается предпочтение при выборе оптимального режима?
13. С какой целью в состав покрытий стальных электродов вводят вещества, снижающие потенциал ионизации паров металла?
14. Для чего в составе покрытий стальных электродов содержатся газообразующие компоненты?
15. Какую роль в процессе сварки и наплавки играют шлакообразующие вещества, входящие в состав покрытий электродов?
16. С какой целью в состав покрытий электродов вводят компоненты-раскислители?
17. Для чего в состав покрытий стальных электродов вводят жидкое стекло?
18. С какой целью в состав покрытий электродов вводят легирующие элементы?

Лабораторная работа № 2

ДУГОВАЯ СВАРКА И НАПЛАВКА ПОД ФЛЮСОМ

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

Общие положения. Преимущества сварки и наплавки под флюсом

Сварка и наплавка под флюсом применяется для получения сварных швов и наплавленного слоя при восстановлении деталей 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 наплавленном 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 большую устойчивость горения дуги и выделяет меньше вредных газов. Эти флюсы относятся к категории плавящихся и обеспечивают надежную защиту зоны сварки.

Таблица 2.1. 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. 2.1.

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

Марка проволки	C	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. 2.2.

Сущность сварки под флюсом

Схема процесса сварки и наплавки под флюсом приведена на рис. 2.1. 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.

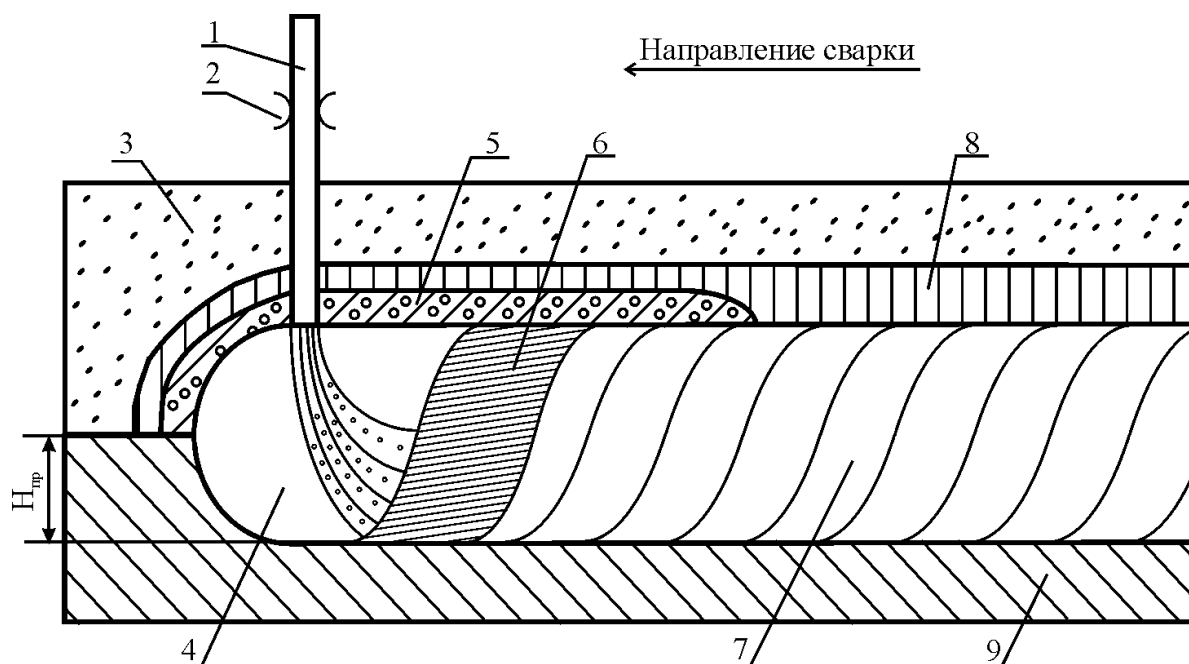


Рис. 2.1. Сварка под флюсом: 1 – электродная проволока; 2 – подающий механизм; 3 – флюс; 4 – газовый пузырь; 5 – расплавленный флюс; 6 – жидкая ванна металла; 7 – сварной шов; 8 – расплавленный шлак; 9 – изделие

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 и наплавки 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 количества 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.

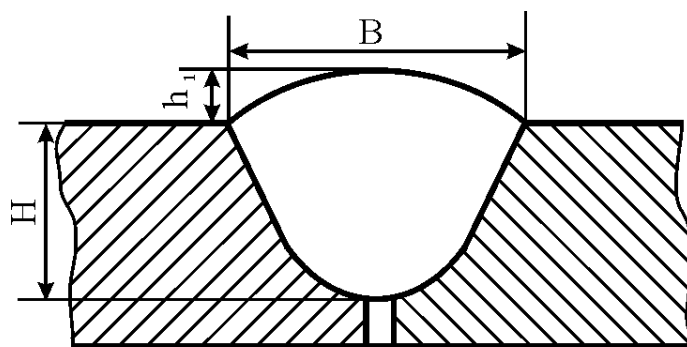


Рис. 2.2. Форма и размеры шва: B – ширина; H – глубина проплавления; h_1 – высота усиления шва

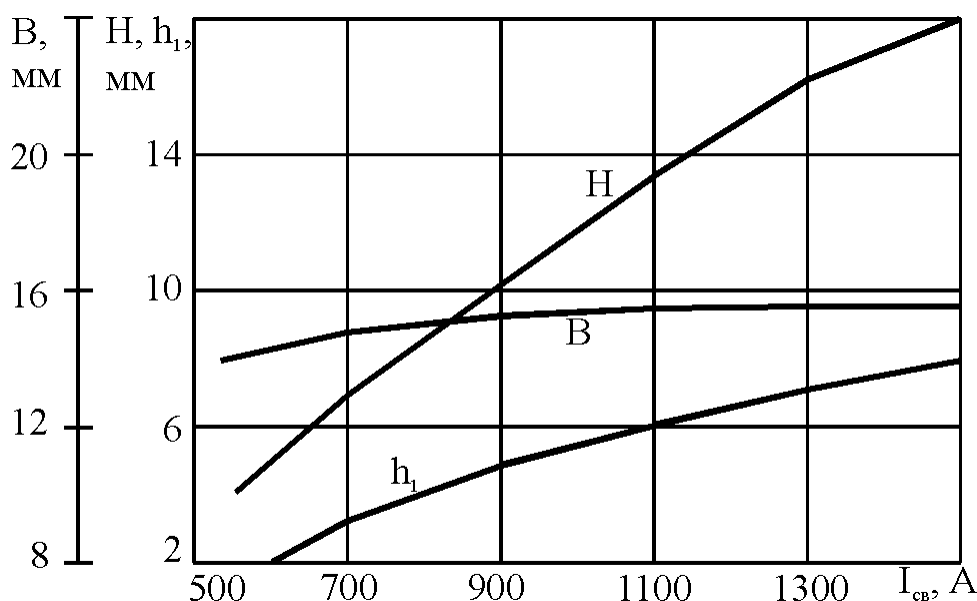


Рис. 2.3. Влияние сварочного тока на размеры шва

Значения сварочного тока и диаметра электродной проволоки оказывают исключительно большое влияние на форму и размеры шва (рис. 2.2).

С ростом сварочного тока увеличивается глубина проплавления основного металла за счет возрастания давления дуги на поверхность сварочной ванны (рис. 2.3), 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. 2.4). 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.

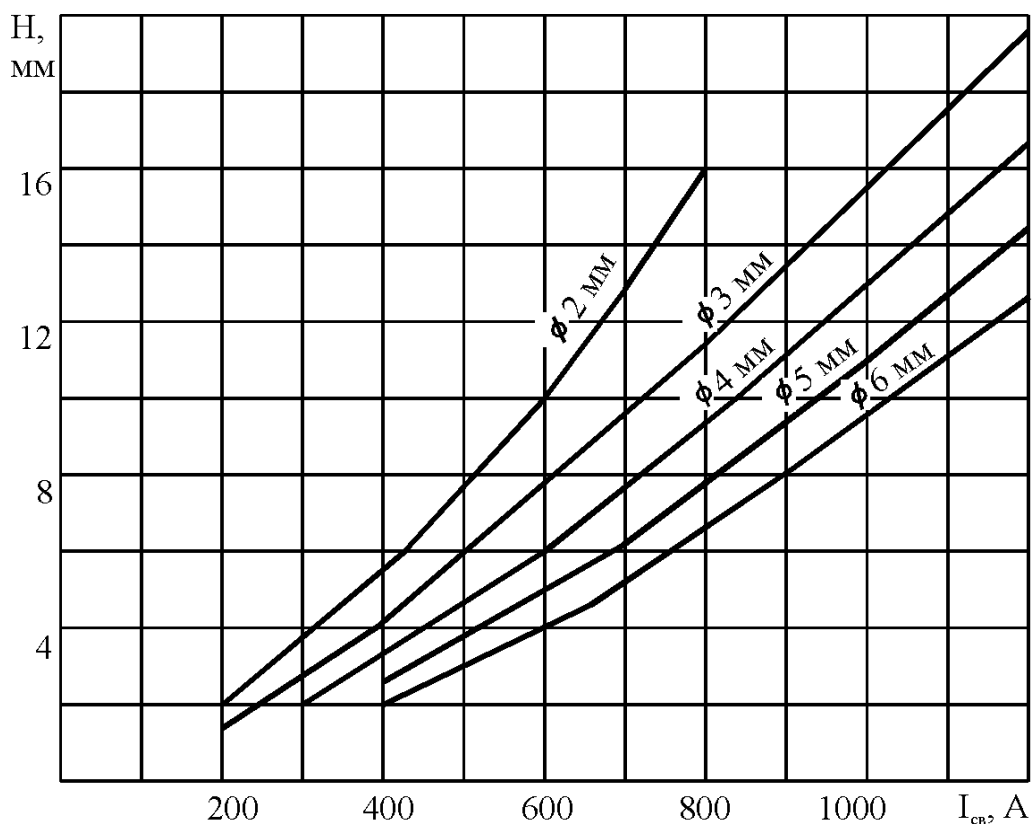


Рис. 2.4. Зависимость глубины проплавления от сварочного тока и диаметра электрода ($V_{св}=30$ м/ч)

Кроме того, происходит интенсифицирование зональных ликваций в металле шва (рис. 2.5).

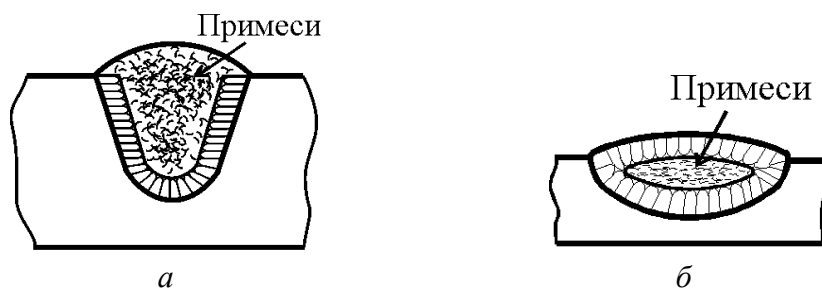


Рис. 2.5. Зональная ликвация в металле шва: *а* – при узкой форме провара; *б* – при широкой форме провара

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. 2.6) [1, 5, 6].

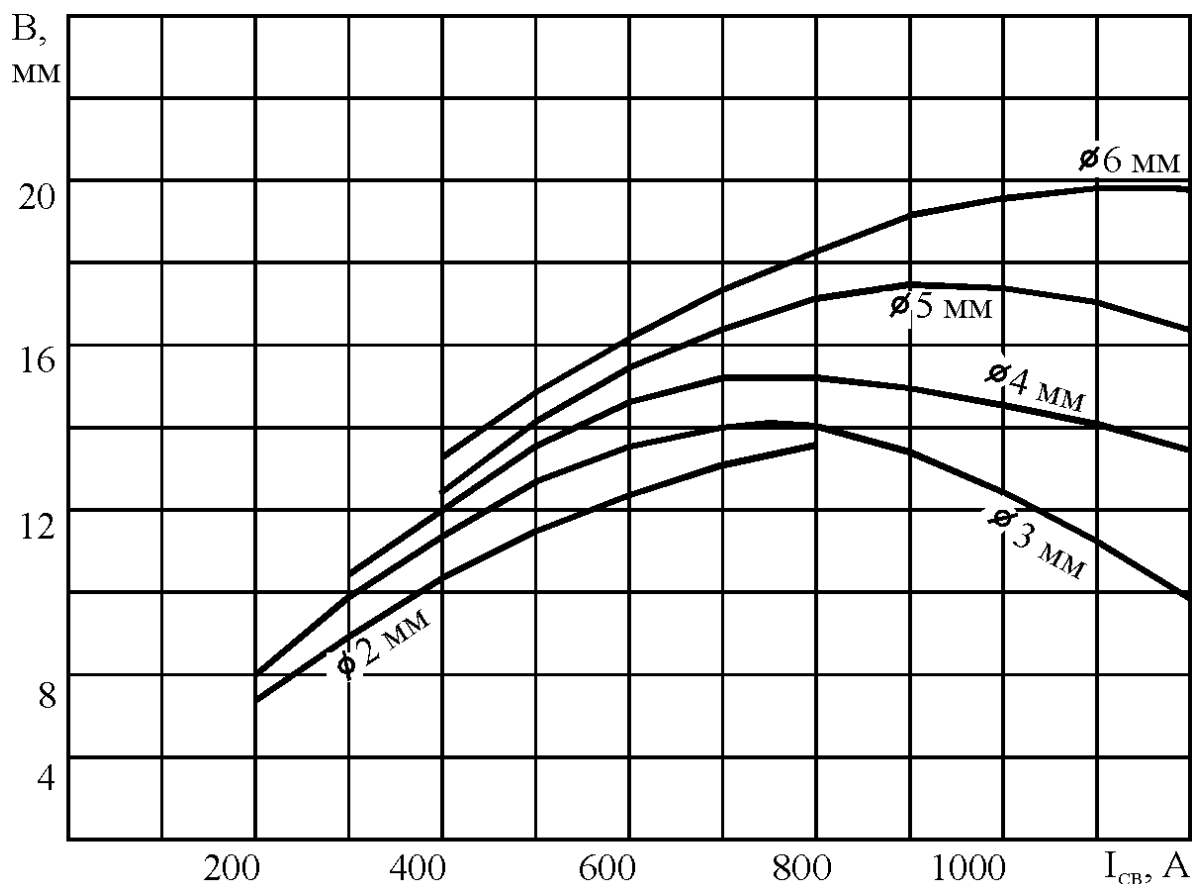


Рис. 2.6. Влияние сварочного тока и диаметра электрода на ширину шва

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].

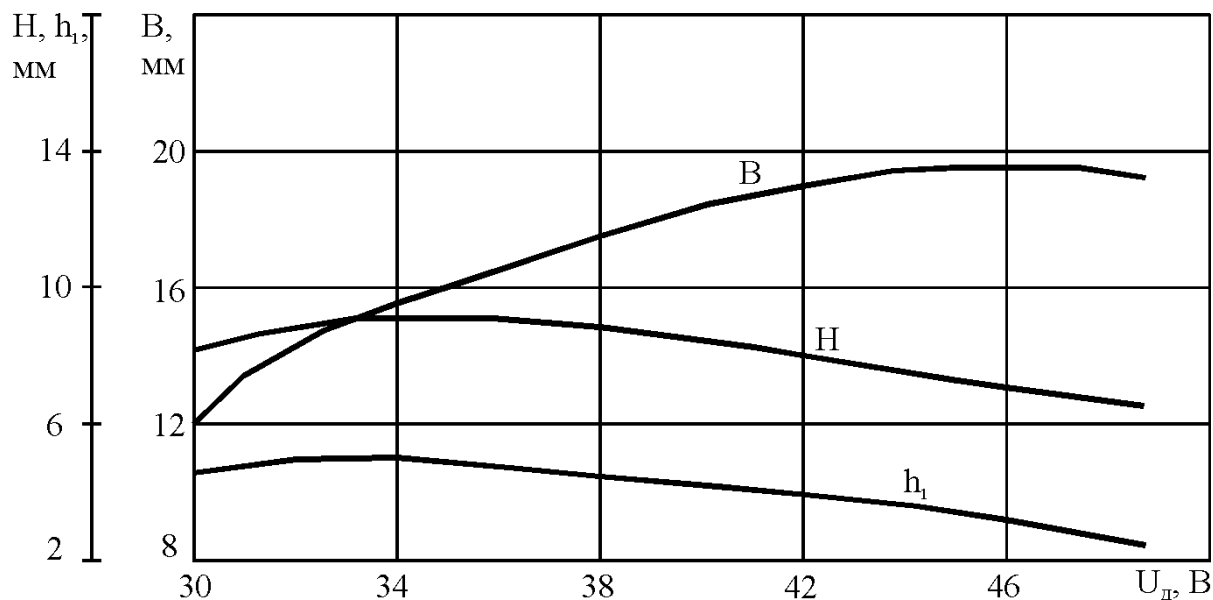


Рис. 2.7. Влияние напряжения дуги на форму и размеры шва

Дополнительным средством воздействия на изменение ширины проплавления основного металла является изменение напряжения дуги (рис. 2.7). 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 напряжения 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. 2.3.

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 требуются небольшое количество электродного металла и большая глубина проплавления (стыковые и угловые без разделки кромок), целесообразно выполнять на постоянном токе обратной полярности [1, 5, 6].

Таблица 2.3. 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

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. 2.8). 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. 2.9.

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.

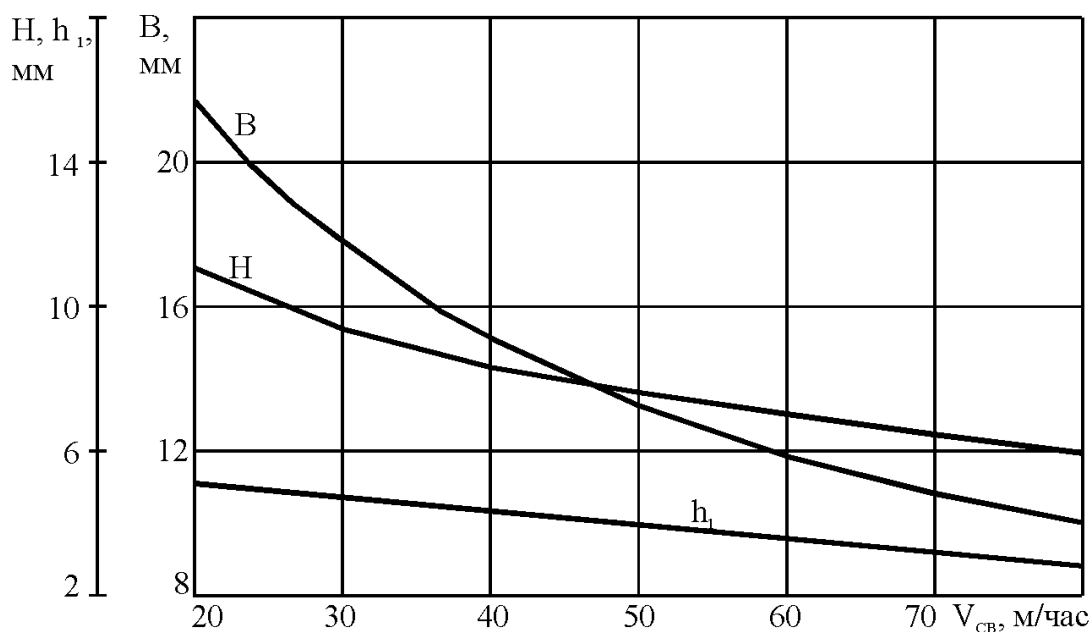


Рис. 2.8. Влияние скорости сварки на форму и размеры шва

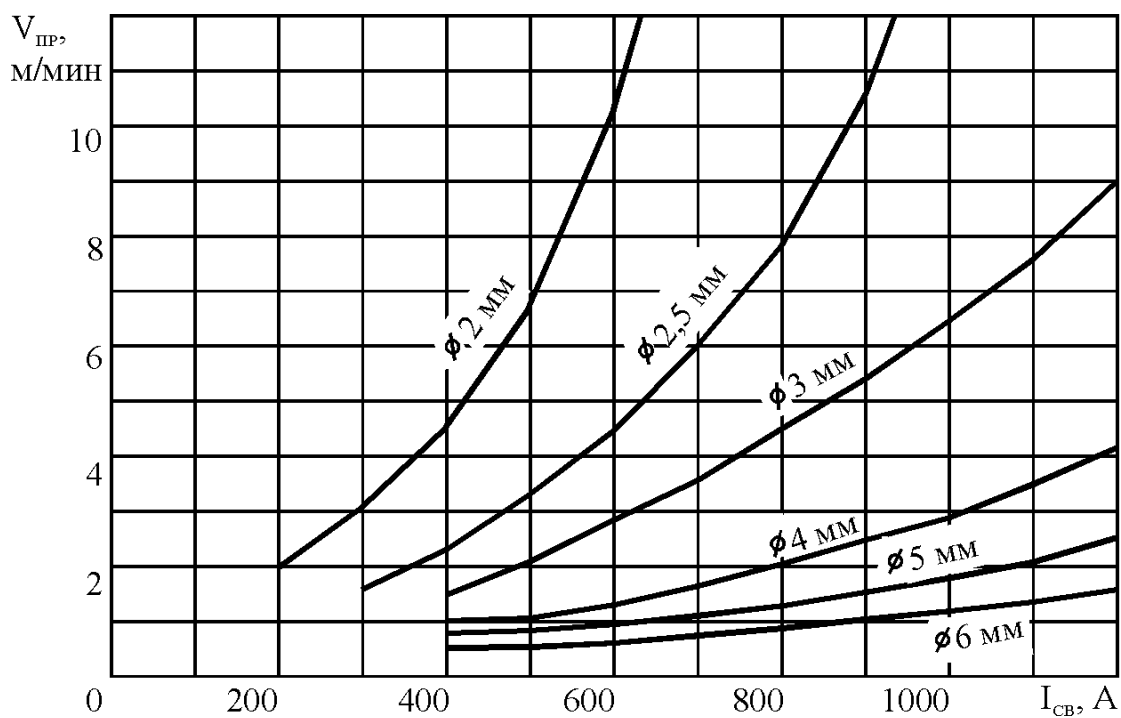


Рис. 2.9. Зависимость скорости подачи электродной проволоки от тока сварки и диаметра электрода ($V_{св}=30$ м/ч)

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. 2.10 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.

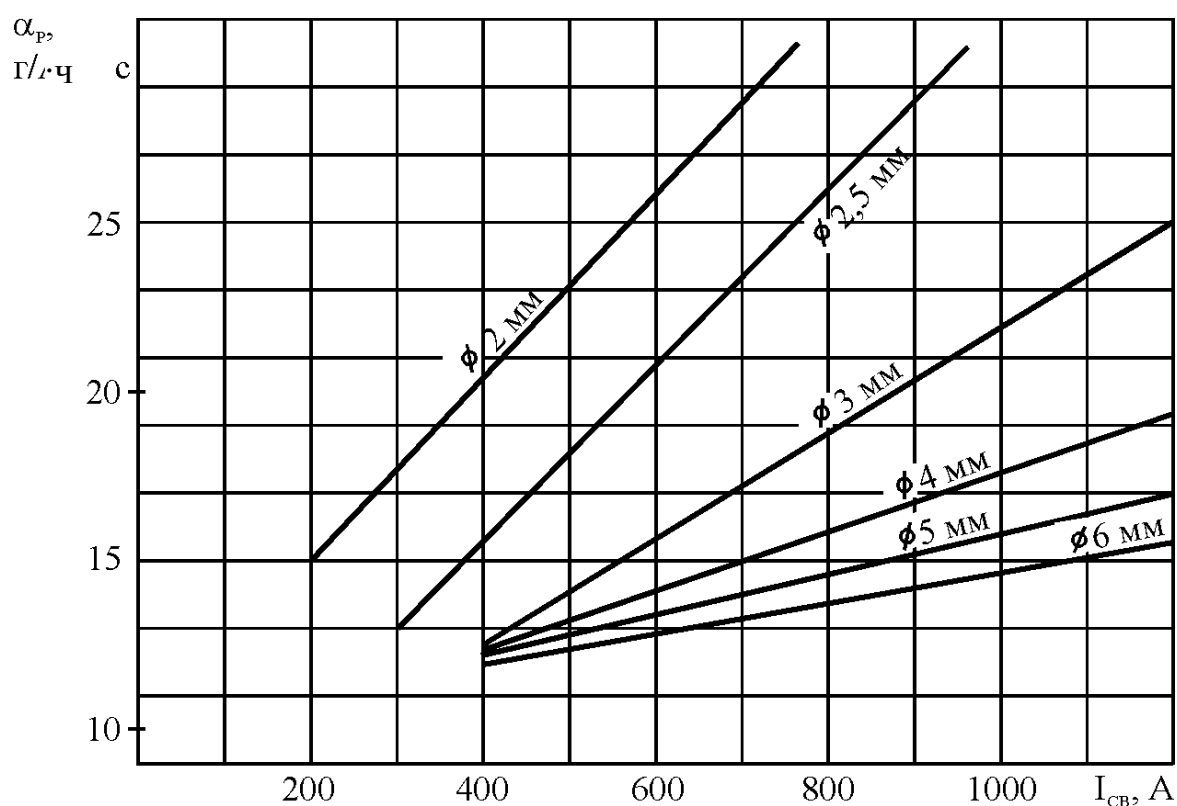


Рис. 2.10. Зависимость коэффициента расплавления от тока сварки и диаметра электродной проволоки ($V_{св}=30$ м/ч)

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 $10...15^\circ$.

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. 2.4, 2.5) для типов соединений, получивших широкое распространение. Это стыковые соединения, получаемые однопроводной сваркой под флюсом [1, 5, 6].

Таблица 2.4. 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 элек- тродной 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 2.5. 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. 2.1 и 2.2, 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. 2.4).

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. 2.4 и 2.5, 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. 2.9). Получим $V_{пр}=5,5$ м/мин.

Таблица 2.6. 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. 2.4, 2.6, 2.7 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 $\Psi_{маб}=1\dots3$.

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. 2.6.

Устройство сварочного автомата АДФ-1002 и подготовка его к работе

Сварочный трактор АДФ-1002 (рис. 2.11) 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].

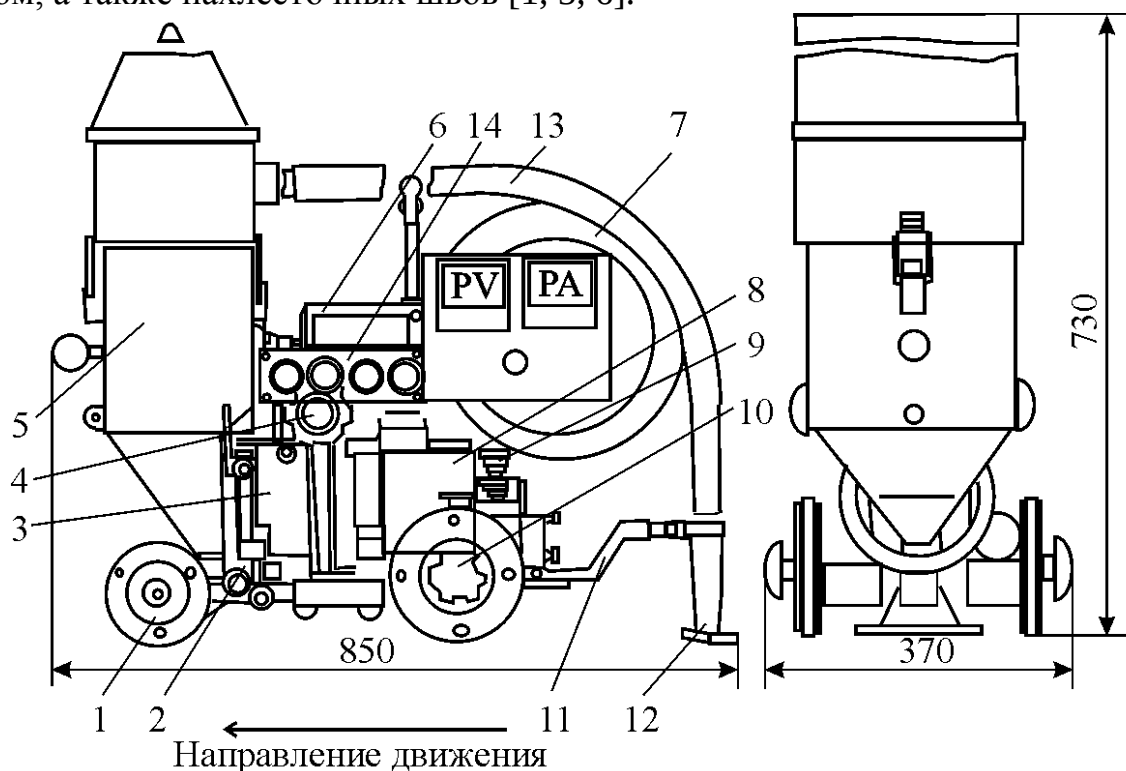


Рис. 2.11. Общий вид сварочного автомата АДФ-1002: 1 – переднее шасси; 2 – токоподвод; 3 – сварочная головка; 4 – корректировочный механизм; 5 – бункер для флюса; 6 – кронштейн; 7 – кассета; 8 – двигатель; 9 – ходовой механизм; 10 – маховичок; 11 – кронштейн; 12 – сопло; 13 – шланг; 14 – пульт управления

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 последовательность 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. 2.1. 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. 2.6.

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 № 3

СВАРКА И НАПЛАВКА В УГЛЕКИСЛОМ ГАЗЕ

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

Особенности сварки и наплавки стали в углекислом газе и сущность способа

При сварке и наплавке 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 и наплавке в среде углекислого газа используют капельный и мелкокапельный (струйный) перенос металла через дуговой промежуток (рис. 3.1) [1, 5, 6].

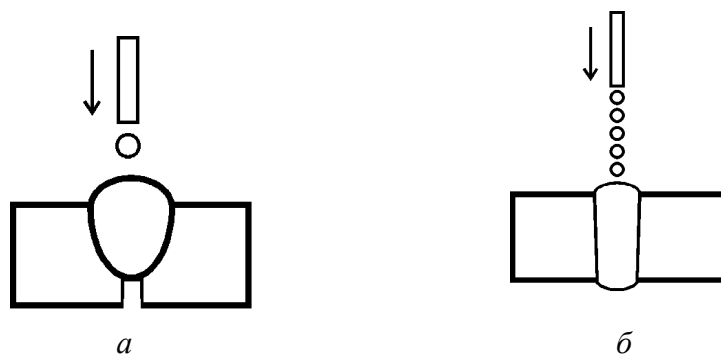


Рис. 3.1. Формы расплавления и переноса электродного металла при сварке в среде углекислого газа плавящимся электродом: *а* – капельный перенос; *б* – мелкокапельный (струйный) перенос

При капельном переносе (рис. 3.1, *а*) 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 сохраняется возможность ведения сварки во всех пространственных положениях.

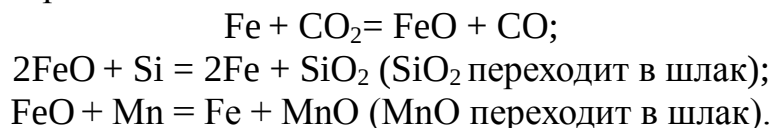
Переход на мелкокапельный (струйный) перенос (рис. 3.1, б) возможен лишь при выполнении следующих условий:

- 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 ответственных 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. 3.2).

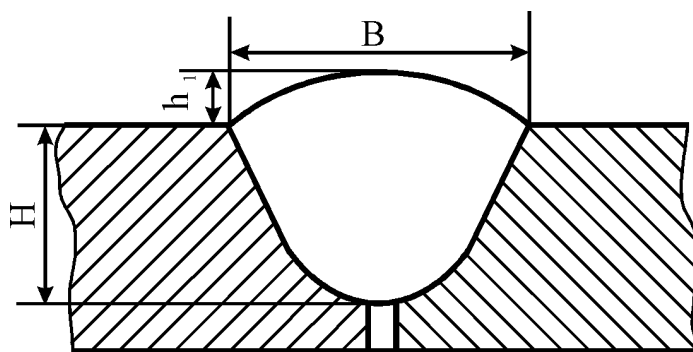


Рис. 3.2. Форма поперечного сечения сварного шва стыкового соединения

Зависимость глубины проплавления от сварочного тока и диаметра проволоки приведена на графике (рис. 3.3). 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. 3.4 приведены зависимости рекомендуемых напряжений сварки, соответствующих минимальным потерям на разбрызгивание и оптимальной форме шва, от величины сварочного тока и диаметра электродной проволоки.

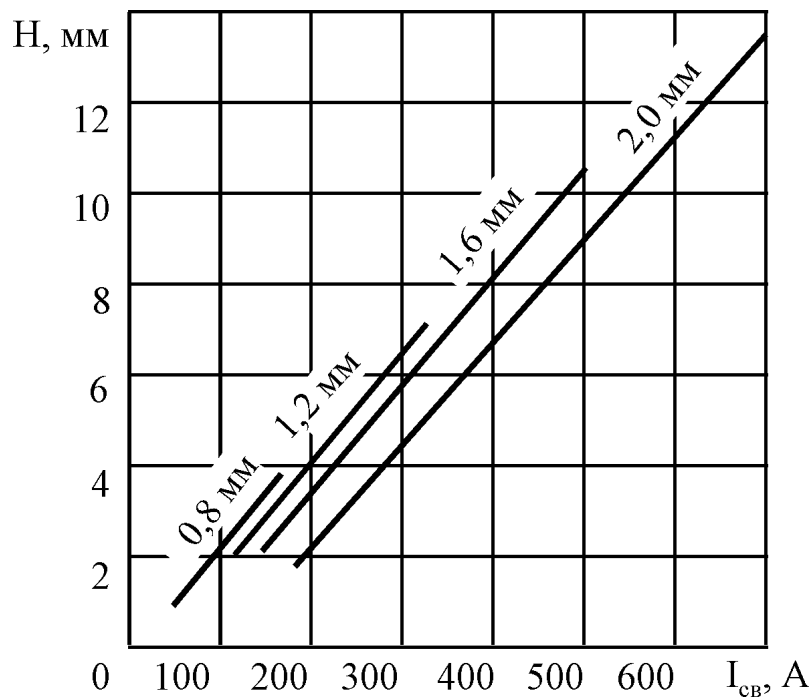


Рис. 3.3. Зависимость глубины проплавления от величины сварочного тока и диаметра электродной проволоки при сварке в углекислом газе (ток обратной полярности, $V_{св}=30$ м/ч)

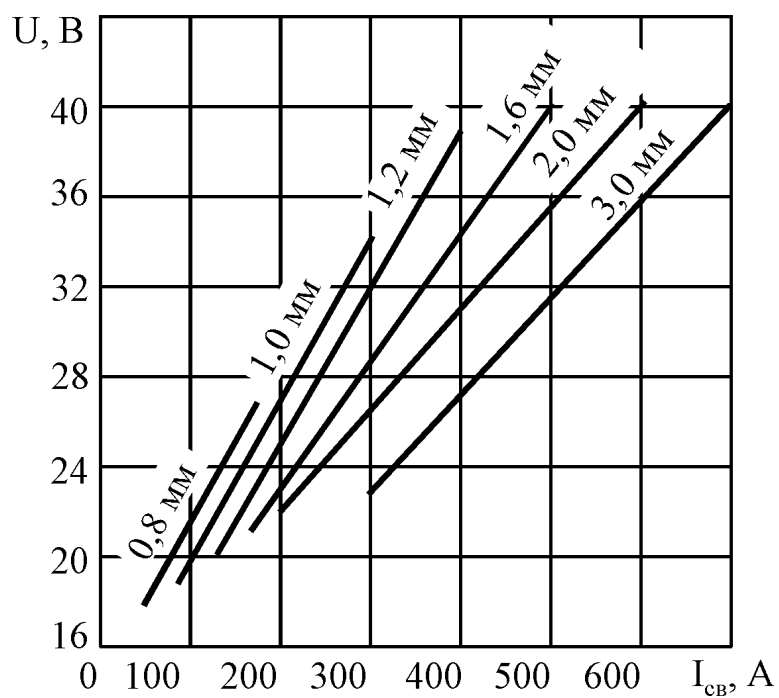


Рис. 3.4. Рекомендуемые напряжения дуги для проволоки СВ-08Г2С в зависимости от сварочного тока (ток обратной полярности, $V_{св}=30$ м/ч)

С увеличением сварочного тока (см. рис. 3.4) 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. 3.5.

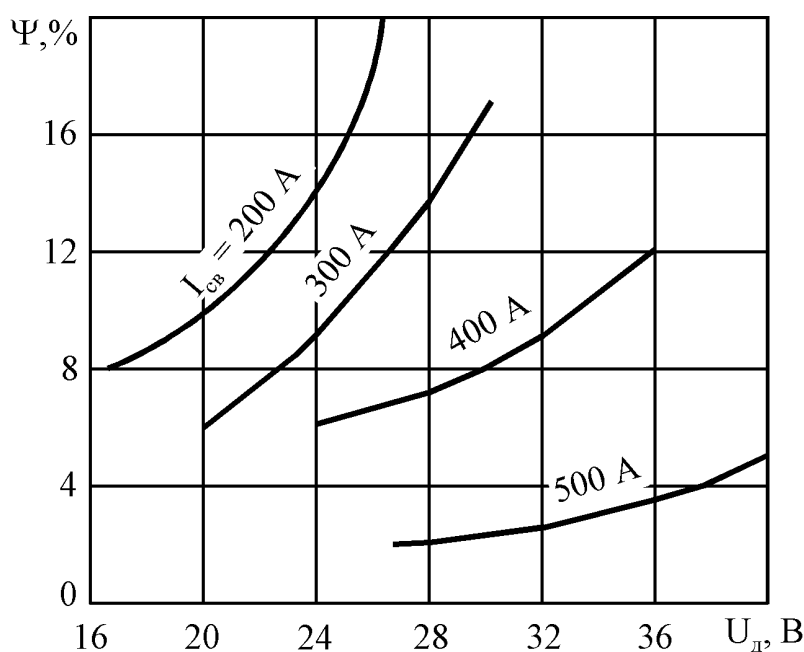


Рис. 3.5. Разбрызгивание электродного металла (коэффициент потерь Ψ , %) в зависимости от напряжения дуги и сварочного тока (сварка в углекислом газе проволокой 2 мм, ток обратной полярности)

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

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. 3.6).

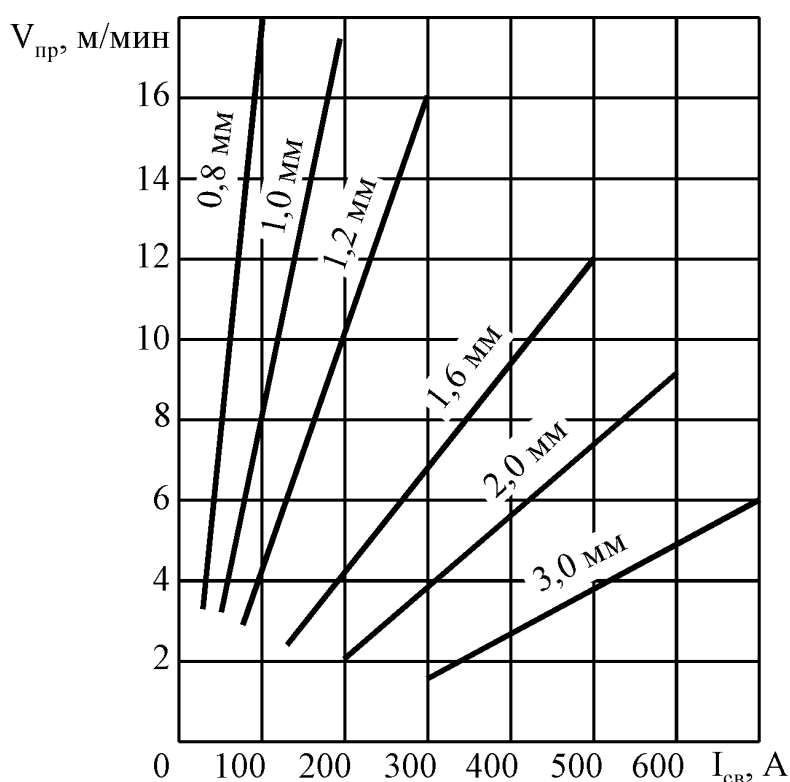


Рис. 3.6. Влияние сварочного тока и диаметра электродной проволоки на скорость ее подачи при сварке в углекислом газе (ток обратной полярности)

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.

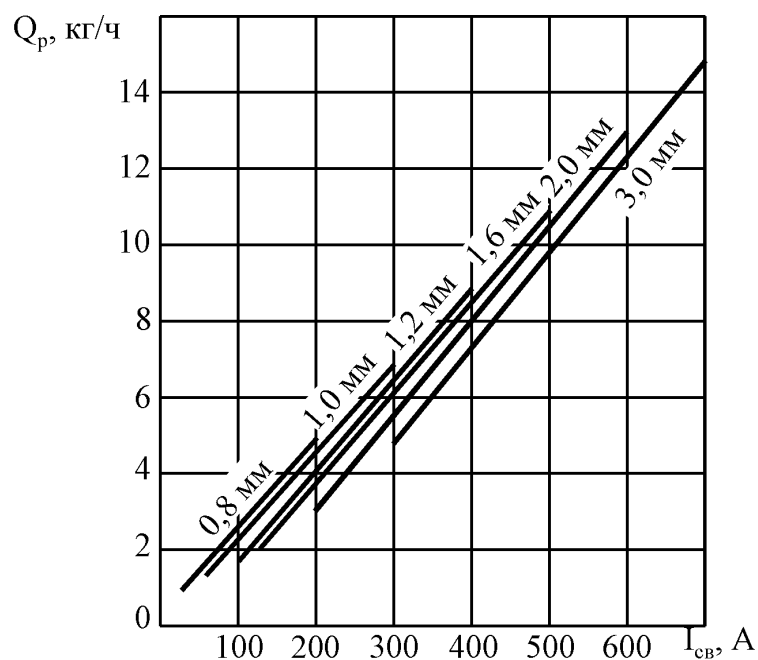


Рис. 3.7. Зависимость массы расплавленной электродной проволоки Q_p от сварочного тока и диаметра электрода при сварке в углекислом газе (ток обратной полярности)

Таблица 3.1. 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. 3.7 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. 3.1.

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. 3.8. 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 плогопадающей внешней характеристикой с регулированием тока и напряжения [1, 5, 6].

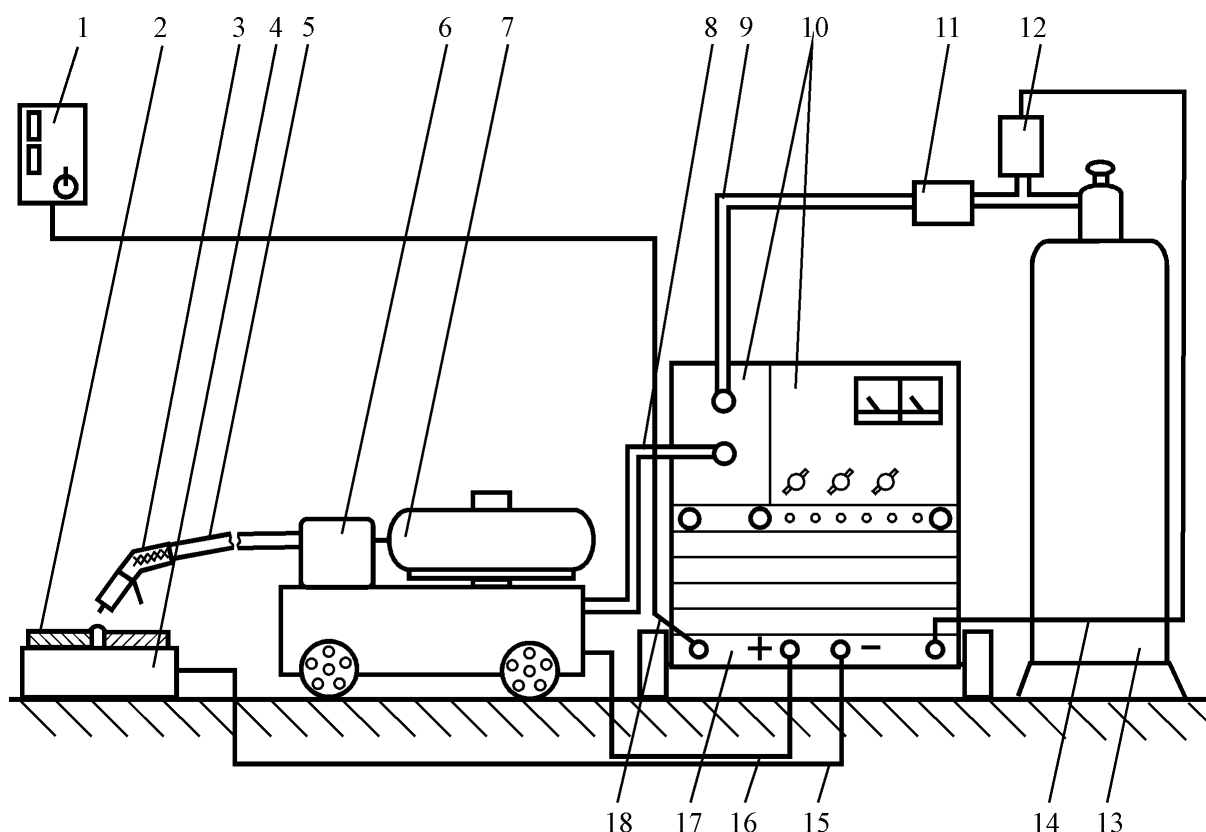


Рис. 3.8. Полуавтомат ПДГ-601: 1 – пульт дистанционного управления; 2 – изделие; 3 – сварочная горелка; 4 – стол; 5 – шланг для подачи сварочной проволоки и углекислого газа; 6 – механизм подачи электродной проволоки; 7 – бухта электродной проволоки; 8, 9 – шланги подачи углекислого газа; 10 – блок управления 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 3.2. Основные технические данные выпрямителя ВДГ-601

Номер 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. 3.2.

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. 3.9).

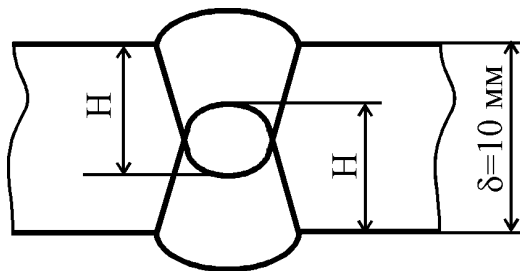


Рис. 3.9. Стыковое соединение с двусторонним проплавлением

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. 3.3). 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. 3.4. При $\varnothing 1,6$ мм и $I_{св}=370$ А напряжение дуги $U_d=33$ В;

- используя график (см. рис. 3.6), 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. 3.7. При $\varnothing 1,6$ мм и $I_{св}=370$ А $Q_p = 7,0$ кг/ч;

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

3. Найденные режимы сварки занести в табл. 3.3.

Таблица 3.3. 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. 3.1 $I_{св}=370$ А; $U_0=33...40$ В; $d_{эл}=1,6$ мм; $l_0=10...22$ мм; $V_{np}=510...1000$ 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. 3.4.

Таблица 3.4. 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. 3.3 и 3.4).

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 № 4

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ПЛАЗМЕННАЯ СВАРКА И НАПЛАВКА МЕТАЛЛОВ

Цель работы: изучение конструкции и принципа работы плазмотрона «Мультиплаз-3500», получение практических навыков по использованию плазменной горелки в различных режимах для выполнения сварки, наплавки и резки металлов при восстановлении деталей.

Общие сведения. Плазмотрон

Плазмотрон, или плазменный генератор, – газоразрядное устройство для получения низкотемпературной ($T \approx 10^4$ К) плазмы. Плазмтроны используются главным образом в промышленности в технологических целях (плазменное нанесение покрытий, наплавка, напыление, обработка, плазменная металлургия, плазмохимия), но устройства, аналогичные плазмотронам, применяют и в качестве плазменных двигателей. Начало широкого использования плазмотронов в промышленной и лабораторной практике (и появление самого термина «плазмотрон») относится к концу 50-х – началу 60-х гг. XX в., когда были разработаны эффективные с инженерной точки зрения способы стабилизации высокочастотного и дугового разрядов, а также способы изоляции стенок камер, в которых происходят эти разряды, от их теплового действия. Соответственно наиболее широкое распространение получили дуговые и высокочастотные (ВЧ) плазмтроны [7].

Дуговой плазмтрон постоянного тока состоит из следующих основных узлов: одного (катода) или двух (катода и анода) электродов, разрядной камеры и узла подачи плазмообразующего вещества. Разрядная камера может быть совмещена с электродами в так называемых плазмтронах с полым катодом. Реже используются дуговые плазмтроны, работающие на переменном напряжении. При частоте этого напряжения $\approx 10^5$ Гц их относят к ВЧ-плазмтронам.

Существуют дуговые плазмтроны с осевым и коаксиальным расположением электродов, с тороидальными электродами, с двусторонним истечением плазмы, с расходуемыми электродами (рис. 4.1) и т.д. Отверстие разрядной камеры, через которое истекает плазма, называется соплом плазмтрона (в некоторых типах дуговых плазмтронов границей сопла является кольцевой или тороидальный анод). Различают две группы дуговых плазмтронов – для создания внешней плазменной дуги (обычно называется плазменной дугой) и плазменной струи. В плазмтронах 1-й группы дуговой разряд горит между катодом плазмтрона и обрабатываемым телом, служащим анодом. Эти плазмтроны могут иметь как один катод, так и второй электрод – вспомогательный анод, маломощный разряд на который с катода

(кратковременный или постоянно горящий) «поджигает» основную дугу. В плазмотронах 2-й группы плазма, создаваемая в разряде между катодом и анодом, истекает из разрядной камеры в виде узкой длинной струи.

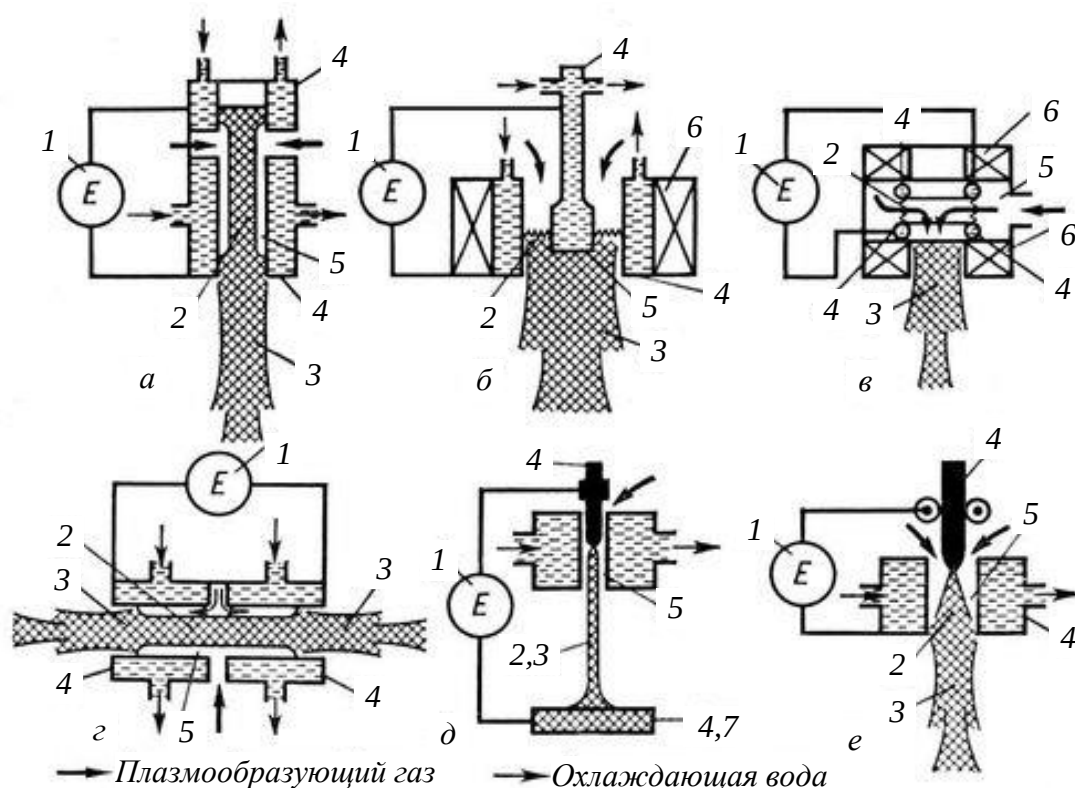


Рис. 4.1. Схема дуговых плазмотронов: *а* – осевой; *б* – коаксиальный; *в* – с тороидальными электродами; *г* – двустороннего истечения; *д* – с внешней плазменной дугой; *е* – с расходимыми электродами (эрозионный); 1 – источник электропитания; 2 – разряд; 3 – плазменная струя; 4 – электрод; 5 – разрядная камера; 6 – соленоид; 7 – обрабатываемое тело

Стабилизация разряда в дуговых плазмотронах осуществляется магнитным полем, потоками газа и стенками разрядной камеры и сопла. Один из распространенных способов магнитной стабилизации плазменноструйных плазмотронов с анодом в форме кольца или тора, коаксиального катоду, состоит в создании (с помощью соленоида) перпендикулярного плоскости анода сильного магнитного поля, которое вынуждает токовый канал дуги непрерывно вращаться, обегая анод. Поэтому перемещаются по кругу анодные и катодные пятна дуги, что предотвращает расплавление электродов (или их интенсивную эрозию, если они выполнены из тугоплавких материалов).

К числу способов газовой стабилизации, теплоизоляции и сжатия дуги относится так называемая «закрутка» – газ подается в разрядную камеру по спиральным каналам, в результате чего образуется газовый вихрь, обдувающий столб дуги и генерируемую плазменную струю: слой более холодного газа под действием центробежных сил располагается у стенок камеры, предохраняя их от контакта с дугой. В случаях, когда не требуется сильного

сжатия потока плазмы (например, в некоторых плазмотронах с плазменной дугой, используемых для плавки металла), стабилизирующий газовый поток не закручивают, направляя параллельно столбу дуги, и не обжимают соплом (катод располагают на самом срезе сопла). Очень часто стабилизирующий газ одновременно является и плазмообразующим веществом. Применяют также стабилизацию и сжатие дуги потоком воды (с «закруткой» или без нее).

Плазма дуговых плазмотронов неизбежно содержит частицы вещества электродов вследствие их эрозии. Когда этот процесс по технологическим соображениям полезен, его интенсифицируют (плазмотроны с расходными электродами). В других случаях, напротив, минимизируют, изготавливая электроды из тугоплавких материалов (вольфрам, молибден, специальные сплавы) или охлаждая их водой, что, кроме того, увеличивает срок службы электродов. Более «чистую» плазму дают ВЧ-плазмотроны.

Плазмотроны с плазменной струей обычно используют при термической обработке металлов, для нанесения покрытий, наплавки, получения порошков с частицами сферической формы, в плазмохимической технологии и пр. Плазмотроны с внешней дугой служат для обработки электропроводных материалов, плазмотроны с расходными электродами применяют при работе на агрессивных плазмообразующих средах (воздухе, воде и др.) и при необходимости генерации металлической, углеродной и т.д. плазмы из материала электродов (например, при карботермическом восстановлении руд).

Мощность дуговых плазмотронов $10^2 \dots 10^7$ Вт; температура струи на срезе сопла 3000...25 000 К; скорость истечения струи $1 \dots 10^4$ м/с; промышленное КПД 50...90%; ресурс работы (определяется эрозией электродов) достигает несколько сотен часов, в качестве плазмообразующих веществ используют воздух, N_2 , Ar, H_2 , NH_4 , O_2 , H_2O , жидкие и твердые углеводороды, металлы, пластмассы.

Высокочастотный плазмотрон включает: электромагнитную катушку-индуктор или электроды, подключенные к источнику высокочастотной энергии, разрядную камеру, узел ввода плазмообразующего вещества. Различают индукционные, емкостные, факельные, плазмотроны на коронном разряде и с высокочастотной короной, а также сверхвысокочастотные (СВЧ) плазмотроны (рис. 4.2).

Наибольшее распространение в технике получили индукционные ВЧ-плазмотроны, в которых плазмообразующий газ нагревается вихревыми токами. Так как индукционный высокочастотный разряд является безэлектродным, эти плазмотроны используют для нагрева активных газов (O_2 , Cl_2 , воздуха и др.), паров агрессивных веществ (хлоридов, фторидов и др.), а также инертных газов, если к плазменной струе предъявляются высокие требования по чистоте.

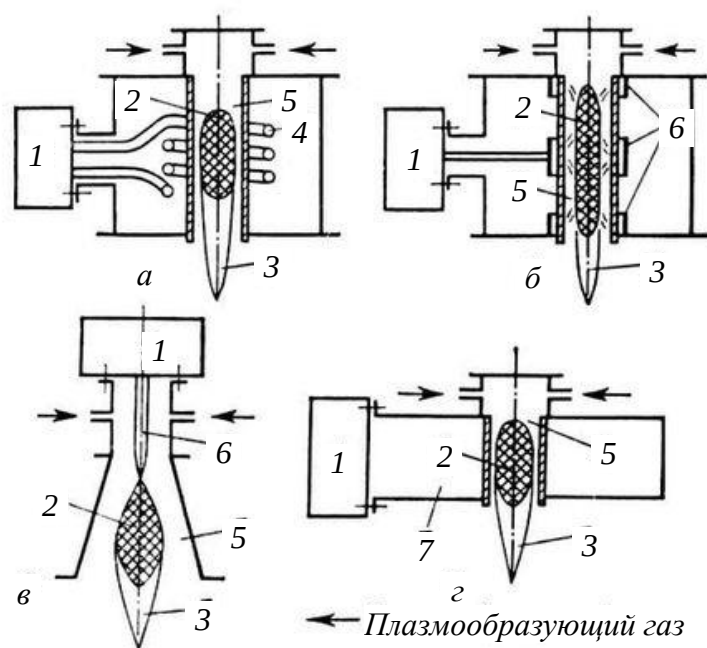


Рис. 4.2. Схемы высокочастотных плазмотронов:
а – индукционный; *б* – емкостный; *в* – факельный;
г – сверхвысокочастотный; 1 – источник электропитания;
 2 – разряд; 3 – плазменная струя; 4 – индуктор;
 5 – разрядная камера; 6 – электрод; 7 – волновод

С помощью индукционных плазмотронов получают тонкодисперсные и особо чистые порошковые материалы на основе нитридов, боридов, карбидов и других химических соединений. В плазмохимических процессах объем разрядной камеры таких плазмотронов может быть совмещен с реакционной зоной. Мощность плазмотронов достигает 1 МВт, температура в центре разрядной камеры и на начальном участке плазменной струи $\approx 10^4$ К, скорость истечения плазмы $0 \dots 10^3$ м/с, частоты – от нескольких десятков тысяч Гц до десятков МГц; промышленное КПД 50...80%, ресурс работы до 3000 ч. В СВЧ-плазмотроне рабочие частоты составляют тысячи и десятки тысяч МГц, в качестве питающих их генераторов применяются магнетроны. ВЧ-плазмотроны всех типов, кроме индукционных, применяются (70-е гг. XX в.) главным образом в лабораторной практике. В ВЧ-плазмотроне, как и в дуговых, часто используют газовую «закрутку», изолирующую разряд от стенок камеры. Это позволяет изготавливать камеры ВЧ-плазмотрона из материалов с низкой термостойкостью (например, из обычного или органического стекла).

Для пуска плазмотрона, т. е. возбуждения в нем разряда, применяют: замыкание электродов, поджиг вспомогательного дугового разряда, высоковольтный пробой межэлектродного промежутка, инжекцию в разрядную камеру плазмы и другие способы. Основные тенденции развития плазмотронов: разработка специализированных плазмотронов и плазменных реакторов для металлургической, химической промышленности, повышение мощности в одном агрегате до 1...10 МВт, увеличение ресурса работы и т.д.

Назначение и области применения аппарата «Мультиплаз-3500»

Аппарат «Мультиплаз-3500» предназначен для резки различных материалов, сварки, пайки черных и цветных металлов, в том числе для использования в качестве вспомогательного оборудования при выполнении технологических операций в литейном производстве (рис. 4.3) [7].

В условиях непрерывного производственного цикла, например при конвейерной сборке, данная модификация портативного плазмотрона крайне эффективна.

Технология проведения сварочных работ с использованием плазмотрона в режиме газовой сварки сходна с технологией использования обычных газовых сварочных аппаратов. Отличие состоит в том, что для получения высокотемпературного факела необходимы электричество и вода, а не газовые баллоны. При плазменной сварке или пайке применяются те же присадки, флюсы и припои, что и при обычной газовой сварке.



а



б

Рис. 4.3. Примеры использования аппарата «Мультиплаз-3 500»:
а – резка различных металлов; *б* – сварка различных сталей

При проведении сварочных работ в плазменно-дуговом режиме необходимо учитывать повышенный уровень теплового потока, способного прогревать металл на всю его глубину (вплоть до его прожигания).

Принцип работы плазмотрона

На рис. 4.4 упрощенно показан принцип действия плазмотрона. Запуск плазменной горелки, предварительно заправленной рабочей жидкостью, осуществляется после кратковременного нажатия кнопки запуска. При нажатии на кнопку подвижный катодный узел перемещается вперед и упирается наконечником-катодом в сопло-анод, т.е. электрическая цепь «анод–катод» замыкается накоротко. При отпускании кнопки катодный узел под действием возвратной пружины отходит от сопла-анода и в разрыве между катодом и внутренней поверхностью сопла-анода возникает электрическая дуга.

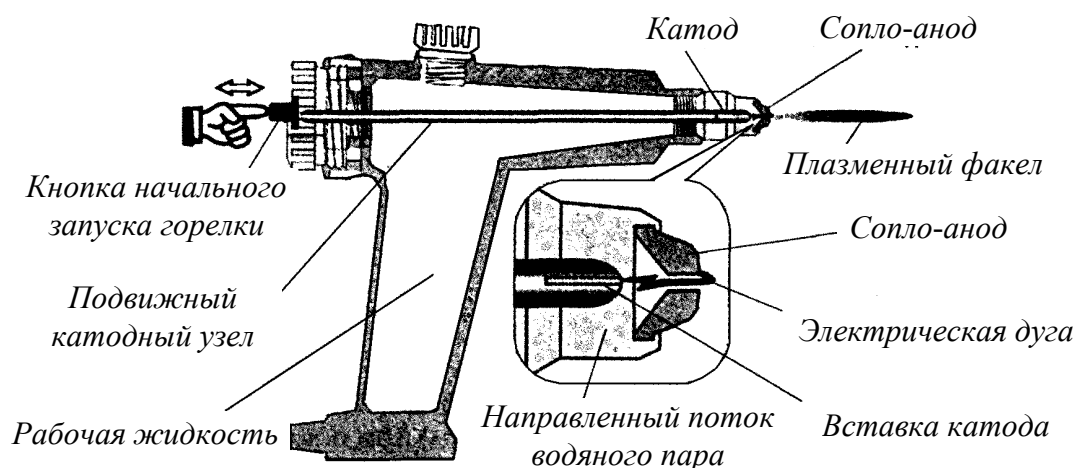


Рис. 4.4. Принципиальная схема плазмотрона

Тепловая энергия дуги испаряет окружающую воду и превращает ее в пар. Водяной пар под давлением устремляется к выходному отверстию в сопле-аноде. Проходя через зону электрической дуги, пар «отрывает» ее от внутренней поверхности сопла, «вытягивает» дугу наружу и замыкает на внешнюю кромку сопла-анода. В узком сечении выходного отверстия пар обжимает электрическую дугу со всех сторон и центрирует ее, не давая дуге замкнуться на боковые стенки выходного отверстия.

При взаимодействии с электрической дугой часть водяных паров переходит в так называемое четвертое агрегатное состояние – плазму, температура которой достигает 8000 °С.

Конструкция горелки обеспечивает ее работоспособность в любом пространственном положении.

В качестве рабочей жидкости при резке может быть использована вода, а при сварке и пайке – 40%-ная смесь воды со спиртом.

В данной модификации плазмотрона реализовано два вида работ: режим косвенной дуги (режим, в котором электрическая дуга замыкается на сопло-анод) и режим прямой дуги (режим, в котором электрическая дуга под действием дополнительного напряжения отрывается от сопла-анода и попадает на обрабатываемый металл).

Отсюда и два режима эксплуатации плазмотрона, как в режиме резки металлов, так и в режиме сварки. В дальнейшем режим косвенной дуги будет называться газовым (по аналогии с техникой применения), а режим прямой дуги будет называться плазменно-дуговым режимом.

Включение плазменно-дугового режима осуществляется потенциометром «MODE II». При этом загорается соответствующий светодиод.

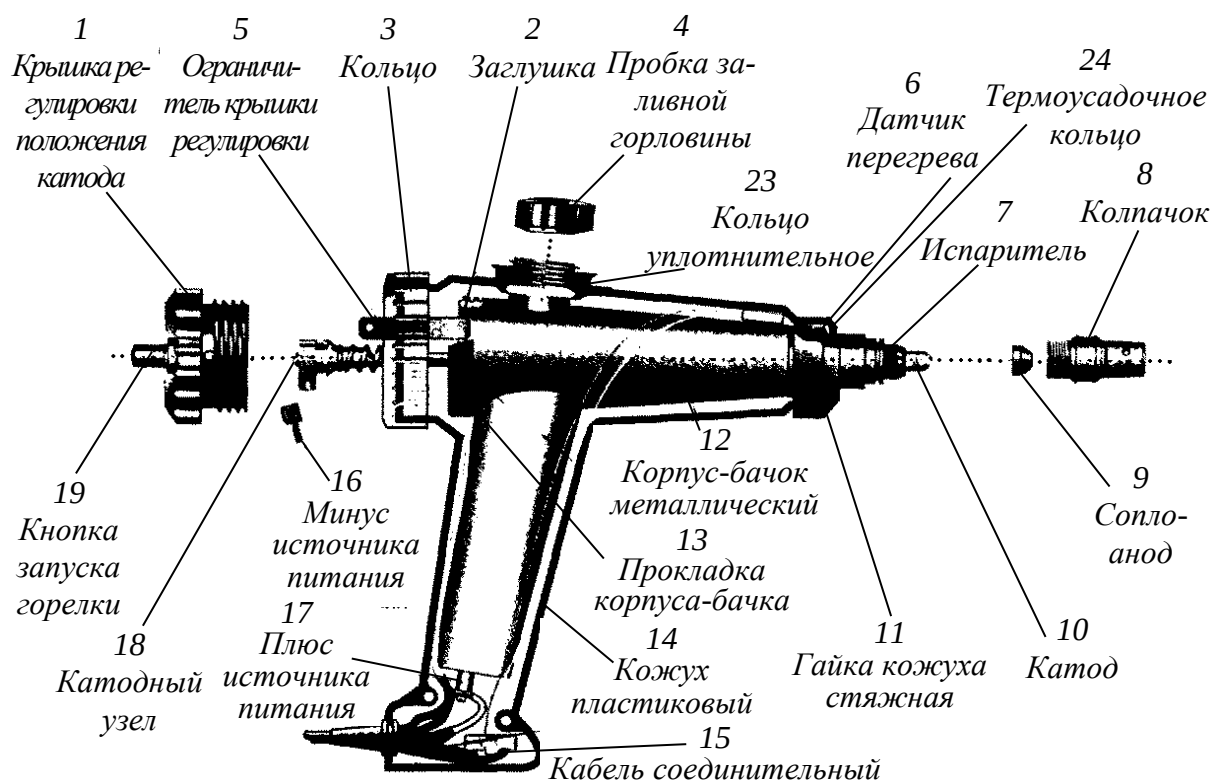


Рис. 4.5. Устройство плазменной горелки

Устройство плазменной горелки

Плазменная горелка выполнена в форме пистолета. Горелка присоединяется к блоку питания с помощью электрического кабеля. Блок питания с помощью сетевого кабеля подключается к однофазной электросети с напряжением 220 В и частотой 50 Гц через заземленную розетку (типа ЕВРО).

На рис. 4.5 показано устройство плазменной горелки и расположение ее основных узлов.

Все узлы плазменной горелки находятся в пластмассовом корпусе, состоящем из двух боковин 14.

Металлический корпус-бачок 12 заполнен влаговпитывающим материалом.

Подвижный катодный узел 18, на который через контакт 16 подается отрицательное напряжение от блока питания, состоит из катододержателя, сальникового уплотнителя и катода 10, который ввинчивается в переднюю часть катододержателя.

На сопло 9, соединенное с корпусом 12 с помощью колпачка 8, подается положительное напряжение от блока питания (клемма 17).

Сопло 9 и катод 10 образуют разрядную камеру, внутри которой за счет энергии электрической дуги пары рабочей жидкости нагреваются до температуры образования плазмы.

Практическая часть работы

Первоначальные регулировки

Убедитесь в том, что на передней панели блока питания горит светодиод «OFF» и на индикаторе напряжения светятся цифры «000».

Переведите переключатель «MODE I» на передней панели блока в положение «5» (рис. 4.6).



Рис. 4.6. Первоначальные регулировки

Наличие напряжения в пределах 2...4 В не является признаком неисправности прибора.

Вращая крышку регулировки положения катода, установите свободный ход кнопки запуска горелки около 1 мм при работе в режиме сварки или 3 мм при работе в режиме резки.

Включение горелки

Убедитесь в том, что горелка полностью заправлена рабочей жидкостью (признаком полной заправки горелки является подтекание жидкости из центрального отверстия сопла, рис. 4.7).

Нажмите кнопку «ON», расположенную на передней панели блока питания.

Удостоверьтесь в том, что загорелся светодиод над кнопкой «ON», показания индикатора находятся пределах от 200 до 350 В.



Рис. 4.7. Запуск горелки

В течение 5 с после нажатия кнопки «ON» нажмите до упора кнопку запуска горелки и сразу отпустите ее. Следует иметь в виду, что если вы не нажали пусковую кнопку горелки в течение 5 с, то напряжение, подаваемое на горелку от блока питания, автоматически выключается и загорается светодиод «OFF». Если такое произошло, то необходимо повторно нажать кнопку «ON» на блоке питания и в течение 5 с снова нажать кнопку запуска горелки.

Убедитесь в том, что показания индикатора напряжения находятся в пределах от 30 до 70 В.

Через несколько секунд после нажатия пусковой кнопки из сопла горелки должен появиться факел, а напряжение увеличиться до 120...140 В. После прогрева горелки факел становится короче (20...30 мм) и приобретает оранжевый или фиолетовый оттенок. Это свидетельствует о том, что горелка вышла на рабочий режим и готова к работе.

Внимание! Рекомендуется повторно нажимать кнопку «ON» на блоке питания только через 10...15 с после того, как загорелся светодиод «OFF».

Регулировка режимов

Режим мощности на блоке питания устанавливается в зависимости от характера выполняемых работ. Каждый режим мощности характеризуется показателями напряжения на цифровом индикаторе.

С помощью переключателя «MODE» на передней панели блока питания устанавливается сила тока косвенной дуги горелки, а с помощью регулировочной крышки на горелке – необходимое для данного режима напряжение.

Пример. Производится годовая сварка деталей толщиной 0,7 мм. Устанавливается переключатель «MODE» в положение 6. Индикатор показывает напряжение 170 В (оптимальное для всех режимов), металл такой толщины при выбранной силе тока и стандартном напряжении прожигается. Следовательно, необходимо уменьшить мощность (т. е. уменьшить силу тока дуги) и перейти на более низкий режим, например 4.

При попытке резкого переключения из режима 6 в режим 4 дуга может сорваться и плазменный факел погаснет.

Чтобы избежать исчезновения факела, следует сначала из режима 6 перейти в режим 5, более слаботочный, и крышкой механизма управления подрегулировать напряжение до 170 В с помощью регулировочной крышки.

При вращении регулировочной крышки против часовой стрелки расстояние между анодом и катодом увеличивается и напряжение возрастает – показания индикатора увеличиваются. При вращении крышки по часовой стрелке межэлектродное расстояние уменьшается, напряжение падает – показания индикатора уменьшаются.

С помощью регулятора «MODE II» на передней панели блока питания осуществляются включение плазменно-дугового режима работы и регулировка величины тока в этом режиме (при этом загорается светодиод «MODE II»).

При необходимости выключения плазменно-дугового режима установите регулятор «MODE II» в левое крайнее положение, при этом светодиод «MODE II» должен гаснуть.

Работа в режиме «Резка»

Для резки применяется сопло-анод с диаметром отверстия от 1,0 до 1,1 мм. Если установлено сопло с другим диаметром, замените его соответствующим из комплекта запасных инструментов и приспособлений (ЗИП).

Для получения ровного реза и повышения скорости рекомендуем использовать различного рода приспособления (линейки, циркули) для фиксации корпуса горелки относительно поверхности металла.

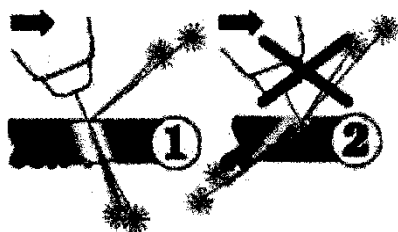


Рис. 4.8. Выбор скорости перемещения

Выбирайте такую скорость перемещения, чтобы избежать искривления плазменного потока на выходе из металла (рис. 4.8). При слишком большой скорости факел на выходе из металла искривляется, рез получается некачественный.

Плазмотрон обеспечивает резку различных материалов в двух режимах работы:

- в газовом режиме обеспечивается резка как металлических, так и неметаллических материалов;
- в плазменно-дуговом режиме обеспечивается резка только электропроводящих материалов.

Независимо от режима резки расстояние между соплом-анодом и разрезаемым материалом необходимо поддерживать 0,5...1,5 мм.

Для поддержания постоянного зазора можно использовать насадку с упорами, имеющуюся в составе комплекта поставки.

При резке в газовом режиме допускается соприкосновение сопла-анода и металла в случае, если электродуговой режим выключен и светодиод «MODE II» не горит. При этом горелку желательно держать под не-

большим наклоном к разрезаемой поверхности. Наклон горелки обеспечивает необходимый зазор между отверстием сопла-анода и разрезаемым металлом.

Для обеспечения резки в плазменно-дуговом режиме необходимо проводом, входящим в комплект поставки, соединить корпус блока с разрезаемым металлом.

При приближении горелки к разрезаемому металлу на расстоянии 1,5...2,0 мм дуга с сопла-анода переходит на разрезаемый металл автоматически. Горелку в этом режиме предпочтительно держать перпендикулярно разрезаемой поверхности.

Образовавшийся облом с обратной стороны легко удаляется плоскогубцами или зубилом.

Для увеличения срока службы плазмотрона при резке материалов заправляйте горелку не обычной водопроводной, а кипяченой или дистиллированной водой.

Выполните обычные подготовительные операции, предшествующие запуску горелки:

- открутите пробку заливной горловины;
- заправьте горелку водой с помощью пластиковой бутылки или резиновой груши. Убедитесь, что из центрального отверстия сопла полилась вода;
- заверните пробку заливной горловины и протрите корпус горелки насухо;
- установите переключатель «MODE I» на блоке питания в положение 5. Включите блок питания нажатием кнопки «ON»;
- в течение 5 с с момента нажатия кнопки «ON» нажмите и сразу отпустите кнопку запуска горелки;
- после прогрева горелки в течение 1,5 мин, вращая регулировочную крышку на корпусе горелки, установите на цифровом индикаторе блока питания значение напряжения в соответствии с выбранным режимом.

Регулировка режимов мощности при резке. Режим мощности на блоке питания выбирается в зависимости от толщины, теплоемкости и теплопроводности обрабатываемого материала.

Для толщины черного металла более 3...4 мм установите переключатель «MODE I» в положение 6 и вращением регулировочной крышки на горелке добейтесь показаний индикатора на блоке питания в режиме газовой резки 160...180 В (в плазменно-дуговом режиме 140...160 В).

При этом для плазменно-дуговой резки установите потенциометр «MODE II» в правое крайнее положение и вращением регулировочной крышки добейтесь максимальной величины яркого светло-фиолетового пятна на выходе из отверстия сопла-анода. Убедитесь в наличии свечения светодиода «MODE II».

Для осуществления резки металла толщиной менее 3...4 мм в газовом/плазменно-дуговом режиме можно переключатели «MODE I/II» устанавливать в меньшее положение пропорционально толщине разрезаемого металла.

Работа в режиме «Сварка»

Для получения качественного шва при сварке металлов горелка заправляется водно-спиртовой смесью (60 % воды и 40 % спирта). Может использоваться технический спирт – этиловый, пропиловый, изопропиловый, бутиловый и т.д.

При сварке применяйте сопло с диаметром отверстия от 2,0 до 2,3 мм. В качестве сопла для сварки можно использовать выработавшее свой ресурс сопло для резки. Для этого расточите в нем центральное отверстие сверлом соответствующего диаметра и снимите наружную фаску сверлом 3 мм.

Аппарат обеспечивает качественное сварное соединение как при сварке с присадочной проволокой, так и без нее (например, при сварке встык или внахлест).

Данная модификация плазмотрона обеспечивает возможность проведения как газовой, так и плазменно-дуговой сварки.

Для проведения работ в режиме газовой сварки установите потенциометр «MODE II» в крайнее левое положение. При этом светодиод «MODE II» должен погаснуть.

При проведении работ в режиме плазменной сварки держите горелку под наклоном к свариваемой поверхности для предотвращения выдувания жидкого металла из сварочной ванны. Приемы работы в этом режиме аналогичны работе с обычной ацетиленовой горелкой.

При газовой и плазменно-дуговой сварке может быть использована присадочная проволока СВ-08ГС, СВ-08Г2С, СВ-10ГС, СВ-10ГСМ, СВ-12ГС и др.

При сварке алюминия рекомендуется использовать флюсы Ф-34А, Ф-40А, АФ-4А и соответствующие присадочные материалы.

Для проведения работ в режиме плазменно-дуговой сварки соедините с помощью провода заземления, входящего в комплект поставки, земляной вывод блока питания со свариваемым металлом.

При сварке в плазменно-дуговом режиме держите горелку вертикально к свариваемой поверхности.

Приближение сопла горелки к свариваемому металлу на 1,5...2,0 мм приводит к автоматическому переключению электрической дуги с сопла на свариваемый металл.

Чтобы избежать прожигания металла, необходимо делать небольшие круговые движения горелкой, сохраняя расстояние между соплом и поверхностью свариваемого металла 2,0...4,0 мм.

В случае необходимости использования присадочной проволоки закрепите ее в держатель присадки, входящий в комплект поставки, и подавайте по мере необходимости в сварочную ванну.

По мере необходимости удаляйте прилипшие к соплу брызги расплавленного металла с помощью напильника или металлической щетки.

Для предотвращения образования ржавчины сразу после окончания сварки протрите сварной шов и прилегающий к нему металл влажной тканью.

Запуск горелки. Для сварки применяйте сопло с диаметром отверстия от 2,0 до 2,3 мм. Если установлено сопло с другим диаметром, замените его соответствующим из комплекта ЗИП.

Выполните обычные подготовительные операции, предшествующие запуску горелки:

- заправьте горелку водно-спиртовой смесью до появления капель рабочей жидкости из отверстия сопла;
- заверните заливную пробку и протрите корпус горелки насухо;
- включите блок питания нажатием кнопки «ON». В течение 5 с после этого нажмите и сразу отпустите кнопку запуска горелки;
- вращая крышку регулировки положения катода на горелке, установите на цифровом индикаторе блока питания значение напряжения в соответствии с выбранным режимом.

Горелка работает одинаково устойчиво в любом пространственном положении и позволяет сваривать неповоротные трубы и потолочные швы.

Регулировка режимов мощности при сварке. При сварке в зависимости от толщины и вида металла, а также способа сварки экспериментально подберите нужное положение переключателя «MODE I» (для газовой сварки) и переключателей «MODE I», «MODE II» (для плазменно-дуговой сварки).

Рекомендуемые положения переключателя «MODE I» на блоке питания в зависимости от толщины свариваемого встык стального листа в режиме газовой сварки приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1. Рекомендуемые положения переключателя «MODE I» для газовой сварки

Толщина листа, мм	До 0,8	Св. 0,8 до 1,2	Св. 1,2 до 2,0	Св. 2,0 до 3,0	Св. 3,0 до 4,0	Св. 4,0 до 6,0
«MODE I»	1	2	3	4	5	6

Установка нужных напряжений в соответствии с подобранным режимом производится при вращении крышки управления катодом на корпусе горелки с одновременным наблюдением за изменениями показаний цифрового индикатора на блоке питания. Если не удастся установить рекомендуемые режимы, необходимо выключить горелку и вынуть катодный узел.

Убедитесь в том, что общая длина катодного узла составляет 158 мм, после чего соберите горелку.

Рекомендуется поддерживать показания индикатора на блоке питания в пределах от 140 до 160 В для всех положений переключателя «MODE I».

При сварке тонких листов можно поддерживать показания индикатора напряжения в пределах 120...140 В.

Рекомендуемые положения переключателя «MODE I» и потенциометра «MODE II» на блоке питания в зависимости от толщины свариваемого встык стального листа в режиме плазменно-дуговой сварки приведены в табл. 4.2.

Таблица 4.2. Рекомендуемые положения переключателей «MODE I» и «MODE II» для плазменно-дуговой сварки

Толщина листа, мм	Св. 2,0 до 3,0	Св. 3,0 до 4,0	Св. 4,0 до 5,0	Св. 5,0 до 10,0
«MODE I»	3	3	3	4
«MODE II»	4	5	6	max

Рабочее напряжение устанавливается с помощью крышки управления катодом горелки в пределах 140...160 В.

Заправка горелки рабочей жидкостью при сварке. Внимание! Заправка горелки производится после ее выключения кнопкой «OFF» на блоке питания, при этом должен гореть светодиод «OFF» и напряжение на индикаторе должно быть в пределах нескольких вольт. Перед заправкой горелку необходимо остудить.

Ускоренно охладить только что выключенную и горячую горелку можно, опустив горелку соплом в сосуд с водой, предварительно открутив заливную пробку (рис. 4.9).



Рис. 4.9. Ускоренное охлаждение горелки

Это делается для того, чтобы горелка не успела автоматически забрать в себя воду при охлаждении.

После охлаждения горелки ее следует заправить водно-спиртовой смесью обычным способом – при помощи пластиковой бутылки с накрученным специальным штуцером из комплекта поставки до появления подтекания рабочей жидкости из сопла.

Закрутите заливную пробку и протрите корпус горелки насухо.

Внимание! Не опускайте горячую горелку в емкость с водно-спиртовой смесью. Это может привести не только к испарению спиртовой фракции смеси, но и к воспламенению паров спирта!

Запустите горелку, как было описано выше.

Режим «Пайка»

Рекомендации и требования к режиму «Пайка» полностью соответствуют аналогичным рекомендациям и требованиям режима «Газовая сварка» – тот же диаметр сопла, та же рабочая жидкость, те же методы запуска и выведения горелки на режим, замены сопла, заправки, охлаждения, выбора режимов.

Отличие – в используемых присадочных материалах и флюсах.

Медные трубы с фитингами и трубы между собой спаиваются только с применением капиллярного раструбного соединения. Поверхности стыка, т. е. внутренняя часть раструба и наружный конец трубы, непосредственно перед пайкой должны быть очищены до металлического блеска с помощью абразивной бумаги или стальной щетки.

Существует два вида пайки – мягкая и твердая, различающиеся между собой температурой процесса. Мягкая пайка производится при температуре ниже 450 °С, например с помощью припоя (по DIN 1707) L-SnCu3 или L-SnAg5. Твердая пайка (пайкосварка) выполняется при температуре выше 450 °С, например с помощью припоя L-Ag45Sn при $t = 670$ °С, L-Ag44 при $t = 730$ °С и др.

Флюс защищает очищенные поверхности от окисления при нагреве и обеспечивает хорошее смачивание поверхности расплавленным припоем. Разогрев места пайки производится круговыми движениями несколько большими, нежели в режиме сварки, поскольку для лучшего растекания припоя необходимо разогреть большую площадь металла. Не следует нагревать подаваемый припой до плавления. Расплавление припоя происходит при его соприкосновении с прогретым металлом.

В качестве флюса может быть применена бура, борная или соляная кислота. Хорошие результаты получаются при применении флюса 209. Для пайки алюминия рекомендуется использовать флюс Ф-34А.

В каждом конкретном случае сварщик может сам подобрать необходимые флюсы и припои, пользуясь соответствующей справочной литературой.

Окончание работы. Выключение горелки

В процессе работы происходит испарение рабочей жидкости. При недостаточном ее количестве факел вытягивается, становится более спокойным, приобретает оранжевый оттенок, а показатели цифрового индикатора на лицевой панели блока питания начинают уменьшаться.

В этом случае необходимо выключить горелку, охладить ее и заправить рабочей жидкостью. Для этого следует выполнить следующие операции:

- отключить горелку кнопкой «OFF», расположенной на лицевой панели блока питания (рис. 4.10);
- убедиться в том, что горелка выключилась, на лицевой панели блока питания зажегся светодиод «OFF» и индикатор напряжения показывает «000».

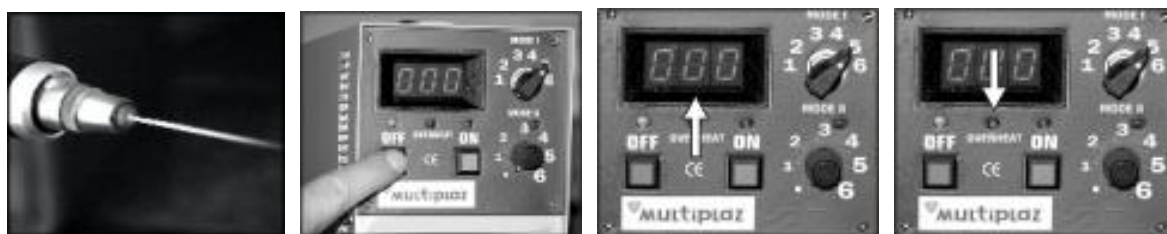


Рис. 4.10. Выключение горелки

В том случае, если оператор не обратил внимания на вышеприведенные признаки выработки рабочей жидкости и своевременно не выключил горелку, в конструкции прибора предусмотрено принудительное выключение горелки за счет срабатывания тепловой защиты. При этом горелка автоматически выключается, на лицевой панели блока питания загорается светодиод «OFF» и начинает мигать светодиод «OVERHEAT». Индикатор напряжения показывает «000».

Допускается наличие на цифровом индикаторе напряжения какой-либо цифры в крайнем правом разряде.

Оформление отчета по лабораторной работе

По выполненным заданиям лабораторной работы студенты представляют оформленный отчет и защищают его.

Отчет оформляется на отдельных листах формата А4 с соблюдением общих требований к текстовым документам. Допускается использовать отдельные тетрадные листы с соблюдением формата А4.

Структурными частями отчета по лабораторной работе являются:

- 1) титульный лист;
- 2) цель лабораторной работы;

- 3) конспект теоретических сведений о плазмотронах;
- 4) назначение аппарата «Мультиплаз-3 500»;
- 5) принципиальная схема действия аппарата «Мультиплаз-3 500» (см. рис. 4.4);
- 6) расположение основных узлов плазменной горелки «Мультиплаз-3 500» (см. рис. 4.5) с описанием;
- 7) технические характеристики прибора (прил. 4.1);
- 8) параметры рабочего процесса сварки (пайкосварки) образца, указанного преподавателем (прил. 4.2).

Все части отчета по лабораторной работе располагаются в указанной последовательности.

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое плазмотрон?
2. Какова область применения плазмотронов?
3. Какие виды плазмотронов существуют?
4. Объясните смысл так называемой закрутки при плазменной обработке.
5. Какие вещества используют в качестве плазмообразующих в дуговых плазмотронах?
6. Какие разновидности высокочастотных плазмотронов существуют?
7. Для чего используют высокочастотные индукционные плазмтроны?
8. Перечислите существующие способы пуска плазмотрона.
9. Сформулируйте назначение аппарата «Мультиплаз-3500».
10. Какая рабочая жидкость используется аппаратом «Мультиплаз-3500» для резки, сварки и пайки соответственно?

Приложение 4.1. Технические характеристики аппарата «Мультиплаз-3 500»

Характеристика	Значение
Напряжение питающей сети, однофазное, В	100-253
Частота питающей сети, Гц	50-60
Потребляемая мощность, тах, КВт: - для сети 20В	3,5
- для сети 100В	2,0
Масса блока питания, кг	8
Масса горелки (без жидкости), кг	0,9
Расход рабочей жидкости, тах, л/ч	0,25
Напряжение холостого хода, В, не более	8
Давление пара в горелке, атм	0,4-1,2
Коэффициент рабочего цикла ПВ, %	100
Габариты блока питания, Дл. × Выс. × Шир., мм	380 x 190 x 140
Габариты горелки, Дл. × Выс. × Шир., мм	205 x 194 x 60
Длина сетевого кабеля, м	2
Длина кабеля горелки, м	2
Температура пламени, тах, °С	8 000
Толщина свариваемого стального листа, мм	От 0,3 без ограничений
Толщина разрезаемого стального листа, мм	До 10
Скорость резки листовой стали толщиной 2 мм, мм/с	До 7
Скорость резки листовой стали толщиной 10 мм, мм/с	1

Приложение 4.2. Технология сварки и пайкосварки различных материалов

Аппарат «Мультиплаз-3500» позволяет получать неразъемные соединения различных металлов методами сварки, пайкосварки (пайки с использованием присадочных материалов, имеющих температуру плавления в диапазоне от 450 до 950 °С) и пайки.

Сваривать можно «черные» и низколегированные стали, в т.ч. некоторые сорта нержавеющей стали и сплавов алюминия, металлы медной группы, чугуны и т.д.

Во многих случаях весьма эффективен метод пайкосварки, в частности при работе с «пищевой нержавеющей» толщиной менее 2 мм.

Создание неразъемных соединений из некоторых сплавов алюминия и некоторых сортов нержавеющей стали возможно без применения защитных газов, так как рабочая часть факела плазменной горелки имеет защитную рубашку из перегретых паров водно-спиртовой смеси. Использование слова «некоторые» означает лишь то, что на сегодняшний день удалось поработать лишь с перечисленными ниже сплавами. Опыт отработки технологий по работе с конкретными металлами и сплавами показывает, что путем подбора соответствующих присадочных материалов и флюсов большинство задач удается успешно решить.

Технология сварки «черных» сталей. Сварка «черных» сталей составляет порядка 90% общего объема всех сварочных работ. Поэтому основные рекомендации по работе с этими сталями приведены в подпункте «Работа в режиме “Сварка”».

Возможность применения плазменного аппарата «Мультиплаз-3500» для плазменно-дуговой сварки стыков труб из малоуглеродистых низколегированных сталей на объектах газификации подтверждена заключением Центра сварки и испытания труб Всероссийского научно-исследовательского института по строительству и эксплуатации трубопроводов, объектов топливно-энергетического комплекса.

Таблица П.4.2.1. Параметры рабочих процессов сварки «черных» сталей

Материал	Форма образца	Характерный геометрический размер, мм	Вид процесса	Присадочный материал	Диаметр присадочного материала, мм	Флюс	Режим	Показания вольтметра, В
Ст-3	Труба	Ø57 × 4	Сварка	Св04ХФ1МЗ	2	Нет	MODE I – 3 MODE II – 4...5	160...180
Ст-3	Полоса	100 × 120 × × 6	>>	Св08Г2С	3	Нет	MODE I – 3 MODE II – 3	160...170
Ст-3	Труба	Ø57 × 4	>>	Св08Г2С	3	Нет	MODE I – 3 MODE II – 3	160...170
Ст-3	Пластина	d = 2	>>	Вязальная проволока	1,5	Нет	MODE I – 3 MODE II – выкл.	160
Ст-3 + медь	Пластины	d = 0,8 + + d = 0,5	Пайко-сварка	Припой HARRIS	2	Бура	MODE I – 2 MODE II – выкл.	140
Ст-3 + медь	Проволока, Пластина (Пепельница)	Ø3 d = 0,5	Пайко-сварка	Припой HARRIS	2	HARRIS	MODE I – 3 MODE II – выкл.	135...145
Ст-3 + 12Х18Н10Т	Пластины	d = 4,5	Сварка внахлест	Св12Х18Н10Б	2,5	Нет	MODE I – 3 MODE II – 3	160...170
Ст-3 + 12Х18Н10Т	Пластины	d = 4,5	Сварка встык	Св12Х18Н10Б	2,5	Нет	MODE I – 3 MODE II – 3	160...170

По результатам испытаний установлено, что аппарат обеспечивает качественное выполнение сварных соединений в любом пространственном положении. Механические свойства сварных соединений пластин

(сталь 09Г2С, толщина 6 мм) и труб (сталь 20, $\varnothing 57 \times 4$ мм), выполненных с применением аппарата «Мультиплаз-3 500» в режиме плазменно-дуговой сварки с использованием присадочной проволоки Св08Г2С $\varnothing 3$ мм, соответствуют требованиям ВСН006–89 и СНиП 42–01–2002 «Газораспределительные системы».

Сварка тонких сталей типа Ст.3...Ст.20 толщиной $\approx 0,4$ мм производится в следующем режиме: переключатель «MODE I» находится в положении 1, «MODE II» – выкл., а показания вольтметра составляют $\approx 135...145$ В. Присадочная проволока (типа «вязальной») – $\varnothing 0,8...1$ мм. Для уменьшения скорости истечения из сопла газоплазменного потока имеет смысл не слишком сильно затягивать пробку заливной горловины, что позволяет сделать факел более мягким. С целью большей локализации теплового потока в зоне сварки можно применять сопло с отверстием $\varnothing 1,5...1,7$ мм (для этого можно с использованием простейшего приспособления рассверлить сопло $\varnothing 1$ мм, имеющееся в ЗИПе, сверлом соответствующего диаметра). Сварку лучше вести на медной или алюминиевой подложке, что позволит избежать перегрева и прожига стали.

Параметры рабочих процессов получения сварных соединений некоторых сталей приведены в табл. П.4.2.1.

Технология сварки алюминиевых сплавов во всех случаях, практически, одинаковая. Горелка заправляется водно-спиртовой смесью с концентрацией спирта $\approx 55\%$ (этиловый, пропиловый, изопропиловый и т.п.) и выводится на третий режим «MODE I» (табл. П.4.2.2). Места, подлежащие сварке, тщательно зачищаются личневым напильником. Зачищенное место прогревается и посыпается флюсом Ф-34А, который прилипает к поверхности. Далее это место снова прогревается до расплавления флюса так, чтобы он равномерно залил (покрыл) поверхность, подлежащую сварке. Затем прогревается конец присадочной проволоки и опускается во флюс, который налипает на прогретый конец присадки. Опять прогревается деталь. Присадку с флюсом держим в зоне сварки так, чтобы она прогревалась одновременно со свариваемым образцом. Сварка осуществляется левым горизонтальным способом. Горелку держим почти вертикально. Очень важно точно выбрать зону факела, которой будет производиться сварка (т.е. расстояние от сопла горелки до зоны сварки), и внимательно следить за состоянием сварочной ванны во избежание «провала» металла. После добавления очередной порции присадочного материала в сварочную ванну горелка резко отводится в сторону, а затем быстро снова возвращается. Если деталь массивная, то, учитывая высокую теплопроводность алюминиевых сплавов, нужно использовать дополнительный подогрев. Остатки флюса желательно удалить. В случае флюса Ф-34А это можно сделать смоченной в воде ветошью.

Таблица П.4.2.2. Параметры рабочих процессов сварки алюминиевых сплавов

Материал	Форма образца	Характерный геометрический размер, мм	Вид процесса	Присадочный материал	Диаметр присадочного материала, мм	Флюс	Режим	Показания вольтметра, В
АД-31	Фрагмент оконной рамы	d = 2	Сварка	DEAlMg3	4	Ф-34А	MODE I-3 MODE II- ВЫКЛ.	120...140
АД-31	Угловая вставка оконной рамы	d = 4	>>	Электро- проволока	2	Ф-34А	MODE I-3 MODE II- ВЫКЛ.	130...145
АМг-6	Пластины	d = 2	>>	АМг-6	2	Ф-34А	MODE I-3 MODE II- ВЫКЛ.	135...170
Электрические шины (технический алюминий)	Пластины	d = 4 b = 40	>>	АМг-6	3	Ф-34А	MODE I-3 MODE II- ВЫКЛ.	190...200
АМ-5К + АД-31	Сковорода. Ручка	d = 5 + d = 2	>>	АМг-6	4	Ф-34А	MODE I-3 MODE II- ВЫКЛ.	140...180
АД-31Т	Пластины	d = 5	>>	АМг-6	5	Ф-34А	MODE I-3 MODE II- ВЫКЛ.	170...180
АД-31	Труба квадратная и уголок	20 × 20 × 2 15 × 20 × 2	>>	АК-5	1,6	Ф-40А	MODE I-3 MODE II- ВЫКЛ.	120...140
АД-31Т	Полоса	d = 3	>>	АМг-6	4	Ф-40А Ф-34А	MODE I-3 MODE II- ВЫКЛ.	135...170
АД-31	Шина электрическая	d = 4,5 b = 50	>>	АМг-6	4	Ф-34А	MODE I-3 MODE II- ВЫКЛ.	135...170
Алюминиевый сплав	Пластина	1,6 × 50 × 100	>>	АМг-6	5	Ф-34А	MODE I-3 MODE II- ВЫКЛ.	120...145
Алюминиевый сплав	>>	0,8 × 25 × 125	>>	АМг-6	5	Ф-34А	MODE I-3 MODE II- ВЫКЛ.	110...120
АД-31Т	>>	5,0 × 50 × 100	>>	АМг-6 Электро- проволока	3 2	Ф-34А	MODE I-3 MODE II- ВЫКЛ.	140...170 130...160
Амц+ 12Х18Н10Т	Трубки	Ø10 × 1 Ø8 × 1	Пайко- сварка	STC1-01R (AlSi5)	2,4	ULTRA FLUX АФ-4А Ф-34А	MODE I-2 MODE II- ВЫКЛ.	130...140
Алюминиевый сплав + Ст. 5	Трубки	Ø10 × 1 Ø8 × 1	Пайко- сварка	АЛАР- MET-21 STC1-01R	Пруток с желобком b = 4 2,4	Ф-40А Ф-34А	MODE I-2 MODE II- ВЫКЛ.	130...140

Пайкосварка алюминиевой трубки Ø10×1 мм с трубкой из нержавеющей стали 12Х18Н10Т Ø8×1 мм:

1. Поверхность нержавеющей стали обрабатывается драчевым напильником, покрывается флюсом Ф-40А и облуживается присадкой STC1-01R Ø2,4 мм.
2. Затем это место обрабатывается флюсом Ф-34А.
3. Далее осуществляется пайкосварка алюминиевой трубки с нержавеющей сталью с использованием присадки STC1-01R Ø2,4 мм.

Пайкосварка электротехнической медной шины с алюминиевой шиной (сечение каждой 6×60 мм²):

1. На медной шине делается фаска с углом в 30°.
2. Производится облужка меди припоем АЛАРМЕТ-21, в качестве флюса применяется бура.
3. Производится облужка этой же поверхности алюминиевым припоем STC1-01R Ø2,4 мм с флюсом АФ-4А.
4. Далее осуществляется пайкосварка меди с алюминием. В качестве припоя используется проволока STC1-01R Ø2,4 мм, а в качестве флюса – Ф-34А.

Технология сварки и пайкосварки нержавеющей стали. Горелка заправляется водно-спиртовой смесью с концентрацией спирта ≈55 % (этиловый, пропиловый, изопропиловый и т.п.) и выводится на соответствующий режим работы (табл. П.4.2.3). На местах, подлежащих сварке, снимается фаска и устанавливается необходимый зазор между деталями (в зависимости от толщины материала). Работы проводятся в плазменно-дуговом режиме с применением присадочной проволоки или без нее. Используется комбинированный способ сварки, при котором периодически кратковременно применяется прямая дуга, которая прерывается за счет удаления сопла горелки от сварной ванны на 15...20 мм, а прогрев в это время производится факелом косвенной дуги. В данных работах флюс не использовался. При повышенной шероховатости сварного шва необходимо уменьшить напряжение на дуге, подобрать соответствующую присадочную проволоку или увеличить концентрацию спирта (но не более 60 %).

Технология пайкосварки нержавеющей стали типа 12Х18Н10Т. Горелка заправляется водно-спиртовой смесью с концентрацией спирта ≈55% (этиловый, пропиловый, изопропиловый и т.п.) и выводится на плазменный режим «MODE I» (см. табл. П.4.2.3). Место пайкосварки предварительно зачищается металлической щеткой и равномерно прогревается пламенем горелки до появления цветов побежалости (≈600 °С), затем посыпается флюсом, например «HARRIS». При дальнейшем прогреве флюс расплавляется и, равномерно растекаясь, покрывает зону пайкосварки.

Таблица П.4.2.3. Сварка и пайкосварка нержавеющей сталей

Материал	Форма образца	Характерный геометрический размер, мм	Вид процесса	Присадочный материал	Диаметр присадочного материала, мм	Флюс	Режим	Показания вольтметра, В
Нержавейка	Пластины	$\delta=8$	Сварка	Отбитый электрод ОЗЛ-8	3	Нет	MODE I–3 MODE II–5...3	150...180
>>	>>	$\delta=8$	>>	Сварочная проволока ThJE-308LSi	2,5	Нет	MODE I–3 MODE II–5...3	150...180
>>	>>	$\delta=4$	>>	Сварочная проволока нержавеющей	2	Нет	MODE I–3 MODE II–3	170...180
12X18H10T	Труба	$\varnothing 26 \times 4$	>>	Отбитый электрод ОЗЛ-8	3	Нет	MODE I–3 MODE II–3	160...180
12X18H10T	Трубка	$\varnothing 8 \times 1$	Пайкосварка	L-Ag40Sn DIN8538	1,5	Нет	MODE I–2 MODE II– ВЫКЛ	120
12X18H10T	Пластина	$\delta=1$	Пайкосварка	L-Ag40Sn DIN8538	1,5	Нет	MODE I–2 MODE II– ВЫКЛ	130...140
12X18H10T	Пластина	$\delta=1$	Сварка	Св06X18H9Г	2	Нет	MODE I–4 MODE II–2	140...150
12X18H10T	Трубка	$\varnothing 8 \times 1$	Пайкосварка	L-Ag40Sn DIN8538	1,5	Нет	MODE I–2 MODE II– ВЫКЛ	120
10X17H13M2T	Труба	$\varnothing 20 \times 2$	Сварка	Сварочная проволока ЦТ-11	3	Нет	MODE I–3 MODE II–3	130...140
12X18H10T + Сг-3	Пластины	$\delta=4,5$	Сварка встык	Св12X18H10 Б	2,5	Нет	MODE I–3 MODE II–3	160...170
12X18H10T + Сг-3	Пластины	$\delta=4,5$	Сварка внахлест	Св12X18H10 Б	2,5	Нет	MODE I–3 MODE II–3	160...170
12X18H10T + АМц	Трубки	$\varnothing 8 \times 1$, $\varnothing 10 \times 1$	Пайкосварка	STC1-01R (AlSi5)	2,4	Ф-40А Ф-34А	MODE I–2 MODE II– ВЫКЛ	130...140
12X18H10T + алюминевый сплав	Трубки	$\varnothing 8 \times 1$, $\varnothing 10 \times 1$	>>	STC1-01R	2,4	Ф-40А Ф-34А	MODE I–2 MODE II– ВЫКЛ	130...140
Медь ++ нержавеющая ++ чугун	Трубка Трубка Сегмент	$\varnothing 10 \times 1$, $\varnothing 8 \times 1$, $\delta=3...4$	>>	П81 Пруток-желоб	b=4...5	HARRIS	MODE I–3 MODE II– ВЫКЛ	150...160

Пайка ведется справа налево с помощью припоя «П-81». Одновременно разогреваются кромки соединяемых деталей и конец проволоки припоя до температуры плавления припоя ($\approx 680^\circ\text{C}$). Расплавленный припой, растекаясь и смачивая кромки деталей, образует прочное, неразъемное соединение. Значительно проще осуществляется пайкосварка офлюсованным присадочным прутком 540 Sn (L-Ag40Sn по DIN8513), предназначенным для высокотемпературной пайки в холодильной и пищевой промышленности. Этот припой хорошо смачивает соединяемые поверхности и заполняет зазоры соединений. При этом получают вакуумно-плотные швы, обладающие высокой прочностью, способные выдерживать значительные вибрационные и ударные нагрузки в большом диапазоне рабочих температур.

Технология сварки чугуна. В качестве присадочного материала при сварке чугуна используются обычные сварочные проволоки типа Св08, в том числе и омедненные. Были проведены сварочные работы на чугунных стояках, регистрах, муфтах, трубах (табл. П.4.2.4).

Таблица П.4.2.4. Сварка чугуна

Материал	Форма образца	Характерный геометрический размер, мм	Вид процесса	Присадочный материал	Диаметр присадочного материала, мм	Флюс	Режим	Показания вольтметра, В
Чугун серый	Регистр отопительный	$\delta=4$	Сварка	Св08Г2С	3	Нет	MODE I–3 MODE II–4	160...180
Чугун + медь	Сегмент Трубка	$\delta=3...4$ $\varnothing 10 \times 1$	Сварка	Медная электрическая проволока	2	Нет	MODE I–3...4 MODE II–ВЫКЛ.	170...185
Чугун + нержавейка + медь	Сегмент Трубка Трубка	$\delta=3...4$ $\varnothing 10 \times 1$ $\varnothing 10 \times 1$	Пайко-сварка	П81 Пруток-желоб	$b=4...5$	HARRIS	MODE I–3 MODE II–ВЫКЛ.	150...160

Визуальная оценка швов позволяет им дать оценки «хорошо» и «отлично». Если в зоне сварки толщина чугуна достаточно большая, то имеет смысл после завершения процесса сварки обеспечить медленное остывание изделия.

Технология работы с металлами медной группы. При работе с металлами медной группы (медь, латунь, бронза, манганин) применяются традиционные технологии, хорошо известные сварщикам. Сварка может производиться как с применением присадочных материалов, так и без них (табл. П.4.2.5).

Таблица П.4.2.5. Работа с металлами медной группы

Материал	Форма образца	Характерный геометрический размер, мм	Вид процесса	Присадочный материал	Диаметр присадочного материала, мм	Флюс	Режим	Показания вольтметра, В
Латунь Л-63	Пластины	$\delta = 1,2$	Сварка	Латунь Л-63, проволока	2,5	Нет	MODE I–3 MODE II–ВЫКЛ.	160...180
Латунь Л-63	Пластины	$\delta = 1,2$	Сварка	Латунь Л-63, проволока	2,5	Бура	MODE I–3 MODE II–ВЫКЛ.	160...180
Медь М1	Пластина	$2,5 \times 30 \times 100$	Пайкосварка	П81	Пруток с желобком $b = 3$	Нет	MODE I–3 MODE II–ВЫКЛ.	130...150
Медь М2	Шина	$\delta = 5$ $b = 15$	Сварка	Медная электрическая проволока	2	Нет	MODE I–4 MODE II–2	155...165
Медь электротехническая	Пластины	$\delta = 6$ $b = 17$	Сварка	Медная электрическая проволока	2	Нет	MODE I–4 MODE II–2	160...170
Медь + Ст-3	Пластина + проволока (пепельница)	$\delta = 0,5$ $\varnothing 3$	Пайкосварка	Припой HARRIS	2	HARRIS	MODE I–3 MODE II–ВЫКЛ.	135...145
Медь + Ст-3	Пластины	$\delta = 0,5$	Пайкосварка	Припой HARRIS	2	HARRIS	MODE I–2 MODE II–ВЫКЛ.	140
Медь + медь	Пластины	$\delta = 4,5$	Сварка встык	Медная электрическая проволока	2,5	Нет	MODE I–3 MODE II–3	160...170
Медь + чугун	Трубка + сегмент	$\varnothing 10 \times 1$ $\delta = 3-4$	Сварка	Медная электрическая проволока	2	Нет	MODE I–3-4 MODE II–ВЫКЛ.	170...180

При пайкосварке (пайка высокотемпературными припоями) и пайке используются традиционные присадочные материалы (П81, П14) и флюсы (например, бура, борная кислота, ФК-235, ФК-320).

Лабораторная работа № 5

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО МЕТОДА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН В СОПРЯЖЕНИИ «ВАЛ – ВТУЛКА»

Цель работы: практическое освоение методики выбора рационального метода восстановления деталей в сопряжениях типа «вал – втулка».

Общие положения

В процессе ремонта автомобильной техники довольно часто возникают ситуации, когда для восстановления работоспособности какого-либо узла автомобиля необходимо восстановить посадку в соединении «вал – втулка» [8].

Изнашивание деталей автомобиля в процессе эксплуатации машин приводит к нарушению посадок в сопряжениях, т.е. к увеличению зазоров в подвижных соединениях и к ослаблению натягов в неподвижных соединениях.

Посадки в сопряжениях восстанавливают следующими тремя методами: без замены сопрягаемых деталей; изменением начальных размеров деталей; восстановлением изношенных деталей до размеров новых.

Восстановление посадки изменением начальных размеров деталей выполняют путем применения *ремонтных размеров*. При этом на одной из деталей сопряжения, например, на коленчатом валу, шлифуют шейки под меньшие, так называемые ремонтные, размеры, восстанавливая тем самым правильную геометрическую форму поверхностей, а другую сопрягаемую деталь, например, вкладыши подшипников, заменяют заранее изготовленными, имеющими соответствующий (меньший) ремонтный размер. Применение ремонтных размеров обеспечивает восстановление начального зазора и правильной геометрической формы деталей.

Восстановление изношенных деталей до размеров новых достигают наращиванием изношенной поверхности наплавкой, гальваническими покрытиями, металлизацией, напылением и т.д., пластической деформацией деталей (раздача, обжатие и др.) или заменой изношенного участка дополнительной ремонтной деталью. Например, при износе отверстия в корпусной детали его растачивают и запрессовывают в него втулку с внутренним диаметром, соответствующим нормальному. Данная втулка будет дополнительной ремонтной деталью.

Дополнительные ремонтные детали можно устанавливать не только при восстановлении изношенных деталей до размеров новых, но и при восстановлении посадок способом ремонтных размеров. В этом случае дополнительные детали будут иметь ремонтные размеры.

Выбор способа восстановления посадки определяется конструктивными особенностями данного сопряжения и технико-экономической целесообразностью [8].

Важно выбрать наиболее эффективный вариант, который обеспечивал бы надежную работу машины в течение межремонтного цикла и вместе с тем был бы приемлем по затратам на ремонт.

Для рассмотрений порядка выбора вариантов восстановления посадки, рассмотрим сопряжение «вал – втулка» (рис. 5.1) [8].

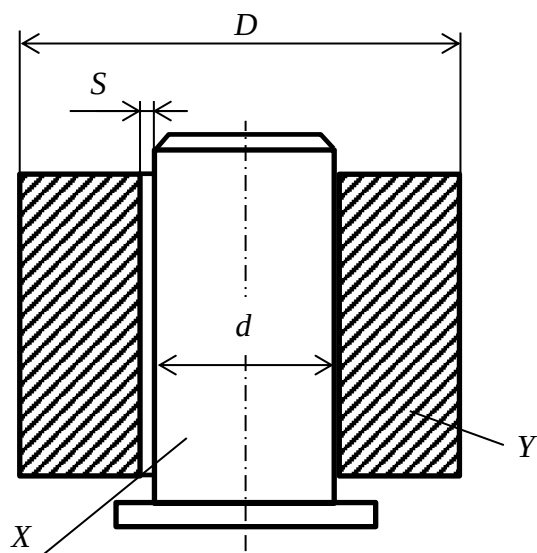


Рис. 5.1. Сборочное соединение «вал – втулка»: X – вал; Y – втулка; S – зазор (либо натяг N) для обеспечения требуемой посадки деталей

При сравнении вариантов необходимо одновременно учитывать ряд функциональных и экономических особенностей каждого способа восстановления посадки. Основные варианты восстановления посадок в соединении «вал – втулка» могут быть графически представлены в виде дерева (рис. 5.2) [8].

В начале нужно исключить те варианты восстановления, которые не подходят по физико-химическим или другим свойствам, препятствующим последующей эксплуатации автомобильного узла.

Затем просчитываются оставшиеся варианты по экономической целесообразности и долговечности и делается вывод о приемлемых способах восстановления [8].

Расчет себестоимости восстановления сопряжения двух деталей

Себестоимость восстановления сопряжения двух деталей C_i , руб, может быть рассчитана по упрощенному варианту, исходя из затрат материалов, расхода заработной платы и накладных расходов [8]:

$$C_i = M_i + Z_i + H_i,$$

где C_i – себестоимость ремонта i -го варианта; M_i – стоимость материалов и оснастки на восстановление деталей, руб. (табл. 5.1); Z_i – заработная плата, руб. (табл. 5.2); H_i – накладные расходы.

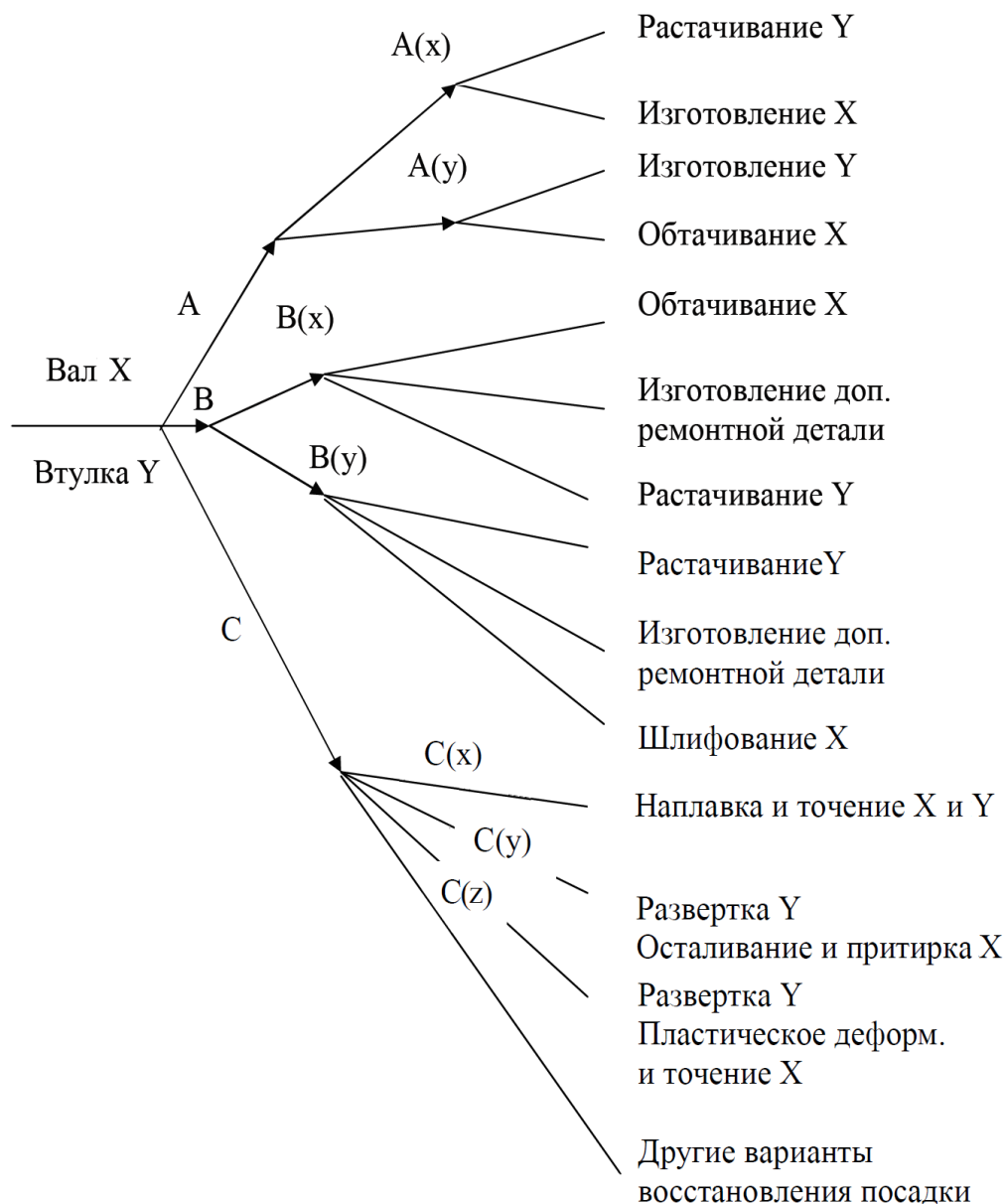


Рис. 5.2. Основные варианты восстановления посадок в соединении «вал – втулка» в виде дерева

Таблица 5.1. Стоимость материалов, оснастки и новых деталей для расчета себестоимости восстановления сопряжения «вал-втулка» [8]

Вариант восст. сопряже- ния	Наименование операции восстановления	Стоимость материалов, руб		Стоимость оснастки, руб		Стоимость новых деталей, руб.
		g_i	a_i	Ск,	cl.	
A(x)	Растачив-е втулки; Изготовл. вала	–	–	1200	800	Вал.– 460
		1.6	29	800	1000	Втулка – 310
A(y)	Изготовл. втулки; Обтачивание вала	2.4	29	1200	800	Вал – 460
		–	–	800	1000	Втулка – 310
B(x)	Обтачивание вала;	–	–	800	1000	Вал – 460
	Изготовл. д. рем. д.;	0.8	29	1200	800	Втулка – 310
	Растачив. втулки	–	–	1200	800	
B(y)	Растачив втулки;	–	–	1200	800	Вал – 460
	Изготовл. д. рем. д.;	0.8	29	1200	800	Втулка – 310
	Шлифование вала	–	–	2900	900	
C(x)	Наплавка втулки и вала;	0.4	40	2500	600	Вал – 460
	Точение втулки и вала	–	–	1200	800	Втулка – 310
		–	–	800	1000	
C(y)	Развертка втулки;	–	–	1200	800	Вал – 460
	Осталивание и притирка вала	0.2	80	4000	800	Втулка – 310
C(z)	Развертка втулки;	–	–	1200	800	Вал – 460
	Пластич. деформация и точение вала	–	–	2800 800	600 1000	Втулка – 310

Стоимость материалов и оснастки на восстановление деталей M_i , руб, определяем по формуле (см. табл. 5.1):

$$M_i = M_{M_i} + M_{oc_i},$$

где M_{M_i} – стоимость материалов, израсходованных на ремонт:

$$M_{M_i} = \sum_{i=1}^n (g_i \cdot a_i),$$

где g_i – расход материала на выполнение i -й операции, кг; a_i – цена материала, руб/кг.

M_{oc_i} – стоимость оснастки, приходящаяся на ремонт одной сборочной единицы, руб:

$$M_{oc_i} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{C_{oc_i}}{d} \right),$$

где d – количество сборочных единиц, восстановленных с помощью комплекта оснастки (см. табл. 5.1); C_{oc_i} – стоимость оснастки для выполнения i -й операции.

Таблица 5.2. Нормативные данные ГЭСН для расчета заработной платы при восстановлении деталей в сопряжении «вал – втулка» (без учета фирменных тарифных коэффициентов)

Вариант восстановления	Операции восстановления	Разряд работ	Нормативное время на выполнение операции, час	Часовая тарифная ставка работ, руб.
А(х)	Растачивание втулки;	4	0,4	74,85
	Изготовление вала	3	0,6	63,62
А(у)	Изготовление втулки;	4	0,8	74,85
	Обтачивание вала	3	0,3	63,62
В(х)	Обтачивание вала;	3	0,3	63,62
	Изготовление доп., рем. дет.;	4	0,8	74,85
	Растачивание втулки	4	0,4	74,85
В(у)	Растачивание втулки;	4	0,4	74,85
	Изготовление доп. рем. дет.;	4	0,8	74,85
	Шлифование вала	5	0,4	82,34
С(х)	Наплавка вала и втулки;	3	0,8	63,62
	Точение втулки и вала	4	0,7	74,85
С(у)	Развертка втулки;	4	0,3	74,85
	Осталивание и притирка вала	6	12	95,81
С(з)	Развертка втулки;	4	0,3	74,85
	Пластич. деформ. и точение вала	3	0,4	63,62

Заработную плату Z_i , руб, необходимо определить по формуле

$$Z_i = (Z_{осн_i} + Z_{доп_i}) \cdot k_{p.k} \cdot k_{np} \cdot k_{бюдж},$$

где $Z_{осн_i}$ – основная заработная плата на выполнение i -й технологической операции, руб:

$$Z_{осн_i} = \sum_{i=1}^n (TC_i \cdot T_{n_i}),$$

где TC_i – часовая тарифная ставка рабочего, руб/ч; T_{n_i} – нормативное время на выполнение i -й операции; $Z_{доп_i}$ – дополнительная заработная плата, $Z_{доп}$ берется 7-10 % от $Z_{осн}$; k_{np} – коэффициент мотивации труда (премия 40%); $k_{np}=1,4$; $k_{p.k}$ – районный коэффициент $k_{p.k}=1,15$; $k_{бюдж}=1,356$ – коэффициент бюджетных отчислений (в качестве примера, 28 % – пенсионный фонд, 4 % – соц. страх., 3,6 % – фонд медицинского страхования).

Накладные расходы H_i , руб, необходимо определить по формуле:

$$H_i = Z_i \cdot \varphi_n,$$

где Z_i – заработная плата, руб.; φ_n – коэффициент накладных расходов $\varphi_n = 1,7 \dots 2,5$.

Таблица 5.3. Коэффициент относительной долговечности деталей при их восстановлении различными технологическими методами [8]

Технологические методы восстановления деталей	Коэффициент относительной долговечности <i>K_д</i>			
	по износо-стойкости де-талей	по прочности деталей	по усталост-ной прочно-сти	по сцеплению слоя по-крытия с основным ме-таллом
Сварка и наплавка под слоем флюса	0,85	0,62	0,53	0,99
Сварка и наплавка в среде углекислого газа	1,0	0,7	0,9	1,0
Вибродуговая наплавка	0,85	0,62	0,52	0,96
Осталивание	0,95	0,88	0,58	0,75
Металлизация напыле-нием	0,95	0,65	0,65	0,45
Пластическая деforma-ция	0,98	0,9	1,0	1,0
Точение или шлифова-ние под ремонтный раз-мер	0,95	0,8	0,9	1,0
Установка дополнитель-ной ремонтной детали	0,99	0,65	0,8	0,95

Для оценки эффективности способа восстановления сопряжения деталей используют коэффициент целесообразности:

$$K_{ц} = \frac{C_n}{C_v} \cdot K_d,$$

где C_n – стоимость новых деталей (см. табл. 5.1); C_v – себестоимость восстановления деталей; K_d – коэффициент долговечности отремонтированного узла, принимается по минимальной величине, (табл. 5.3).

Таблица 5.4. Показатели эффективности вариантов восстановления сопряжения деталей «вал – втулка»

Вариант восстановления	Себестоимость восстановления узла, руб.	Стоимость новых деталей, руб.	Коэффициент относительной долговечности узла	Коэффициент целесообразности способа восстановления
Ах				
Ау				
Вх				
Ву				
Сх				
Су				
Сз				

Порядок выполнения работы

1. Вычертить эскиз сопряжения «вал – втулка».
2. Вычертить графическую схему (дерево) вариантов восстановления сопряжения «вал – втулка».
3. Рассчитать себестоимость восстановления деталей, долговечность работы восстановленного узла, коэффициент целесообразности ремонта, результаты расчетов внести в табл. 5.4.
4. Проанализировать полученные результаты и сделать вывод о выбранном варианте восстановления.

Контрольные вопросы

1. Перечислите технологические методы восстановления посадок в сопряжениях деталей.
2. Охарактеризуйте понятие себестоимости ремонта деталей.
3. При каком методы восстановления посадок в сопряжениях деталей необходима механическая обработка поверхностей вала и втулки?
4. Способ восстановления с каким значением коэффициента целесообразности необходимо выбирать среди нескольких доступных способов?
5. В каком случае (для какой детали) стоимость материалов, израсходованных на ремонт, будет равна нулю?

Библиографический список

1. Куликов, В. П. Технология сварки плавлением и термической резки : учебник / В. П. Куликов. – Минск : Новое знание, 2016. – 463 с. – ISBN 978-985-475-821-3 // Лань : электронно-библиотечная система : [сайт]. – URL: <https://e.lanbook.com/book/74037> (дата обращения: 04.12.2020).
2. ГОСТ 9087–81. Флюсы сварочные плавные : дата введения 1981-01-01. – Изд. официальное. – Москва : Изд-во стандартов, 1998. – 10 с.
3. ГОСТ 8713–79. Сварка под флюсом. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры : дата введения 1981-01-01. – Изд. Официальное. – Москва : Стандартинформ, 2007. – 38 с.
4. Зорин, Н. Е. Материаловедение сварки. Сварка плавлением : учебное пособие / Н. Е. Зорин, Е. Е. Зорин. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2018. – 164 с. – ISBN 978-5-8114-2156-5. // Лань : электронно-библиотечная система : [сайт]. – URL: <https://e.lanbook.com/book/102605> (дата обращения: 04.12.2020).
5. Зорин, Е. Е. Лабораторный практикум: электродуговая, контактная сварка и контроль качества сварных соединений : учебное пособие / Е. Е. Зорин. – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2019. – 160 с. – ISBN 978-5-8114-4164-8 // Лань : электронно-библиотечная система : [сайт]. – URL: <https://e.lanbook.com/book/115659> (дата обращения: 04.12.2020).
6. Технология и оборудование сварки : учебное пособие / сост. М. С. Кoryтов [и др.]. – Омск : СибАДИ, 2019. – 53 с. // Лань : электронно-библиотечная система : [сайт]. – URL: <https://e.lanbook.com/book/149481> (дата обращения: 04.12.2020).
7. Волков, Ю. С. Электрофизические и электрохимические процессы обработки материалов : учебное пособие / Ю. С. Волков. – Санкт-Петербург : Лань, 2016. – 396 с. – ISBN 978-5-8114-2174-9 // Лань : электронно-библиотечная система : [сайт]. – URL: <https://e.lanbook.com/book/75505> (дата обращения: 02.12.2020).
8. Основы технологии производства и ремонта транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования: технология и организация восстановления деталей и сборочных единиц : методические указания к лабораторным работам / С. В. Мельник, Л. А. Шапошникова – Омск : СибАДИ, 2018. – 36 с. – URL: http://bek.sibadi.org/cgi-bin/irbis64r_plus/cgiiris_64_ft.exe?C21COM=S&I21DBN=IBIS_FULLTEXT&P21DBN=IBIS&S21FMT=briefHTML_ft&Z21ID=GUEST&S21ALL=<.>TXT=esd626.pdf<.>. (дата обращения: 04.12.2020).