

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.

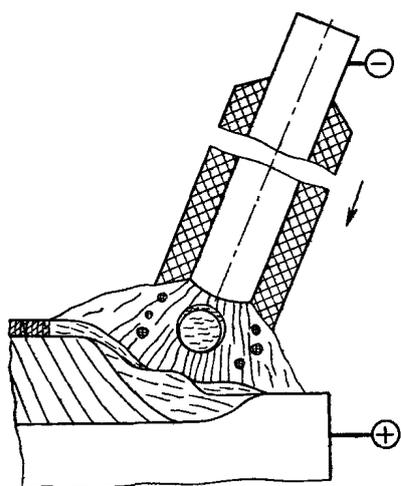


Рис. 1.1. Схема подключения источника сварочного тока при прямой полярности

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.

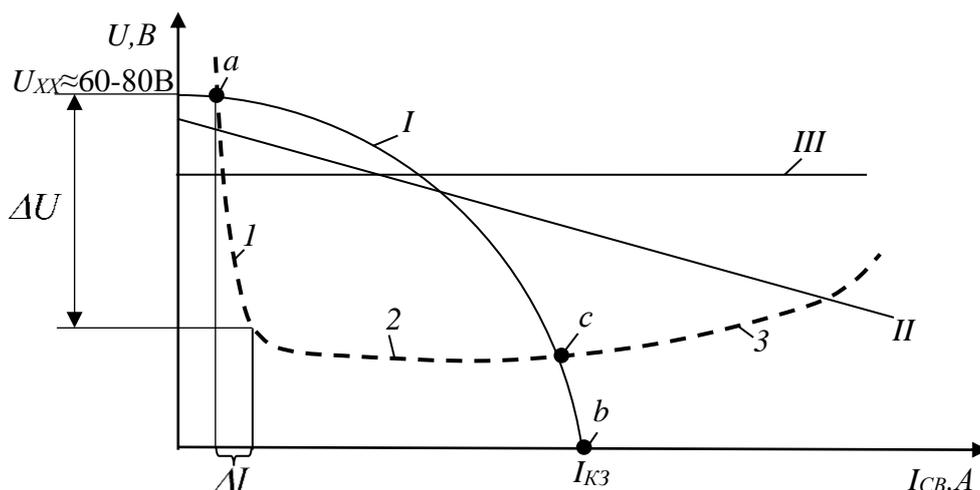


Рис. 1.2. Статическая вольт-амперная характеристика дуги (---) и внешние характеристики источников питания дуги: I – падающая; II – пологая; III – жесткая

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: I – 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), пологопадающую (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; $I_{KЗ}$ (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 плавиковый 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											

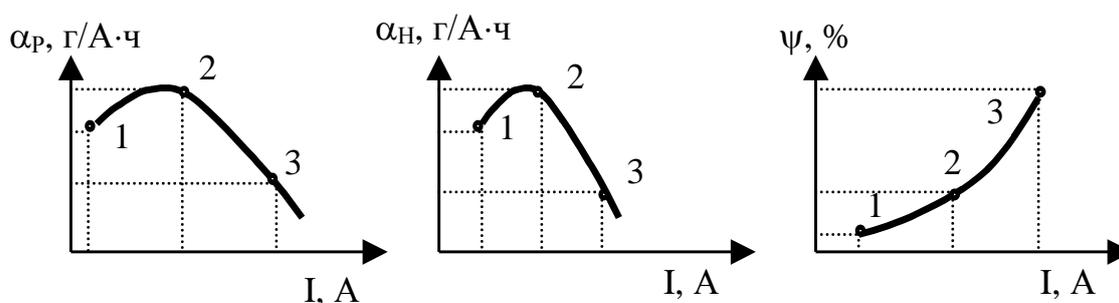


Рис. 1.3. Графики зависимости технологических коэффициентов от силы сварочного тока

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?