

Кафедра “Технология металлов”

Э.Г. Бабенко Н.П. Казанова

## **РАСЧЕТ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СВАРКИ И НАПЛАВКИ**

Методическое пособие

Хабаровск

1999

В методическом пособии дается краткая характеристика основных способов электрической сварки и наплавки, приводятся сведения о свариваемости металлов и сплавов, излагается порядок расчета режимов. Работа содержит необходимые справочные сведения по сварочно-наплавочным материалам и источникам питания.

Методическое пособие предназначено для студентов всех форм обучения, изучающих дисциплину “Технология конструкционных материалов”, выполняющих курсовые и дипломные работы, а также может быть полезно инженерам-технологам предприятий по ремонту подвижного состава.

Рис. 23, табл. 22, список лит. – 8 назв.

Рецензенты: директор института материаловедения ДВО РАН, д-р техн.наук, проф. А.Д. Верхотуров; зав. кафедрой “Строительные и путевые машины”, д-р транспорта, проф. Э.Л. Леонов.

## **Содержание**

### Введение

1. Краткие сведения об особенностях металлургического процесса сварки и наплавки
2. Свариваемость металлов и сплавов
3. Подготовка к сварочно-наплавочным работам
4. Выбор источника питания
5. Основные способы сварки плавлением
  - 5.1. Ручная сварка покрытыми электродами
  - 5.2. Автоматическая сварка под флюсом
  - 5.3. Сварка и наплавка деталей в среде защитных газов
  - 5.4. Сварка и наплавка самозащитной порошковой проволокой
  - 5.5. Электрошлаковая сварка и наплавка
6. Расчет режимов сварки
  - 6.1. Ручная дуговая сварка (наплавка)
  - 6.2. Сварка (наплавка) в углекислом газе проволокой сплошного сечения.
  - 6.3. Сварка (наплавка) под флюсом проволокой сплошного сечения
  - 6.4. Электрошлаковая наплавка
  - 6.5. Сварка ( наплавка ) порошковой самозащитной проволокой
7. Методы неразрушающего контроля сварных швов и наплавленных поверхностей
  - 7.1 Визуальный контроль
  - 7.2. Магнитная дефектоскопия
  - 7.3. Ультразвуковая дефектоскопия

#### 7.4. Вихретоковая дефектоскопия

#### 8. Техника безопасности и охрана труда при выполнении сварочных работ

#### 9. Задание на курсовую работу для студентов заочной формы обучения

#### Приложение: Справочные данные

#### Список литературы

## **Введение**

Сваркой называется технологический процесс получения неразъемных соединений с помощью межатомных или межмолекулярных связей в пограничном слое изделий. Ее преимущества перед другими видами соединений привели к широкому применению в промышленности и на транспорте, обеспечили ведущее место среди технологических процессов обработки металлов.

Все существующие способы сварки могут быть разделены на сварку давлением (холодная, трением, ультразвуком, взрывом, контактная, газопрессовая) и плавлением (электродуговая, плазменная, электрошлаковая, газовая, лазерная, электронно-лучевая и др.).

Если поверхности двух соединяемых изделий тщательно зачистить и под большим давлением сблизить настолько, чтобы наступило взаимодействие между ионизированными атомами, то получится прочное сварное соединение. В этом заключается сущность холодной сварки пластичных металлов.

При повышении температуры в месте соединения увеличиваются амплитуды колебаний атомов, чем создаются предпосылки более легкого получения связи между соединяемыми деталями. Значит, чем выше температура нагрева, тем меньшее давление требуется для сварки и, когда температура нагрева достигнет температуры плавления, то давление между свариваемыми изделиями не нужно. Таким образом, сварка плавлением осуществляется путем нагрева свариваемых кромок до температуры плавления без последующего их сдавливания.

В настоящее время из всех видов сварки наибольшее распространение получила сварка плавлением, в особенности электродуговая, которая широко используется при восстановлении деталей.

Постоянная нехватка запасных частей, их высокая стоимость являются серьезными факторами снижения работоспособности подвижного состава и технических устройств железнодорожного транспорта. Увеличение объема производства запасных частей ведет к значительному повышению трудовых и денежных затрат. Вместе с тем 50–70% деталей, выбраковываемых при первом капитальном ремонте узлов и механизмов, являются ремонтпригодными. Известно, что большинство деталей, забракованных по износу, теряют не более 1,5–2% исходной массы. При этом их прочность практически сохраняется. Следовательно, экономическая целесообразность восстановления с позиции материалоемкости очевидна.

Восстановление деталей подвижного состава – одно из важнейших направлений деятельности предприятий железнодорожного транспорта, и ведущая роль в этой деятельности отводится сварке и наплавке. Так, при ремонте локомотивов сварке и наплавке принадлежит 45–50%, а при ремонте вагонов до 75% всего объема работ. Порядку наиболее металлоемких и дорогостоящих деталей (рамы локомотивов и вагонов, колесные пары, блоки дизелей и др.) вторичное потребление восстановленных изделий значительно больше, чем потребление новых запасных частей.

Себестоимость восстановления для большинства деталей не превышает 56–60% стоимости новых, а расход материалов в 20–25 раз меньше, чем на их изготовление. В связи с этим, при обеспечении высокого качества работ, ремонтные предприятия могут быть вполне конкурентоспособны в условиях рыночной экономики.

Основная трудность, с которой сталкиваются специалисты при восстановлении деталей сваркой и наплавкой, это обоснование выбора наплавочного материала и источника питания сварочной дуги. Кроме того, при использовании режимов наплавки, не соответствующих рациональным, резко снижается работоспособность восстановленных изделий. Поэтому разработка рациональных технологических процессов сварки и наплавки, оценка их эффективности занимает значительное место в деятельности инженера-механика.

Настоящее методическое пособие преследует цель – помочь студентам освоить навыки обоснования способа сварки или наплавки для конкретного изделия, выбора источников питания и присадочного материала, а также расчета рациональных режимов наплавки.

В процессе проектирования необходимо соблюдать следующий порядок работы:

- 1) выполнить эскиз заданной детали, указав размеры. Утолщенной линией (в соответствии с заданием) отметить места сварки или наплавки;
- 2) определить свариваемость сплава, из которого выполнена заданная деталь;
- 3) выбрать и обосновать способ сварки или наплавки в случае, если он не предусмотрен заданием;
- 4) выбрать и обосновать сварочно-наплавочные материалы (марку электрода или проволоки, диаметр, тип обмазки, марку флюса и др.);
- 5) разработать технологический процесс сварки или наплавки:
  - назначить операции подготовки к сварочно-наплавочным работам (разделка кромок с указанием размеров на эскизе, зачистка места сварки или наплавки, выявление и засверловка концов трещин, прокаливание присадочного материала, обоснование видов и режимов термообработки, прихватка и т.д.);
  - выбрать и обосновать род тока и полярность;
  - рассчитать или принять силу сварочного тока и напряжение;
  - определить ориентировочно длину дуги;рассчитать скорость сварки и, при необходимости, скорость подачи электродной проволоки;
- 6) определить время сварки, предварительно рассчитав массу наплавленного металла и время горения дуги;
- 7) определить расход сварочно-наплавочных материалов;
- 8) рассчитать расход электроэнергии;
- 9) выбрать и обосновать метод контроля места сварки и наплавки;
- 10) выбрать и обосновать сварочное оборудование, тип источника питания и его внешнюю характеристику, технологическую оснастку;
- 11) разработать меры по охране труда и техники безопасности при производстве сварочно-наплавочных работ.

Пояснительная записка работы должна содержать:

- задание;
- оглавление;
- введение;

- основную часть;
- заключение с кратким анализом результатов выполненной работы;
- список использованной литературы.

Текст пояснительной записки пишется чернилами, на одной стороне листа, четким и разборчивым почерком. Формулы должны быть расшифрованы: принимаемым параметрам даются обоснования; указывается источник, откуда они взяты; приводится размерность параметров.

Графическая часть работы (эскизы, рисунки, чертежи) выполняется с использованием чертежного инструмента и в соответствии с принятыми государственными стандартами.

## **1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОСОБЕННОСТЯХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СВАРКИ И НАПЛАВКИ**

Металлургический процесс при сварке и наплавке, по сравнению с металлургическим процессом получения сплавов, более сложен, так как обладает рядом особенностей: кратковременностью процесса, значительной скоростью охлаждения, высокой температурой (до 2300° С) нагрева металла и др. Все это приводит к тому, что химические реакции в зоне наплавки протекают мгновенно, не успевают полностью завершиться до кристаллизации, в результате создаются неравномерные структуры.

Высокая температура провоцирует переход газов, находящихся в воздухе (кислород, азот, водород), в атомарное состояние. Газы активно поглощаются металлом, взаимодействуют с ним и легирующими элементами, резко снижая механические характеристики наплавленного металла.

Газы попадают в сварочную ванну из воздуха, флюсов, обмазок электродов, защитных газов, адсорбированной на поверхности изделия влаги с остатками смазок, ржавчиной и др.

При контакте кислорода с расплавленным металлом происходит растворение кислорода и образование окислов, часть которых остается в сплаве после его кристаллизации.

Азот, растворяясь в металле со многими элементами, образует нитриды. Поэтому во время сварки сталей, при недостаточной защите наплавляемого металла, совместное действие кислорода и азота вызывает резкое усиление хрупкости слоя, наносимого на поверхность детали. Азот сильно снижает относительное удлинение, способствует повышению пористости, усиливает склонность металла к старению.

Водород, подобно кислороду, в процессе сварки поглощается жидким металлом. Но при остывании последнего (особенно в момент кристаллизации) растворимость водорода резко снижается. Выделение водорода не прекращается не только по окончании кристаллизации, но даже при комнатной температуре. Диффундируя в объеме застывшего металла, водород накапливается в микрополостях, и создает такие значительные удельные давления, что происходит разрушение наплавленного слоя.

Существенное влияние на растворимость газов оказывают погонная энергия (зависящая от способа и режимов сварки), размеры детали, структура и состав металла восстанавливаемого изделия, предварительный и сопутствующий нагревы и т.д.

## **2. СВАРИВАЕМОСТЬ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ**

При ремонте подвижного состава сварке и наплавке подвергаются детали, изготовленные, в основном, из конструкционных низкоуглеродистых, средне- и низколегированных прокатных и литых сталей. Углерод и легирующие элементы,

входящие в состав стали, оказывают существенное влияние на свариваемость и делят последнюю на четыре группы: хорошую, удовлетворительную, ограниченную и плохую свариваемость. Поэтому при разработке технологического процесса, прежде всего, нужно оценить свариваемость металла восстанавливаемого изделия и назначить (при необходимости) определенные операции, уменьшающие или исключаящие отрицательное воздействие тех или иных компонентов на качество восстановленного слоя.

**Свариваемостью** называется сочетание технологических свойств металлов и сплавов, дающих возможность образовывать в процессе сварки или наплавки соединения и слои, которые по своим свойствам не уступают свойствам материала восстанавливаемого изделия.

Более всего на свариваемость оказывают влияние химический состав сплава, фазовая структура и ее изменения в процессе нагрева и охлаждения, физико-химические и механические свойства, активность реакций элементов и др.

В связи с тем, что параметров, характеризующих основной и присадочный (электродный) материалы, очень много, то свариваемость представляет комплексную характеристику, включающую чувствительность металла к окислению и порообразованию, соответствие свойств сварного соединения заданным эксплуатационным, реакцию на термические циклы, сопротивляемость образованию холодных и горячих трещин и т.д.

Из перечисленных параметров наиболее существенным при сварке и наплавке углеродистых и низколегированных сталей является сопротивляемость образованию трещин.

Горячие трещины чаще всего возникают при ослаблении деформационной способности металла из-за появления в структуре легкоплавких хрупких эвтектик, дефектов кристаллического строения, внутренних и внешних напряжений.

Вероятность появления при сварке или наплавке горячих трещин можно определить по показателю Уилкинсона (H.C.S.):

$$H.C.S. = \frac{C(S + P + Si/25 + Ni/100)}{3Mn + Cr + Mo + V} \cdot 10^3 \quad (2.1)$$

Условием появления горячих трещин является  $H.C.S. > 2$ . Так, например, при обычной сварке низколегированной стали трещины начинают возникать при  $H.C.S. = 4$ .

Холодные трещины чаще всего возникают из-за закаливаемости стали при быстром охлаждении и насыщении металла шва и зоны термического влияния водородом. Они, как правило, зарождаются по истечении некоторого времени после сварки и наплавки и развиваются в течение нескольких часов или даже суток.

Для оценки склонности металла к появлению холодных трещин чаще всего используется углеродный эквивалент, которым можно пользоваться как показателем, характеризующим свариваемость, при предварительной оценке последней. Для этой цели имеется ряд уравнений. Наиболее распространенным и приемлемым для сталей, используемых на подвижном составе, является следующее:

$$C_3 = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{5} + \frac{V}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2} \quad (2.2)$$

В табл. 2.1 приведена классификация сталей по свариваемости в соответствии с величиной  $C_3$  и меры по предотвращению или уменьшению вероятности появления трещин.

Таблица 2.1

Классификация сталей по свариваемости

Группа сталей	Свариваемость	Эквивалент $C_3$ , %	Технологические меры			
			подогрев		термообработка	
			перед сваркой	во время сварки	перед сваркой	после сварки
1	Хорошая	$< 0,2$	–	–	–	Желательна
2	Удовлетворительная	$0,2 \div 0,35$	Необходим	–	Желательна	Необходима
3	Ограниченная	$0,35 \div 0,45$	Необходим	Желателен	Необходима	Необходима
4	Плохая	$> 0,45$	Необходим	Необходим	Необходима	Необходима

Если оценка свариваемости по показателю  $C_3$  указывает на склонность стали к появлению холодных трещин, то необходимо предусмотреть предварительный подогрев детали. Температуру подогрева, °С, можно определить по формуле

$$t = 350 \sqrt{C_{об} - 0,25}, \quad (2.3)$$

где  $C_{об}$  – общий углеродный эквивалент,

$$C_{об} = C_3 + 0,005 \delta C_3, \quad (2.4)$$

где  $\delta$  – толщина металла свариваемой детали, мм.

Температура сопутствующего сварке или наплавке подогрева зависит от материала изделия и колеблется в среднем от 250 до 400°С.

Уменьшение содержания водорода в наплавленном металле достигается улучшением защиты сварочной ванны от внешней среды, тщательной подготовкой поверхности перед наплавкой, прокаливанием присадочного материала и др.

При анализе свариваемости не следует упускать из виду тот факт, что от воздействия значительных температур происходит разупрочнение термически упрочненных сталей. Таким образом, перед разработкой технологии сварки или наплавки следует определить свариваемость основного, присадочного металла и металла шва; вероятность появления трещин; разупрочнение сплава и назначить необходимые мероприятия для уменьшения или исключения нежелательных явлений.

### 3. ПОДГОТОВКА К СВАРОЧНО-НАПЛАВОЧНЫМ РАБОТАМ

При сварочно-наплавочных работах, подготовительные операции заключаются в следующем: зачистке мест сварки или наплавки металлическими щетками; удалении загрязнений, ржавчины, остатков масел. При наличии на детали отверстий, шпоночных канавок их необходимо закрыть пробками или временными шпонками из малоуглеродистой стали. Шпонки следует укладывать на асбестовые прокладки толщиной 2–3 мм. Пробки и временные шпонки должны выступать над поверхностью детали на 1–2 мм. Недопустима постановка медных и графитовых пробок. Разрешается забивка отверстий асбестом.

Концы трещин выявляются нагревом газовой горелки, накерниваются и производится их засверловка.

Подготовку кромок под сварку следует выполнять механической обработкой (на токарном или строгальном станке, фрезерованием, пневманическим или ручным зубилом, крейцмейселем и др.). При подготовке кромок деталей из малоуглеродистой стали разрешается использование газовой резки с последующей механической зачисткой поверхности реза до получения чистого металла. При подготовке газовой резкой кромок на деталях из сталей, содержащих углерода более 0,3%, поверхность реза необходимо обработать механическим способом на глубину не менее 3 мм.

При выборе формы разделки кромок (рис. 3.1) следует иметь ввиду, что наиболее экономичной формой является I-образная без скоса кромок. В сравнении с V-образной более экономичными являются K- и X-образные двухсторонние. Однако они могут быть реализованы при возможности доступа к обеим сторонам детали.

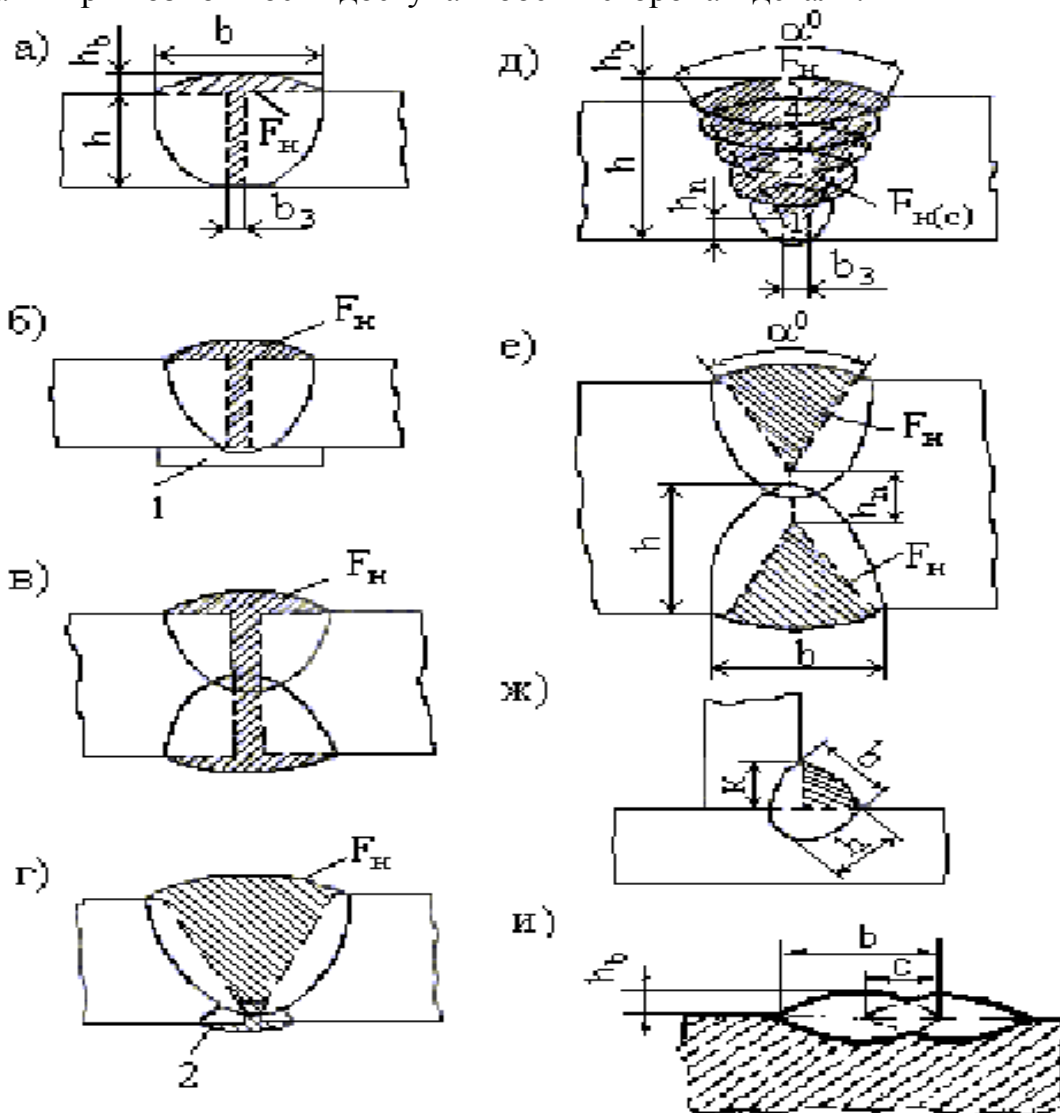


Рис. 3.1. Размеры и форма разделки кромок и сварного шва:

- а) I-образная (без скоса кромок), односторонний стыковой шов;
- б) то же с металлической (остающейся) подкладкой 1;
- в) I-образная (без скоса кромок), двухсторонний стыковой шов;
- г) V-образная, стыковой шов с подваркой (2) корня шва;

- д) V-образная многопроходной стыковой шов (цифры указывают номер прохода – слоя);
- е) X-образная, двухсторонний стыковой шов;
- ж) угловой шов (без скоса кромки вертикального элемента);
- и) расположение валиков при наплавке (наплавленный металл (наплавленный металл заштрихован, пунктиром показана первоначальная разделка кромок соединяемых элементов)

При заварке несквозных трещин чаще всего используется V-образная разделка, при заварке сквозных – X-образная.

Площадь поперечного сечения шва определяется геометрическим расчетом. При этом высота усиления шва  $h_b$ , при сварке, назначается в пределах  $0,1 \div 0,3$  толщины металла детали  $\delta$ , а при заварке трещины –  $0,2 \div 0,3$  от глубины трещины.

Размеры валиков при ручной дуговой сварке рассчитываются по формулам  $b = (2 \div 4)d_э$ ,  $h_b = (0,8 \div 1,2)d_э$ , где  $d_э$  – диаметр электрода.

При других способах сварки и наплавки площадь поперечного сечения валика можно принять равной  $0,3 \div 0,7 \text{ см}^2$ .

При многопроходной заварке трещины сечение первого слоя не должно превышать  $0,3 \div 0,35 \text{ см}^2$  и может быть определено по формуле

$$F_1 = (6 \div 8) d_э.$$

При многослойной наплавке наложение последующих слоев необходимо проводить после полного остывания предыдущих и зачистки последних до металлического блеска.

#### 4. ВЫБОР ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ

Сварочная дуга является мощным дуговым разрядом в ионизированной среде газов и паров металла. Характеристиками дуги являются ее ток  $I_d$  и напряжение  $U_d$ . Статическая вольт-амперная характеристика дуги (рис. 4.1) показывает зависимость  $U_d = f(I_d)$  при  $I_d = \text{const}$ . Она имеет три характерных участка: падающий I, жесткий II и возрастающий III.

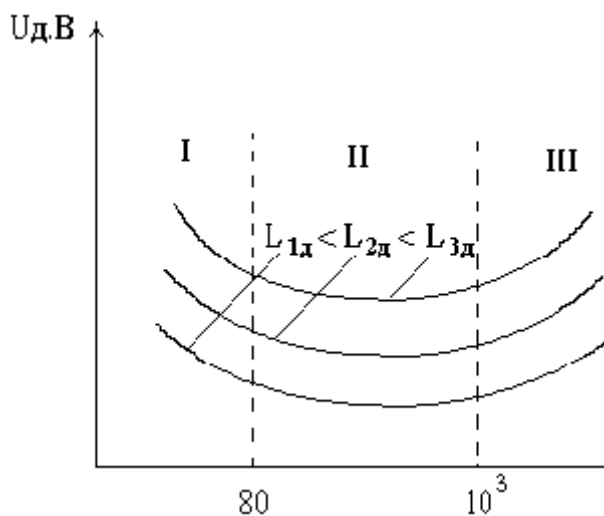


Рис. 4.1. Статические вольт-амперные характеристики дуги



Крутопадающая характеристика дуги (участок I) бывает при плотности тока не более  $10\text{--}12 \text{ А/мм}^2$ . При увеличении  $I_d$  увеличиваются поперечное сечение столба дуги и электропроводность, причем увеличение последних идет с некоторым опережением роста тока дуги. Поэтому на участке I напряжение дуги при увеличении тока падает. При дальнейшем увеличении  $I_d$  (участок II) пропорционально ему растут площадь поперечного сечения и плотность тока. В связи с этим напряжение дуги остается практически неизменным. Такое состояние характерно для дуг с плотностью тока  $12 \div 80 \text{ А/мм}^2$ , т.е. практически во всем диапазоне режимов сварки штучными электродами, неплавящимися электродами и под флюсом.

При сварке плавящимся электродом в защитных газах на форсированных режимах под флюсом (когда плотность тока более  $80 \text{ А/мм}^2$ ), при увеличении  $I_d$ , резервы роста сечения столба дуги исчерпаны, поэтому он сжимается и вызывает увеличение напряжения  $U_d$ . На таких режимах статическая характеристика дуги (участок III) становится возрастающей.

В процессе сварки дуга и источник ее питания образуют взаимосвязанную систему. Устойчивость горения дуги и стабильность режима сварки зависят как от условий существования дугового разряда, так и от свойств и параметров источников питания и, в первую очередь, от внешней характеристики источника. Внешней характеристикой источника питания сварочной дуги называется зависимость между напряжением на его зажимах  $U_{инп}$  и током  $I_{св}$ , протекающим в сварочной цепи при нагрузке, т.е.  $U_{инп} = f(I_{св})$ .

Существуют следующие внешние характеристики источников питания: падающие, пологопадающие, жесткие, возрастающие (рис.4.2).

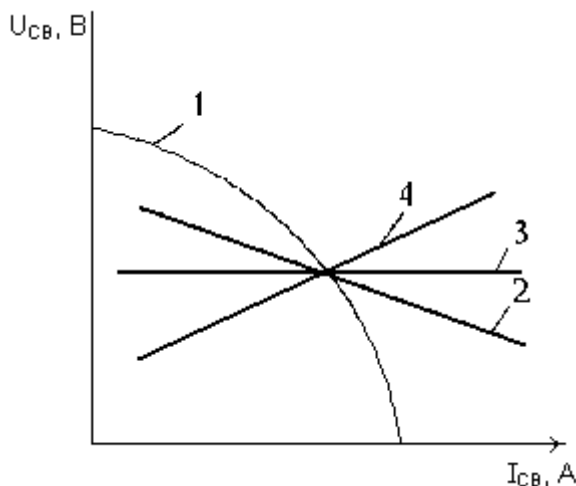


Рис. 4.2. Внешние характеристики источников питания: 1 – падающие; 2 – пологопадающие; 3 – жесткие; 4 – возрастающие

Установившийся режим работы системы определяется точкой пересечения (рис. 4.3) внешней характеристики источника 1 и вольт-амперной характеристики 2 дуги, т. е. для нормального протекания процесса сварки необходимо равенство напряжений на дуге и клеммах источника питания ( $U_d = U_{инп}$ ). Однако устойчивое ее горение будет при токе, соответствующем точке В. Ток, соответствующий точке А ( $I_A$ ), является током зажигания дуги. После появления последней, он автоматически повысится до рабочей величины  $I_B$ .

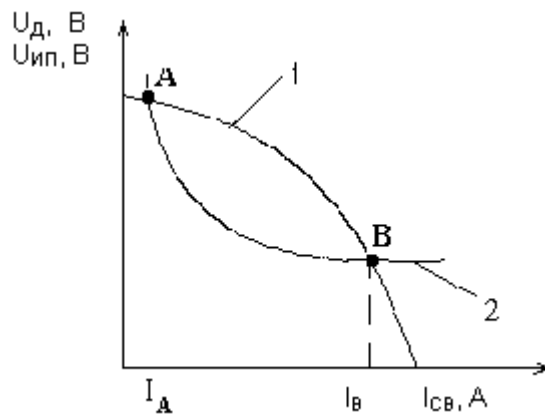


Рис. 4.3. Внешняя характеристика источника питания и вольт-амперная характеристика дуги:  $I_A$  – ток зажигания дуги;  $I_B$  – ток устойчивого горения дуги

Выбор источника питания сварочной дуги по типу внешней характеристики производится в зависимости от способа сварки.

Если форма характеристики дуги падающая, то внешняя характеристика источника питания (рис. 4.4) должна быть более крутопадающей.

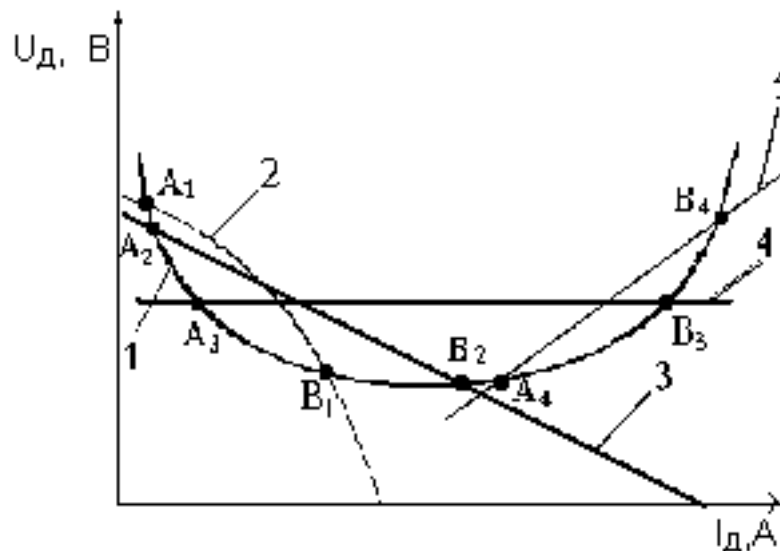


Рис. 4.4. Характеристики системы “дуга – источник питания”: 1 – вольт-амперная характеристика дуги; 2,3,4,5 – внешние характеристики источников питания

При жесткой характеристике дуги характеристика источника должна быть пологопадающей или жесткой, но в меньшей степени, чем характеристика дуги. И при возрастающей, вольт-амперной характеристике дуги принимается источник питания с жесткой или слегка возрастающей характеристикой.

При ручной сварке, как правило, наблюдаются значительные колебания длины дуги, а соответственно и напряжения на дуге, но режим сварки при этом должен быть стабильным.

Значит в этом случае, чем круче характеристика источника питания, тем более устойчива дуга, т.е. тем меньше изменение тока при изменении длины дуги.

При автоматической сварке плавящимся электродом происходит саморегулирование, при котором длина дуги после ее изменения восстанавливается автоматически за счет изменения тока и соответственно скорости плавления проволоки. Явление саморегулирования наиболее сильно проявляется при повышении плотности тока в электроде и уменьшении крутизны внешней характеристики источника питания.

Следовательно, источники питания сварочной дуги с крутопадающей внешней характеристикой используются, как правило, при ручной сварке, при сварке неплавящимся электродом в среде защитных газов и сварке под флюсом при сравнительно небольших плотностях тока.

Источники питания с другими типами внешних характеристик рекомендуются для сварки и наплавки под флюсом на форсированных режимах со значительной плотностью тока, сварки тонкой проволокой, электрошлаковой и др.

Таким образом, для определенного способа сварочно-наплавочных работ должен быть подобран источник питания с такой внешней характеристикой, при которой система “дуга – источник питания” в рабочем режиме будет устойчива.

Кроме отмеченного, источники питания должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- возможности функционирования при периодических коротких замыканиях сварочной цепи, происходящих как в процессе сварки, так и при зажигании дуги;
- значение тока короткого замыкания должно быть в 1,5–2 раза больше значения рабочего тока;
- напряжение холостого хода источника должно позволять легко зажигать дугу, обеспечивать устойчивое ее горение и быть безопасным для сварщика при соблюдении им правил техники безопасности;
- возможности регулирования сварочного тока в широком диапазоне.

Технические характеристики некоторых источников питания приведены в табл. 1–5 приложения.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Справочник сварщика / Под ред. В.В. Степанова. – Перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983.
2. Сварка в машиностроении: Справочник. В 4-х томах / Под ред. Г.А. Николаева. – М.: Машиностроение, 1978.
3. Сварка и резка в промышленном строительстве. В 2-х томах / Под ред. Б.Д. Малышева. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1989.
4. Контроль качества сварки / Под ред. В.Н. Волченко. – М.: Машиностроение, 1975.
5. Дефектоскопия деталей подвижного состава железных дорог и метрополитенов / Под ред. В.А. Ильина. – М.: Транспорт, 1983.
6. Бабенко Э.Г. Восстановление деталей подвижного состава электрошлаковой сваркой и наплавкой: Учебное пособие. – Хабаровск: ХабИИЖТ, 1993.
7. Дриц М.Е., Москалёв М.А. Технология конструкционных материалов и материаловедение. – М.: Высшая школа, 1990 – 447с.
8. Шебеко А.И. Оборудование и технология дуговой автоматической и механизированной сварки. – М.: Высшая школа, 1986.

### **5. ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ СВАРКИ ПЛАВЛЕНИЕМ**

#### **5.1. Ручная сварка покрытыми электродами**

Ручная дуговая сварка выполняется плавящимся или неплавящимся (угольным, графитовым, вольфрамовым, гафниевым) электродом. При сварке плавящимся электродом (рис. 5.1) дуга горит между ним и изделием. Формирование металла шва

осуществляется за счет материала электрода и расплавления основного металла в зоне действия дуги. При сварке неплавящимся электродом для формирования металла шва в зону дуги извне подается присадочный материал.

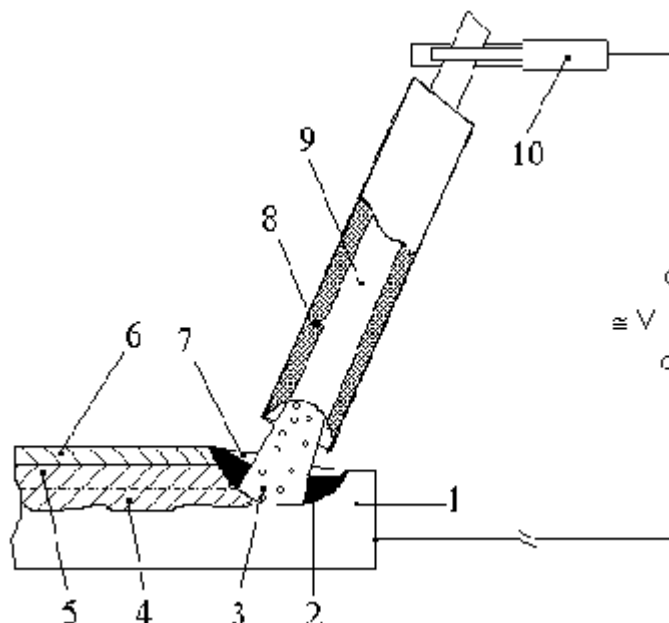


Рис. 5.1. Схема ручной дуговой сварки штучным электродом: 1 – основной металл; 2 – сварочная ванна; 3 – электрическая дуга; 4 – проплавленный металл; 5 – наплавленный металл; 6 – шлаковая корка; 7 – жидкий шлак; 8 – электродное покрытие; 9 – металлический стержень электрода; 10 – электрододержатель

Наибольшее применение нашла сварка плавящимся электродом, так как ее можно применять во всех пространственных положениях, сваривая черные, цветные металлы и различные сплавы. При этом используются электроды диаметром  $1 \div 12$  мм. Однако основной объем работ выполняется электродами диаметром  $3 \div 6$  мм.

Электроды классифицируются по материалу, из которого они изготовлены, по назначению, по виду покрытия, по свойствам металла шва, по допустимым пространственным положениям сварки или наплавки, по роду и полярности тока.

По назначению электроды подразделяются на следующие группы:

- для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей – У;
- для сварки теплоустойчивых легированных сталей – Т;
- для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами – В;
- для наплавки слоев с особыми свойствами – Н.

По толщине покрытия существуют следующие группы электродов:

- с тонким покрытием – М;
- со средним покрытием – С;
- с толстым покрытием – Д;
- с особо толстым покрытием – Г.

Покрытия могут быть кислые – А, основные – В, целлюлозные – Ц, рутиловые – Р и прочие – П.

В настоящее время при ремонте техники на железнодорожном транспорте находят наибольшее применение кислые, основные и рутиловые покрытия.

**Кислое покрытие** состоит в основном из оксидов металла, алюмосиликатов и раскислителей. Газовая защита осуществляется за счет сгорания органических составляющих покрытия.

Сварку электродами с кислым покрытием можно производить при помощи постоянного и переменного тока. В процессе сварки сварочная ванна бурно кипит вследствие активного раскисления металла углеродом, что способствует хорошей дегазации металла шва. Поэтому даже при сварке по окалине или ржавчине получаются сравнительно плотные швы, уступающие по характеристикам пластичности и ударной вязкости металлу шва электродам с другими видами покрытий. При использовании электродов с кислым покрытием существует склонность к образованию кристаллизационных трещин, большое разбрызгивание металла, значительное выделение в процессе сварки вредных марганцевых выделений. К электродам с кислым покрытием относятся электроды следующих марок: ОМА-2, ЦМ-7, ОММ-5 и др.

**Основное покрытие** состоит преимущественно из мрамора, плавленого шпата, раскислителей и легирующих элементов (ферромарганец, ферросилиций, феррованадий и др.). Газовая защита расплавленного металла обеспечивается углекислым газом и окисью углерода, которые образуются в результате диссоциации карбонатов.

Электроды с основным покрытием (УОНИ13/45, СМ-11, УОНИ13/55К, ВН-48, ОЗС-33, ОЗС-25, ОЗС-18, УОНИ13/55У, УОНИ13/65, ВСОР-65У и ряд других) обеспечивают получение наплавленного металла с малым содержанием газов и вредных примесей, с высокими пластическими характеристиками и ударной вязкостью при нормальной и отрицательных температурах, с хорошей стойкостью против образования кристаллизационных трещин и старения. Поэтому такие электроды предназначаются для сварки конструкций из углеродистых и конструкционных сталей, жестких конструкций из литых углеродистых и низколегированных высокопрочных сталей.

Недостатком этого вида покрытий является повышенная чувствительность к порообразованию при увлажнении покрытия, увеличении длины дуги, при наличии окалины, ржавчины или масла на кромках свариваемых изделий.

Сварка электродами с основным покрытием ведется, как правило, на постоянном токе обратной полярности. Чтобы использовать такие электроды для сварки на переменном токе, в покрытие вводятся компоненты, содержащие легкоионизирующие элементы: калиевое жидкое стекло, кальцинированную соду, поташ и др.

**Рутиловое покрытие** содержит в основном рутиловый концентрат, различные алюмосиликаты и ферромарганец. Раскисление и легирование металла шва достигается наличием ферромарганца, а газовая защита – целлюлозой. Марки электродов с рутиловым покрытием: ОЗС-12, МР-3, ОЗС-6, ОЗС-4, АНО-4, ОЗС-32, ОЗС-21 и др.

Электроды с рутиловым покрытием обладают высокими сварочно-технологическими свойствами, обеспечивают хорошее формирование шва, имеют небольшое разбрызгивание, легкую отделимость шлаковой корки, малую склонность металла к образованию пор. Сварку можно вести как на постоянном, так и переменном токе.

В табл. 5.1 приведены некоторые характеристики электродов общего назначения наиболее распространенных в ремонтной практике для сварки и наплавки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей.

Для получения при ручной дуговой наплавке слоев с высокими механическими свойствами (большая твердость, износостойкость, жаростойкость и другие) рекомендуется использовать электроды, приведенные в табл. 5.2.

Перед сваркой и наплавкой необходима прокалка электродов: с рутиловой обмазкой при  $t = 80 \pm 120 \text{ }^\circ\text{C}$ , с карбонаторутиловым покрытием при  $t = 200 \pm 250 \text{ }^\circ\text{C}$  и с основным – при  $t = 300 \pm 350 \text{ }^\circ\text{C}$ . Время прокаливания  $2 \pm 2,5$  часа.

Несмотря на широкое распространение ручной дуговой сварки при производстве сварочно-наплавочных работ, она имеет ряд недостатков: сравнительно низкое качество наплавленного металла по причине слабой защиты сварочной ванны от воздействия окружающей среды; большое колебание сварочного тока; значительную вероятность возникновения непроваров, подрезов и других дефектов соединения; большие потери (до 30%) присадочного материала на угар, разбрызгивание, огарки; малую производительность из-за невозможности использования высокой плотности тока и перерывов при смене электродов; сложность технологического процесса, что требует длительного времени подготовки сварщиков и др. Все это следует учитывать при выборе способа сварки и наплавки.

Таблица 5.1

Характеристики электродов общего назначения

Тип электрода	Марка электрода	Свариваемый материал	Род тока	Пространственное положение детали
1	2	3	4	5
Э 42	ОМА - 2	Углеродистые стали с $\sigma_{\text{в}} > 410 \text{ МПа}$ тонколистовые	Переменный, постоянный обратной полярности	Все положения
Э 42 Э	УОНИ 13/45	Углеродистые и низколегированные стали с $\sigma_{\text{в}} \leq 410 \text{ МПа}$ при повышенных требованиях к металлу шва по пластичности, ударной вязкости и стойкости против образования трещин	Постоянный обратной полярности	Все положения (электроды диаметром 5,0 мм - нижнее и вертикальное )
Э 46	СМ - 11 ОЗС - 12	Углеродистые стали с $\sigma_{\text{в}} \leq 450 \text{ МПа}$	-"-	-"-
	МР - 3	-"-	Переменный, постоянный прямой полярности	-"-
	ОЗС - 6	-"-	Переменный, постоянный обратной полярности	-"-
	ОЗС - 4	-"-	Переменный, постоянный любой полярности	Все положения
	АНО - 4	-"-	Переменный, постоянный любой полярности	Все положения
	ОЗС - 32	-"-	Переменный, постоянный	(электроды диаметром 5

	ОЗС - 21	”-	обратной полярности Переменный, постоянный прямой полярности	мм - нижнее и вертикальное)
Э 46 А	УОНИ 13/55 К	Углеродистые и низколегированные стали с $\sigma_b \leq 450$ МПа при повышен-ных требованиях к металлу шва по пластичности, ударной вязкости и стойкости против образования трещин	Постоянный обратной полярности	”-
	ВН - 48	”-	Постоянный обратной полярности, переменный - для диаметров электродов 4 и 5 мм.	Все положения (электроды диаметром 5 мм - нижнее)
Э 50 А	УОНИ 13/55	Углеродистые и низколегированные стали с $\sigma_b \leq 490$ МПа при повышен-ных требованиях к металлу шва по пластичности, ударной вязкости и стойкости против образования трещин	Постоянный обратной полярности	Все положения (электроды диамет-ром 5 мм - нижнее и вертикальное)
	ОЗС - 33	”-	Переменный , постоянный любой полярности	”- ”-
	ОЗС - 25	То же, в том числе и при пониженных температурах	Постоянный обратной полярности	”-
Э 55	ОЗС - 18	Низколегированные стали с $\sigma_b < 490$ МПа стойкие к атмосферной коррозии	”-	
	УОНИ 13/55 У	Углеродистые и низколегированные стали марок Ст 5, 25Г2С, 35ГС и др. при сварке стержней арматуры и рельсов	Переменный, постоянный обратной полярности	Нижнее
Э 60	УОНИ 13/65	Углеродистые и низколегированные стали с $\sigma_b \leq 590$ МПа	Постоянный обратной полярности	Все положения (электроды диаметром 5 мм - нижнее и вертикальное)
	В6Ф - 65У	То же, преимущественно для сварки трубопроводов	”-	Все положения

Таблица 5.2

Характеристики наплавочных электродов

Марка электрода	Назначение	Твердость	Особенности
-----------------	------------	-----------	-------------

и сердечника	электрода	наплавленного металла	Наплавки
1	2	3	4
ОЗН-300М, сердечник-про волока Св-08, Св-08Г2С	Наплавка деталей из углеродистых и низколегированных сталей, работающих в условиях трения и ударных нагрузок	HB250-350	В нижнем положении на переменном и постоянном токе обратной полярности
ОЗН-400М, сердечник-прово лока Св-08, Св-08Г2С	”	HB350-450	”
ОЗН-7, сердечник-про волока Св-08	Наплавка быстро- изнашивающихся деталей, работающих при значительных ударных нагрузках	HRC>55	В нижнем положении на постоянном токе обратной полярности. Обеспечивает трещиностойкость при многослойной наплавке На постоянном токе обратной полярности, в нижнем и вертикаль-ном положении в 1–4 слоя с подогревом до 300–400 ° С
ОЗШ-3, сердечник-про волока Св-08, Св-08А	Наплавка быстроизнашивающихся деталей	HRC52-58	Наплавка на постоянном токе обратной полярности широкими валиками
НР-70, сердечник-про волока Св-08,Св-08А	Наплавка деталей из углеродистых сталей, работаю щих в условиях трения качения и ударных нагрузок	HB 300-390	
ОМГ–Н, сердечник-про волока Св-06Н3А	Наплавка деталей из высокомарган-цевистой стали типа 110Г13, 110Г13Л	HRC25-33	Наплавка в нижнем и наклонном положениях на переменном или постоянном токе с минимальным разогревом детали
ЦНИИН-4, сердечник-про волока Х14Г4Н3Т	Наплавка и заварка дефектов на деталях из стали 110Г13 и 110Г13Л	HB450-500	Наплавка на постоянном токе обратной полярности в нижнем положении
ОЗИ-3, сердечник- про волока	Наплавка быстроизнашивающихся деталей	HRC58-63	Наплавка в нижнем положении на постоянном токе



<p>Св-08, Св-08А</p> <p>ОЗН-6, сердечник-про волокна Св-08, Св-08Г2С</p>	<p>Наплавка быстро-изнашивающихся деталей, работающих в условиях интенсивного износа и значительных ударных нагрузок</p>	<p>HRC &gt; 55</p>	<p>обратной полярности в 1–4 слоя с предварительным прогревом до 300–600 °С, медленным охлаждением с печью или в песке, отжигом или отпуском при 560 °С в течение 2 ч</p> <p>Наплавка в нижнем положении на переменном токе или постоянном обратной полярности. Наплавленный металл обладает повышенной трещиностойкостью при многослойной наплавке и в условиях ударных нагрузок</p>
--	--	--------------------	---

## 5.2. Автоматическая сварка под флюсом

При сварке под флюсом (рис. 5.2) дуга горит между сварочной проволокой 1 и свариваемым изделием 5 под слоем гранулированного флюса 4. Ролики 2 специального механизма падают в электродную проволоку в зону дуги 6.

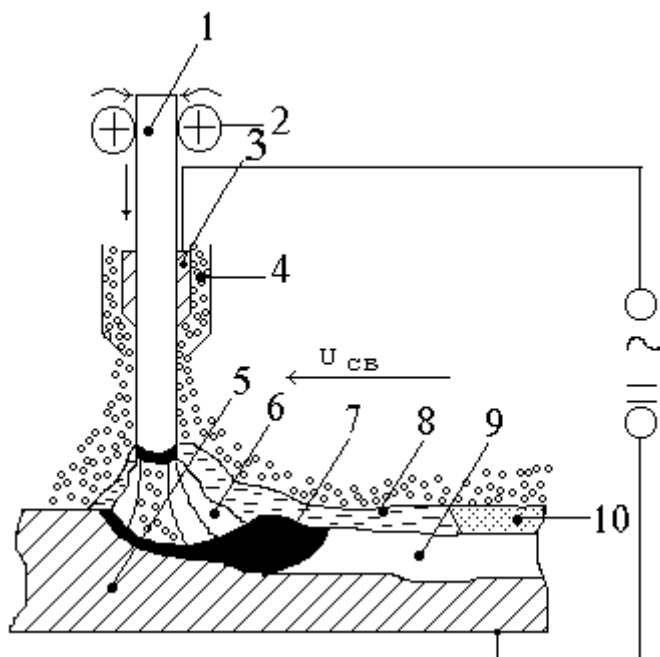


Рис. 5.2. Схема автоматической сварки под флюсом

Сварочный ток (переменный или постоянный прямой или обратной полярности) подводится к проволоке с помощью скользящего контакта 3, а к изделию – постоянным контактом. Сварочная дуга горит в газовом пузыре, который образуется в результате плавления флюса и металла.

Кроме того, расплавленный металл защищен от внешней среды слоем расплавленного флюса 8. По мере удаления дуги от зоны сварки расплавленный флюс застывает и образует шлаковую корку 10, которая впоследствии легко отделяется от поверхности шва.

Флюс засыпается впереди дуги из бункера слоем толщиной 40–80 мм и шириной 40–100 мм. Нерасплавленный флюс после сварки используется повторно. Расплавленные электродный и основной металлы 7 в сварочной ванне перемешиваются и при кристаллизации образуют сварной шов 9.

Преимущественное применение находит сварка проволокой (проволочным электродом). Однако в последнее время все большее распространение получает наплавка ленточными или комбинированными электродами.

К достоинствам сварки под флюсом относятся: высокая производительность процесса, благодаря использованию больших токов, глубокому проплавлению, почти полному отсутствию потерь металла на угар и разбрызгивание (не более 3%); высокое качество наплавляемой поверхности в результате хорошей защиты флюсом сварочной ванны; незначительное количество неметаллических включений в металле шва; возможность легирования наплавляемого металла через флюс; лучшее использование тепла дуги (по сравнению с ручной сваркой расход электроэнергии уменьшается на 30–40%); лучшие условия труда сварщика и ряд других.

Вместе с тем, этот вид сварки имеет ряд недостатков: значительный нагрев изделия; повышенную текучесть расплавленных металла и флюса, что позволяет вести сварку только в нижнем положении и наплавлять детали диаметром не менее 40 мм; необходимость в отдельных случаях повторной термической обработки; невозможность непосредственного наблюдения за формированием сварочного шва.

Сварка под флюсом используется при изготовлении и ремонте конструкций и деталей ответственного назначения, которые должны быть надежными при эксплуатации в условиях низких и высоких температур.

Для рассматриваемого вида сварки и наплавки при ремонте подвижного состава наибольшее применение находят флюсы марок АН-348А, АН-348В, ОСЦ-45, АНЦ-1 и др. Такие флюсы рекомендуются для сварки низко- и среднеуглеродистых сталей. Для сварки и наплавки низко- и среднелегированных сталей используются флюсы АН-348А, АН-60, АН-22 и другие в сочетании с проволоками марок Св-08А, Св-08ГА и проволоками, легированными хромом, молибденом, никелем. В табл. 5.3 приведено назначение некоторых марок флюсов и проволок.

Таблица 5.3

Флюсы и проволока для автоматической сварки

Марка флюса	Назначение флюса	Рекомендуемые марки проволоки
-------------	------------------	-------------------------------

АН-348А, АН-348В, АНЦ-1 АН-60	Сварка и наплавка изделий широкой номенклатуры из углеродистых и низколегированных сталей	Св-08, Св-08А, Св-08ГА, Св-10Г2
АН-22	Сварка углеродистых и низколегированных сталей	Св-08, Св-08ГА; Св-08ХМ, Св-10НМА
АНК-30	Сварка низко- и среднелегированных сталей Сварка углеродистых и низколегированных сталей, в т.ч. хладостойких мелкозернистых повышенной прочности	Св-08ГА, Св-08ХМ, Св-08ХМФ, Св-08ХГНМГА Св-08, Св-08ГА, Св-08ХМ, Св-08ХМФ, Св-08ХГНМТА

Для получения при восстановлении деталей слоев с повышенными физико-механическими свойствами при наплавке под флюсом используются наплавочные проволоки, которые подразделяются на 3 группы: из углеродистой стали типа Нп-30, Нп-40, Нп-80 и других; из легированной стали Нп-30Х5, Нп-30ГСА, Нп-40ХФА и других; из высоколегированной стали, например, Нп-4Х13, Нп-45Х4В3Ф, Нп-45Х2В8Т и других.

Для повышения производительности наплавки под флюсом в качестве наплавочного материала используются сплошные или порошковые ленты толщиной 0,3–1 мм и шириной 20–100 мм.

В табл. 5.4 приведены технические характеристики некоторых марок наплавочной проволоки, рекомендуемых для восстановления деталей подвижного состава.

Технические характеристики аппаратов для автоматической сварки и наплавки под флюсом приведены в табл. 6 приложения.

Таблица 5.4

Технические характеристики наплавочной проволоки

Группа стали проволоки	Марка проволоки	Твердость наплавленного металла	Примерная номенклатура восстанавливаемых деталей
Углеродистая	Нп-30	НВ 160-220	Оси, валы
	Нп-45	НВ 170-230	То же
Легированная	Нп-50	НВ 180-240	Опорные ролики
	Нп-85	НВ 280-350	Коленчатые валы, крестовины карданов
	Нп-40Г	НВ 180-240	Оси, валы, ролики
	Нп-50Г	НВ 200-270	Опорные ролики
	Нп-65Г	НВ 230-310	Оси опорных роликов
	Нп-40Х3Г2МФ	HRC 40-44	Детали, испытывающие удары и работающие в условиях абразивного изнашивания
	Нп-40Х2Г2М	HRC 56-57	Детали, работающие с динамической нагрузкой, коленчатые валы, поворотные кулаки, оси
Высоколегированная	Нп-50ХФА	HRC 46-52	Коленчатые валы двигателей внутреннего сгорания, шлицевые валы
	Нп-30Х13	HRC 40-47	Шейки коленчатых валов, плунжеры гидропрессов. Выхлопные клапаны двигателей
	Нп-Х20Н80Т	НВ 180-220	внутреннего сгорания

### 5.3. Сварка и наплавка деталей в среде защитных газов

При сварке и наплавке в среде защитных газов в зону горения дуги под небольшим давлением подается газ, который вытесняет воздух из этой зоны и защищает сварочную ванну от кислорода и азота воздуха.

В зависимости от применяемого газа сварка разделяется на сварку в активных ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2$ , и др.) и инертных ( $\text{He}$ ,  $\text{Ar}$ ,  $\text{Ar}+\text{He}$  и др.) газах. Сварку (наплавку) можно осуществлять как плавящимся, так и неплавящимся электродами.

Наибольшее распространение при восстановлении деталей подвижного состава получили сварка и наплавка в среде углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) – сварка плавящимся электродом (проволокой) с защитой сварочной ванны от воздуха углекислым газом. Такой способ является самым дешевым при сварке углеродистых и низколегированных сталей. Поэтому по объему производства он занимает одно из первых мест среди механизированных способов сварки плавлением.

При сварке (наплавке) в среде углекислого газа (рис. 5.3) из сопла горелки 2, охватывающей поступающую в зону горения дуги электродную проволоку 4, вытекает струя защитного газа 6, оттесняет воздух из сварочной ванны.

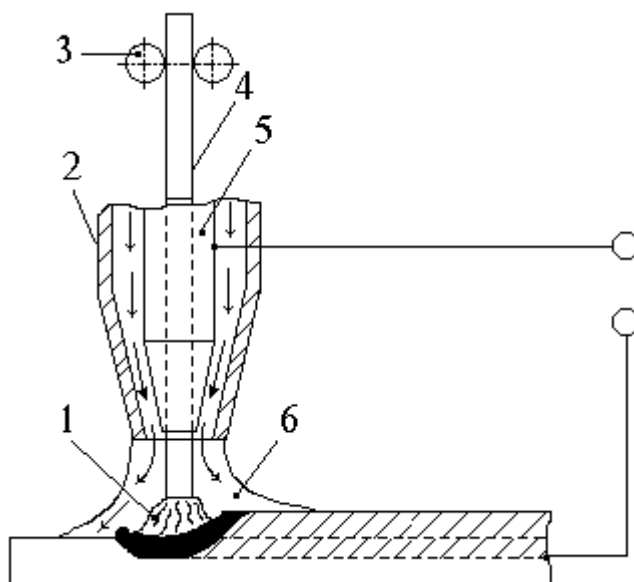


Рис. 5.3. Дуговая сварка в защитном газе плавящимся электродом: 1 – электрическая дуга; 2 – газовое сопло; 3 – подающие ролики; 4 – электродная проволока; 5 – токоподводящий мундштук; 6 – защитный газ

Однако в процессе сварки углекислый газ под действием высоких температур диссоциирует:  $2\text{CO}_2 \rightleftharpoons 2\text{CO}+\text{O}_2$ . Поэтому сварка идет не в чистом углекислом газе, а в смеси газов  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$  и  $\text{O}_2$ . В этом случае обеспечивается практически полная защита расплавленного металла от азота воздуха, но сохраняется почти такой же окислительный характер газовой смеси, каким он был бы при сварке голой проволокой без защиты от атмосферы воздуха.

Следовательно, при сварке и наплавке в среде  $\text{CO}_2$  необходимо предусматривать меры по раскислению наплавляемого металла.

Эта задача решается использованием сварочных проволок диаметром 0,8–2 мм, в состав которых входят элементы раскислители. Чаще всего это кремний (0,6–1,0%) и

марганец (1–2%). При наличии таких компонентов раскисление окислов железа происходит по реакциям  $2 \text{FeO} + \text{Si} \rightarrow \text{SiO}_2 + 2\text{Fe}$  и  $\text{FeO} + \text{Mn} \rightarrow \text{MnO} + \text{Fe}$ .

Образующиеся в процессе раскисления окислы кремния и марганца всплывают на поверхность сварочной ванны и после кристаллизации металла удаляются.

Наибольшее распространение при сварке в среде  $\text{CO}_2$  нашли электродные проволоки СВ-08ГС, СВ-08Г2С, СВ-10ГС, СВ-18ХГС и др.

Кроме проволок сплошного сечения, часто используются порошковые проволоки типа ПП-АН4, ПП-АН5, ПП-АН8, ПП-3Х2В8Т и др.

Если в сварочной проволоке нет достаточного количества раскислителей, то сварка сопровождается большим разбрызгиванием металла, наличием в нем пор после кристаллизации, большой вероятностью образования трещин в наплавленном слое. Сварка в среде  $\text{CO}_2$  имеет целый ряд преимуществ: минимальную зону структурных изменений металла при высокой степени концентрации дуги и плотности тока; большую степень защиты сварочной ванны от воздействия внешней среды; существенную производительность; возможность наблюдения за формированием шва; возможность сваривать металл различной толщины (от десятых долей до десятков миллиметров), производить сварку в различных пространственных положениях, механизировать, автоматизировать технологический процесс; незначительную чувствительность к ржавчине и другим загрязнителям основного металла.

Однако при выборе данного способа сварки и наплавки необходимо иметь ввиду и его недостатки: сильное разбрызгивание металла при токе больше 500 А, что требует постоянной защиты и очистки сопла горелки; интенсивное излучение открытой мощной дуги, требующее защиты сварщика; необходимость охлаждения горелки при значительных токах; осуществление сварки практически только на постоянном токе; наличие специальной проволоки.

Технические характеристики полуавтоматов для сварки в защитных газах приведены в табл.7 приложения.

#### **5.4. Сварка и наплавка самозащитной порошковой проволокой**

Сварка под флюсом затруднена ограниченностью положения шва в пространстве (преимущественно нижнее) и невозможностью наблюдения за его формированием. При сварке в защитных газах может нарушаться надежность защиты сварочной ванны из-за движения воздуха и залипания газового сопла брызгами.

Сварка порошковыми самозащитными проволоками исключает отмеченные недостатки и сочетает в себе положительные стороны автоматизированных и ручного способов сварки.

Сущность и схема сварки аналогичны сварке в защитных газах (см.

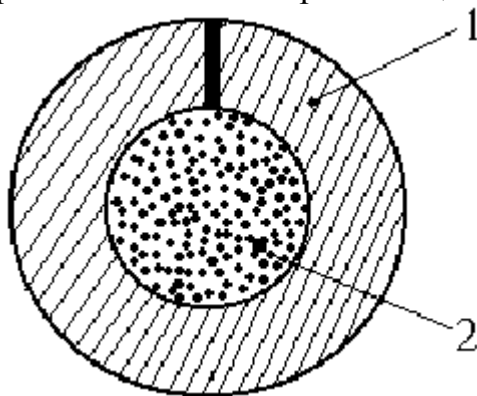


рис. 5.3).

Рис. 5.4. Конструкция порошковой проволоки

Отличие состоит в отсутствии защитного газа, функции которого выполняет сердечник порошковой проволоки при своем сгорании. Проволока (рис. 5.4) состоит из оболочки 1, сформированной из ленты холодного проката марки 08КП или 10КП толщиной 0,2–1,0 мм и шириной 8–20 мм методом профилирования или волочения. Внутри оболочки находится порошкообразный сердечник 2, включающий элементы, выполняющие при сварке такие же функции, как флюс или обмазка электродов. Такая конструкция проволоки предопределяет некоторые особенности ее применения.

Порошок сердечника на 50–70% состоит из неметаллических, неэлектропроводных материалов. В связи с этим дуга горит, перемещаясь по металлической оболочке, и расплавляет ее. При этом плавление сердечника может отставать от плавления оболочки, что не исключает частичного перехода его в сварочную ванну в нерасплавленном состоянии, и создает предпосылки к образованию в металле шва пор и неметаллических включений.

В настоящее время выпускаются проволоки больших диаметров (до 3 мм и более), при сварке которых требуется ток значительной силы, затрудняющий сварку в вертикальном и потолочном положениях.

Проволоки с рутиловым покрытием органического типа (например, ПП-АН1, ПП-2ДСК и другие) имеют удовлетворительные сварочно-технологические свойства, мало чувствительны к изменению напряжения дуги. Однако сварка при большом токе повышенной скорости может привести к образованию на швах подрезов. Вылет электрода для этой проволоки должен быть в пределах 15–20 мм.

Порошковые проволоки карбонатно-флюоритового типа (ПП-АН3, АП-АН7, ПП-АН11, СП-2 и др.) очень чувствительны к изменению напряжения на дуге и особенно к загрязнению кромок. Для надежного возбуждения и горения дуги, для исключения пор в швах вылет электрода должен устанавливаться в пределах 25–30 мм.

Увлажнение сердечника при хранении проволоки может привести к появлению раковин в шве. Для предупреждения этого проволоку следует прокалить при  $t = 230 - 250 \text{ } ^\circ\text{C}$  в течение 2–3 часов. Однако следует иметь в виду, что после прокаливания уменьшается жесткость проволоки, а это требует тщательной настройки механизма ее подачи.

В табл. 5.5 и 5.6 приведены технические характеристики некоторых типов сварочной и наплавочной самозащитной порошковых проволок, рекомендуемых при ремонте подвижного состава. Работы выполняются постоянным током обратной полярности.

Таблица 5.5

## Технические характеристики сварочной порошковой проволоки

Марка проволоки	Диаметр проволоки, мм	Положение сварки	Механические свойства наплавленного металла			Температура, до которой обеспечивается необходимая ударная вязкость, °С
			$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\sigma_k$ , %	
ПП-АН3	2,8; 3,0	Нижнее	500–600	$\geq$	$\geq 20$	-20
ПП-АН7	2,4	Нижнее, горизонтальное	500–600	$440 \geq$	$\geq 20$	-20
ПП-АН11	2,0	Нижнее, горизонтальное, вертикальное	450–600	$\geq 390$	$\geq 22$	-20
ПП-АН45	2,5	”	”	”	”	-30
СП-3	2,2-2,6	”	500–600	”	”	-20
ППТ-7М	2,2	”	500–650	$\geq 440$	$\geq 20$	-20
СП-9	2,8	”	600–750	”	$\geq 18$	-10
				$\geq 540$		

Таблица 5.6

## Технические характеристики наплавочной порошковой проволоки

Марка проволоки	Диаметр проволоки, мм	Твердость наплавленного металла (второй и последующие слои)	Назначение
ПП-Нп-14ст	3,0	НВ 240-260	Для восстановления деталей из углеродистых сталей, работающих в условиях трения металла о металл
ПП-Нп-90Г13Н4	2,8	НВ 160-240	Для восстановления деталей, испытывающих ударные нагрузки, восстановления размеров, устранения пороков литья из марганцовистой стали
ПП-Нп-30Х5Г2СМ	2,6	HRC 50-56	Для восстановления деталей, работающих в условиях трения металла о металл, при знакопеременных и ударных нагрузках (стальные коленчатые валы, крестовины карданных валов, ролики и т.п.)
ПП-Нп-200Х15С1ГРТ	3,2	HRC 50-56	Для восстановления деталей, работающих в условиях абразивного изнашивания
ПП-Нп-30Х4Г2М	2,0	HRC 42-48	Восстановление деталей, работающих в условиях трения металла о металл в окислительной среде (коленчатые валы двигателей, крестовины карданных валов и дифференциалов)
ПП-Нп-50Х10Б8С2Т	3,2	HRC 50-58	Для восстановления деталей, работающих в условиях абразивного изнашивания с ударными нагрузками

## 5.5. Электрошлаковая сварка и наплавка

Главная особенность электрошлаковой сварки (наплавки) заключается в том, что сварочная цепь электрического тока проходит по электроду, жидкому шлаку и основному металлу, обеспечивая расплавление основного и присадочных материалов. Ванна расплавленного шлака, имея меньшую, чем у расплавленного металла, плотность, постоянно находится в верхней части расплава. Этим самым исключается доступ и воздействие окружающей среды на жидкий металл. Кроме того, капли присадочного металла, проходя через шлак, очищаются от вредных примесей и легируются (в случае наличия в шлаке необходимых легирующих компонентов).

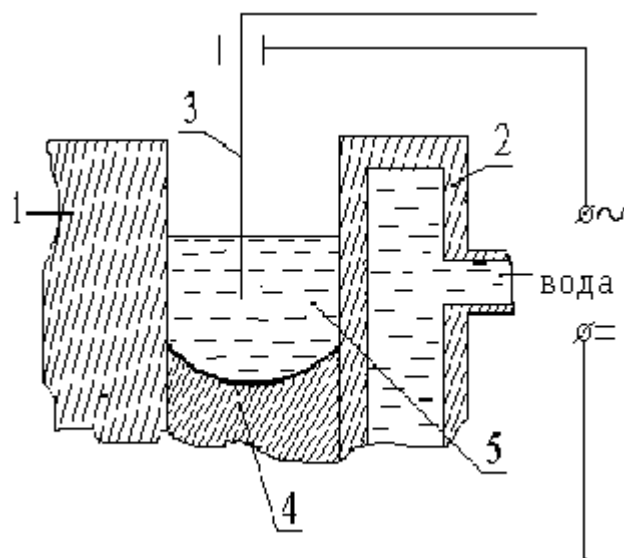


Рис.5.5 Схема электрошлаковой наплавки

Сущность электрошлаковой сварки (наплавки) (рис. 5.5) заключается в следующем. В полость, образованную наплавляемой поверхностью 1 и водоохлаждаемым кристаллизатором 2, подается присадочный материал 3. Ток, проходя между электродом и наплавленным металлом 4 через жидкий шлак 5, поддерживает в нем высокую (до  $2000^{\circ}\text{C}$ ) температуру и электропроводность. Шлак расплавляет подаваемый в него присадочный материал и оплавляет кромки поверхности изделия. Расплавленный металл опускается на дно шлаковой ванны и, кристаллизуясь, образует наплавленную поверхность.

В качестве присадочного материала в практике используются один или несколько электродов из сварочной проволоки, пластинчатые электроды большого сечения, плавящиеся мундштуки. Наиболее часто находит применение проволока диаметром 3 мм, но можно использовать проволоку и других диаметров.

Химический состав электродного металла выбирается в соответствии с составом основного металла. Лучшим вариантом считается такой, при котором металл шва и металл наплавляемого изделия близки по химическому составу и механическим свойствам.

Иногда при сварке в шлаковую ванну подаются легирующие компоненты или используется флюс, содержащий такие компоненты.



При сварке применяются в основном плавные флюсы. Лучшими технологическими свойствами для сварки углеродистых и низколегированных сталей обладают следующие марки флюсов АН-8, АН-8М, АН-22. Хорошие результаты при сварке углеродистых сталей дают флюсы марок АН-348В и АН-47.

Для сварки легированных сталей повышенной прочности типа 25ХНЗМФА, 20Х2М и других используется флюс марки АН-9. Легированные и высоколегированные стали свариваются под флюсом марок АНФ-1, АНФ-7, 48-ОФ-6. Хорошие результаты при сварке коррозионно-стойких и углеродистых сталей получаются при использовании флюса марки АН-45.

Электрошлаковая сварка и наплавка чугуна ведется на флюсах марок АНФ-14, АН-75.

Флюс перед использованием прокаливается при температуре 300–700 °С в течение 1–2 часов.

Наплавленный металл при электрошлаковой сварке формируется с помощью водоохлаждаемых кристаллизаторов или медных подкладок.

Часто используются замковые соединения.

Рассматриваемый способ сварки (наплавки) обладает целым рядом достоинств: высокой устойчивостью процесса (мало зависящей от рода тока) и нечувствительностью к кратковременным изменениям тока и даже его прерыванию; высокой производительностью; значительной экономичностью процесса (на плавление равного количества электродного металла электроэнергии затрачивается на 15–20% меньше, чем при дуговой сварке); исключением необходимости подготовки свариваемой или наплавляемой поверхности; высокой защитой сварочной ванны от воздуха; возможностью получения за один проход наплавленной поверхности теоретически любой толщины; возможностью наплавки без особых затруднений из чугуна, цветных металлов и сплавов и других трудносвариваемых материалов.

К недостаткам следует отнести возможность формирования наплавленных поверхностей только в вертикальном положении; недопустимость прерывания процесса до окончания сварки; необходимость изготовления технологической оснастки, формирующей шов; крупнозернистую структуру металла шва и зоны термического влияния.

В качестве источников питания при электрошлаковой сварке используются трансформаторы (ТШС-1000-1, ТШС-1000-3, ТШС-3000-1, ТШС-3000-3, ТШС-10000-1 и другие), преобразователи (ПГС-500, ПСМ-1000, ПС-1000), выпрямители (ВС-600, ВС-1000, ВКСМ-1000-1, ВДМ-3001, ВДМ1601, ВМГ-5000 и другие). Характеристики аппаратов и источников питания приведены в табл. 8 приложения.

## **6. РАСЧЕТ РЕЖИМОВ СВАРКИ**

### **6.1. Ручная дуговая сварка (наплавка)**

При ручной дуговой сварке (наплавке) к параметрам режима сварки относятся сила сварочного тока, напряжение, скорость перемещения электрода вдоль шва (скорость сварки), род тока, полярность и др.

**Диаметр электрода** выбирается в зависимости от толщины свариваемого металла, типа сварного соединения и положения шва в пространстве.

При выборе диаметра электрода для сварки можно использовать следующие ориентировочные данные:

Толщина листа, мм	1 ÷ 2	3	4 ÷ 5	6 ÷ 10	10 ÷ 15	15 и более
Диаметр электрода, мм	1,6 ÷ 2,0	2,0 ÷ 3,0	3,0 ÷ 4,0	4,0 ÷ 5,0	5,0	5,0 и более

В многослойных стыковых швах первый слой выполняют электродом 3–4 мм, последующие слои выполняют электродами большего диаметра.

Сварку в вертикальном положении проводят с применением электродов диаметром не более 5 мм. Потолочные швы выполняют электродами диаметром до 4 мм.

При наплавке изношенной поверхности должна быть компенсирована толщина изношенного слоя плюс 1–1,5 мм на обработку поверхности после наплавки.

**Сила сварочного тока, А,** рассчитывается по формуле

$$I_{CB} = K \cdot d_3, \quad (6.1)$$

где  $K$  – коэффициент, равный 25–60 А/мм;  $d_3$  – диаметр электрода, мм.

Коэффициент  $K$  в зависимости от диаметра электрода  $d_3$  принимается равным по следующей таблице:

$d_3$ , мм	1 ÷ 2	3 ÷ 4	5 ÷ 6
$K$ , А/мм	25 ÷ 30	30 ÷ 45	45 ÷ 60

Силу сварочного тока, рассчитанную по этой формуле, следует откорректировать с учетом толщины свариваемых элементов, типа соединения и положения шва в пространстве. Если толщина металла  $S \geq 3 d_3$ , то значение  $I_{CB}$  следует увеличить на 10–15%. Если же  $S \leq 1,5 d_3$ , то сварочный ток уменьшают на 10–15%. При сварке угловых швов и наплавке, значение тока должно быть повышено на 10–15%. При сварке в вертикальном или потолочном положении значение сварочного тока должно быть уменьшено на 10–15%.

Для большинства марок электродов, используемых при сварке углеродистых и легированных конструкционных сталей, напряжение дуги  $U = 22 \div 28$  В.

**Расчет скорости сварки, м/ч,** производится по формуле

$$V_{CB} = \frac{\alpha_H \cdot I_{CB}}{100 \cdot F_{шв} \cdot \rho}, \quad (6.2)$$

где  $\alpha_H$  – коэффициент наплавки, г/А·ч (принимают из характеристики выбранного электрода по табл. 9 приложения);  $F_{шв}$  – площадь поперечного сечения шва при однопроводной сварке (или одного слоя валика при многослойном шве), см<sup>2</sup>;  $\rho$  – плотность металла электрода, г/см<sup>3</sup> (для стали  $\rho = 7,8$  г/см<sup>3</sup>).

Масса наплавленного металла, г, для ручной дуговой сварки рассчитывается по формуле

$$G_H = F_{шв} \cdot l \cdot \rho, \quad (6.3)$$

где  $l$  – длина шва, см;  $\rho$  – плотность наплавленного металла (для стали  $\rho = 7,8$  г/см<sup>3</sup>).

Расчет массы наплавленного металла, г, при ручной дуговой наплавке производится по формуле

$$G_H = F_{\text{нп}} \cdot h_H \cdot \rho, \quad (6.4)$$

где  $F_{\text{нп}}$  – площадь наплаваемой поверхности,  $\text{см}^2$ ;  $h_H$  – требуемая высота наплаваемого слоя, см.

**Время горения дуги**, ч, (основное время) определяется по формуле

$$t_0 = \frac{G_H}{I_{\text{св}} \cdot \alpha_H}. \quad (6.5)$$

**Полное время сварки (наплавки)**, ч, приближенно определяется по формуле

$$T = \frac{t_0}{K_{\text{п}}}, \quad (6.6)$$

где  $t_0$  – время горения дуги (основное время), ч;  $K_{\text{п}}$  – коэффициент использования сварочного поста, который принимается для ручной сварки  $0,5 \div 0,55$ .

**Расход электродов**, кг, для ручной дуговой сварки (наплавки) определяется по формуле

$$G_M = G_H \cdot K_{\text{э}}, \quad (6.7)$$

где  $K_{\text{э}}$  – коэффициент, учитывающий расход электродов на 1 кг наплавленного металла (табл. 9 приложения).

**Расход электроэнергии**, кВт·ч, определяется по формуле

$$A = \frac{U_{\text{д}} \cdot I_{\text{св}}}{\eta \cdot 1000} \cdot t_0 + W_0 (T - t_0), \quad (6.8)$$

где  $U_{\text{д}}$  – напряжение дуги, В;  $\eta$  – КПД источника питания сварочной дуги;  $W_0$  – мощность, расходуемая источником питания сварочной дуги при холостом ходе, кВт;  $T$  – полное время сварки или наплавки, ч.

Значения  $\eta$  источника питания сварочной дуги и  $W_0$  можно принять по таблице:

Род тока	$\eta$	$W_0$
Переменный	$0,8 \div 0,9$	$0,2 \div 0,4$
Постоянный	$0,6 \div 0,7$	$2,0 \div 3,0$

**Выбор и обоснование источника питания сварочной дуги может быть осуществлен по табл. 1–5 приложения.**

## 6.2. Сварка (наплавка) в углекислом газе проволокой сплошного сечения

В основу выбора диаметра электродной проволоки положены те же принципы, что и при выборе диаметра электрода при ручной дуговой сварке:

Толщина листа, мм	$1 \div 2$	$3 \div 6$	$6 \div 24$ и более
Диаметр электродной проволоки $d_{\text{э}}$ , мм	$0,8 \div 1,0$	$1,2 \div 1,6$	2,0

**Расчет сварочного тока, А**, при сварке проволокой сплошного сечения производится по формуле

$$I_{CB} = \frac{\pi \cdot d_3^2 \cdot a}{4}, \quad (6.9)$$

где  $a$  – плотность тока в электродной проволоке, А/мм<sup>2</sup> (при сварке в CO<sub>2</sub>  $a = 110 \div 130$  А/мм<sup>2</sup>);  $d_3$  – диаметр электродной проволоки, мм.

Механизированные способы сварки позволяют применять значительно большие плотности тока по сравнению с ручной сваркой. Это объясняется меньшей длиной вылета электрода.

Напряжение дуги и расход углекислого газа выбираются в зависимости от силы сварочного тока по табл. 6.1.

Таблица 6.1

Зависимость напряжения и расхода углекислого газа от силы сварочного тока

Сила сварочного тока, А	50 ÷ 60	90 ÷ 100	150 ÷ 160	220 ÷ 240	280 ÷ 300	360 ÷ 380	430 ÷ 450
Напряжение дуги, В	17 ÷ 28	19 ÷ 20	21 ÷ 22	25 ÷ 27	28 ÷ 30	30 ÷ 32	32 ÷ 32
Расход CO <sub>2</sub> , л/мин	8 ÷ 10	8 ÷ 10	9 ÷ 10	15 ÷ 16	15 ÷ 16	18 ÷ 20	18 ÷ 20

При сварочном токе 200 ÷ 250 А длина дуги должна быть в пределах 1,5 ÷ 4,0 мм. Вылет электродной проволоки составляет 8 ÷ 15 мм (уменьшается с повышением сварочного тока).

**Скорость подачи электродной проволоки, м/ч**, рассчитывается по формуле

$$V_{пр} = \frac{4\alpha_p \cdot I_{CB}}{\pi \cdot d_3^2 \cdot \rho}, \quad (6.10)$$

где  $\alpha_p$  – коэффициент расплавления проволоки, г/А·ч;  $d_3$  – диаметр электродной проволоки, мм.

Значение  $\alpha_p$  рассчитывается по формуле

$$\alpha_p = 3,0 + 0,08 \cdot \frac{I_{CB}}{d_3}. \quad (6.11)$$

**Скорость сварки (наплавки), м/ч**, рассчитывается по формуле

$$V_{CB} = \frac{\alpha_H \cdot I_{CB}}{100 \cdot F_B \cdot \rho}, \quad (6.12)$$

где  $\alpha_H$  – коэффициент наплавки, г/А·ч;  $\alpha_H = \alpha_p \cdot (1 - \Psi)$ , где  $\Psi$  – коэффициент потерь металла на угар и разбрызгивание. При сварке в CO<sub>2</sub>  $\Psi = 0,1 \div 0,15$ ;  $F_B$  – площадь поперечного сечения одного валика, см<sup>2</sup>. При наплавке в CO<sub>2</sub> принимается равным 0,3 ÷ 0,7 см<sup>2</sup>.

**Масса наплавленного металла, г**, при сварке рассчитывается по следующим формулам:

$$\begin{aligned} \text{при сварке } G_H &= F_{CB} \cdot l \cdot \rho; \\ \text{при наплавочных работах } G_H &= V_H \cdot \rho, \end{aligned} \quad (6.13)$$

где  $V_H$  – объем наплавленного металла,  $\text{см}^3$ .

**Время горения дуги**, ч, определяется по формуле

$$t_0 = \frac{G_H}{\alpha_H \cdot I_{CB}}.$$

**Полное время сварки**, ч, определяется по формуле

$$T = \frac{t_0}{K_{\Pi}},$$

где  $K_{\Pi}$  – коэффициент использования сварочного поста, ( $K_{\Pi} = 0,6 \div 0,7$ ).

**Расход электродной проволоки**, г, рассчитывается по формуле

$$G_{\text{ПР}} = G_H(1 + \psi), \quad (6.14)$$

где  $G_H$  – масса наплавленного металла, г;  $\psi$  – коэффициент потерь, ( $\psi = 0,1 \div 0,15$ ).

**Расход электроэнергии**, кВт·ч, определяется по формуле

$$A = \frac{U_d \cdot I_{CB}}{\eta \cdot 1000} \cdot t_0 + W_0(T - t_0),$$

где  $\eta$  – КПД источника питания, при постоянном токе  $\eta = 0,6 \div 0,7$ , переменном –  $\eta = 0,8 \div 0,9$ ;  $W_0$  – мощность источника питания, работающего на холостом ходе, кВт. На постоянном токе  $W_0 = 2,0 \div 3,0$  кВт, на переменном –  $W_0 = 0,2 \div 0,4$  кВт.

Справочные сведения по оборудованию для сварки в  $\text{CO}_2$  приведены в табл. 4,5,7 приложения.

### 6.3. Сварка (наплавка) под флюсом проволокой сплошного сечения

Расчет сварочного тока, А, производится по формуле

$$I_{CB} = \frac{\pi \cdot d_3^2 \cdot a}{4}, \text{ А,}$$

При сварке для более глубокого проплавления рекомендуется использовать высокие значения плотности тока в электродной проволоке ( $a \geq 40 \div 50 \text{ А/мм}^2$ ), а при наплавке для снижения глубины проплавления принимается  $a \leq 30 \div 40 \text{ А/мм}^2$ . Диаметр электродной проволоки желательно выбирать таким, чтобы он обеспечил максимальную производительность сварки (наплавки) при требуемой глубине проплавления. Зависимость силы сварочного тока и его плотности на глубину проплавления приведена в табл. 10 приложения. Зависимость напряжения дуги от силы сварочного тока (флюс АН-348А) следующая:

Сила сварочного тока, А	180 ÷ 300	300 ÷ 400	500 ÷ 600	600 ÷ 700	700 ÷ 850	850 ÷ 1000
Напряжение дуги, В	32 ÷ 34	34 ÷ 36	36 ÷ 40	38 ÷ 40	40 ÷ 42	41 ÷ 43

Наплавку рекомендуется выполнять при постоянном токе прямой полярности. Вылет электродной проволоки принимается 30 ÷ 60 мм, при этом более высокие его значения соответствуют большему диаметру проволоки и силе тока.

**Скорость подачи электродной проволоки**, м/ч, определяется по формуле:

$$V_{\text{ПР}} = \frac{4 \cdot \alpha_{\text{р}} \cdot I_{\text{СВ}}}{\pi \cdot d_{\text{ПР}}^2 \cdot \rho},$$

где  $d_{\text{ПР}}$  – диаметр проволоки, мм.

Коэффициент расплавления проволоки сплошного сечения при сварке под флюсом определяется по формулам:

$$\alpha_{\text{р}} = 7,0 + 0,04 \frac{I_{\text{СВ}}}{d_{\text{ПР}}},$$

для переменного тока

$$\alpha_{\text{р}} = 2 + \sqrt{\frac{I_{\text{СВ}}}{d_{\text{ПР}}}},$$

для постоянного тока прямой полярности

$$\alpha_{\text{р}} = 10 \div 12 \text{ г/А} \cdot \text{ч}$$

(6.15)

для постоянного тока обратной полярности

**Скорость сварки**, м/ч, определяется по формуле

$$V_{\text{СВ}} = \frac{\alpha_{\text{Н}} \cdot I_{\text{СВ}}}{100 F_{\text{В}} \cdot \rho};$$

**Коэффициент наплавки**, г/А · ч, рассчитывается по формуле

$$\alpha_{\text{Н}} = \alpha_{\text{р}} \cdot (1 - \Psi),$$

где  $\Psi$  – коэффициент потерь металла на угар и разбрызгивание, принимается равным 0,02 ÷ 0,03.

При наплавке площадь поперечного сечения валика, укладываемого за один проход, можно принять равной 0,3 ÷ 0,6 см<sup>2</sup>.

**Масса наплавленного металла**, г, определяется по формуле

$$G_{\text{Н}} = V_{\text{Н}} \cdot \rho,$$

**Объем наплавленного металла**, см<sup>3</sup>, определяется из выражения

$$V_{\text{Н}} = F_{\text{Н}} \cdot h \tag{6.16}$$

где  $F_{\text{Н}}$  – площадь наплавленной поверхности, см<sup>2</sup>;  $h$  – высота наплавленного слоя, см.

**Расход сварочной проволоки**, г, определяется по формуле

$$G_{\text{ПР}} = G_{\text{Н}} \cdot (1 + \Psi),$$

где  $\Psi$  – коэффициент потерь на угар и разбрызгивание.

**Расход флюса**, г/пог.м, определяется по формуле

$$G_{\phi} = \frac{(U_{\text{д}} - 1,8) \cdot 780}{V_{\text{св}}} \quad (6.17)$$

**Время горения дуги**, ч, определяется по формуле

$$t_0 = \frac{G_{\text{н}}}{\alpha_{\text{н}} \cdot I_{\text{св}}}$$

**Полное время сварки**, ч, определяется по формуле

$$T = \frac{t_0}{K_{\text{п}}}$$

где  $K_{\text{п}}$  – коэффициент использования сварочного поста, принимается равным 0,6–0,7.

**Расход электроэнергии**, кВт·ч, определяется из выражения

$$A = \frac{U_{\text{д}} \cdot I_{\text{св}}}{\eta \cdot 1000} \cdot t_0 + W_0 (T - t_0)$$

где  $\eta$  – КПД источника питания (на постоянном токе  $\eta = 0,6-0,7$ ; на переменном –  $\eta = 0,8-0,9$ );  $W_0$  – мощность, расходуемая при холостом ходе, кВт·ч (на постоянном токе она равна 2,0–3,0 кВт·ч; на переменном – 0,2–0,4 кВт·ч).

**Марки флюса** приведены в табл. 5.3.

Толщина слоя флюса зависит от силы сварочного тока:

Сварочный ток, А	200 ÷ 400	400 ÷ 800	800 ÷ 1200
Толщина слоя флюса, мм	25 ÷ 35	35 ÷ 45	45 ÷ 60

Технические характеристики аппаратов для автоматической сварки (наплавки) под флюсом приведены табл.6 приложения.

#### 6.4. Электрошлаковая наплавка

**Сварочный ток**, А, рассчитывается по формуле

$$I_{\text{св}} = A + e \frac{S}{n_3} \quad (6.18)$$

где А – постоянная ( $A=220 \div 280$ ); В – постоянная ( $B = 2 \div 4$ ); S – толщина наплавленного слоя, мм;  $n_3$  – количество электродов.

**Скорость подачи электродной проволоки**, м/ч, рассчитывается в зависимости от величины сварочного тока по формуле

$$V_{\text{эл}} = \frac{I_{\text{св}}}{(2,2 - 1,6)} \quad (6.19)$$

**Величина напряжения**, В, на шлаковой ванне рассчитывается по формуле

$$U_{\text{ш}} = 12 + \sqrt{125 + S / 0,075 \cdot n_3} \quad (6.20)$$

**Скорость наплавки**, м/ч, определяется по формуле

$$V_H = \frac{n_s \cdot \alpha_H \cdot I_{CB}}{\rho \cdot h \cdot S \cdot K_y} \quad (6.21)$$

где  $h$  – ширина наплавляемого слоя, мм;  $\alpha_H$  – коэффициент наплавки,  $\alpha_H = (25 \div 30) \text{ г/А} \cdot \text{ч}$ ;

$K_y$  – коэффициент формы шва равный  $1,05 \div 1,1$ .

**Масса наплавленного металла, г**, определяется по формуле

$$G_H = V_H' \cdot \rho,$$

где  $V_H'$  – объем наплавленного металла,  $\text{см}^3$ .

**Расход сварочной проволоки, г**, определяется по формуле

$$G_{\text{ПР}} = G_H \cdot (1 + \psi),$$

где  $\psi$  – потери на угар и разбрызгивание. Принимается  $\psi = 0,02 - 0,03$ .

**Расход флюса** принимается  $0,2 - 0,3$  кг на погонный метр шва независимо от толщины металла.

**Основное время, ч**, определяется по формуле

$$t_0 = \frac{G_H}{\alpha_H \cdot I_{CB}}.$$

**Полное время сварки, ч**, определяется по формуле

$$T = \frac{t_0}{K_{\text{П}}}.$$

**Расход электроэнергии, кВт·ч**, определяется по формуле

$$A = \frac{U_{\text{д}} \cdot I_{\text{CB}}}{\eta \cdot 1000} \cdot t_0 + W_0 (T - t_0),$$

где  $\eta$  – КПД источника питания (для источника постоянного тока  $\eta = 0,6 - 0,7$ ; для источника переменного тока  $\eta = 0,8 - 0,9$ );  $W_0$  – мощность холостого хода источника питания, кВт (на переменном токе она равна  $0,2 - 0,4$  кВт; на постоянном –  $2,0 - 3,0$  кВт).

Технические характеристики аппаратов для электрошлаковой сварки приведены в табл.8 приложения.

## 6.5. Сварка ( наплавка ) порошковой самозащитной проволокой

**Сварочный ток, напряжение дуги, скорость подачи и вылет электродной проволоки** принимаются по табл. 6.2 и 6.3.

Таблица 6.2

Режимы сварки самозащитными порошковыми проволоками

Толщина свариваемых листов, мм	Параметры режима			
	I, А	U, В	U <sub>пр</sub> , м/ч	Вылет проволоки, мм
Порошковые проволоки ПП - АН1, $d_s = 2,8$ мм; $\alpha_H = 13$ г/А·ч				
3–6	200–240	24–25	100	15 – 20



8–12	250–300	25–27	120	15 – 20
14–20	300–350	26–28	170	20–25
Порошковая проволока ПП АН - 3, $d_{э}=3$ мм, $\alpha_{н}=13 - 17$ г/А·ч				
5 - 10	360–380	25–28	140	15–20
10 - 15	420–450	26–29	170	20–25
15 - 25	460–490	29–32	210	25–30

Таблица 6.3

Режимы наплавки для проволок марки ПП-ТН250, ПП-ТН350,  $d_{пр}=3$  мм

I, А	U, В	$U_{пр}$ , м/ч	Вылет проволоки	Коэффициент наплавки $\alpha_{н}$ , г/А·ч
310–330	28–30	126	50	14,6
400–420	30–32	200	60	17,3

**Масса наплавленного металла, г**, определяется по формуле

$$G_{н} = V_{н} \cdot \rho .$$

**Расход порошковой проволоки, г**, определяется по формуле

$$G_{пр} = G_{н} \cdot K , \quad (6.22)$$

где  $K$  – коэффициент, учитывающий конструкцию проволок ( $K = 1,25 \div 1,35$ ).

**Время горения дуги, ч**, определяется по формуле

$$t_0 = \frac{G_{н}}{\alpha_{н} \cdot I_{св}} .$$

**Полное время сварки, ч**, определяется по формуле

$$T = \frac{t_0}{K_{кп}} . \quad (6.23)$$

**Расход электроэнергии, кВт·ч**, определяется по формуле

$$A = \frac{U_{д} \cdot I_{св}}{\eta \cdot 1000} \cdot t_0 + W_0 (T - t_0)$$

Технические характеристики аппаратов для автоматической и полуавтоматической сварки порошковой проволокой приведены в табл. 6 и 7 приложения.

## 7. МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ ШВОВ И НАПЛАВЛЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Несоблюдение технологического процесса сварки и наплавки может вызвать ряд дефектов в сварном шве или наплавленном металле, таких как наплывы, подрезы, прожоги, наружные трещины, непровары, свищи, поры и др. Поэтому после сварки, детали обязательно подвергают контролю и, в первую очередь, внешнему осмотру.

Размеры швов должны соответствовать размерам, указанным на чертеже.

В настоящее время существует ряд методов контроля: визуальный, оптический, акустический, магнитный, электромагнитный, радиоволновой, радиационный, тепловизионный. При выборе метода контроля следует учитывать следующие важнейшие требования:

- высокая достоверность контроля;
- высокая надёжность аппаратуры и возможность использования её в различных условиях;
- простота технологии;
- возможность механизации контроля.

К наиболее распространённым методам контроля деталей подвижного состава, восстановленных сваркой и наплавкой, относятся визуально-оптический, магнитный, токовихревой и ультразвуковой.

## 7.1 Визуальный контроль

Обязательным звеном технологического процесса контроля является внешний осмотр сварного шва или наплавленной поверхности. На качество осмотра оказывает большое влияние видимость объекта, острота зрения и скорость осмотра. **Видимость** – это степень отличия одного объекта от другого. Она зависит от освещённости, места расположения источника, шума, вибраций и т.д. Наиболее важными факторами, характеризующими видимость, являются контраст и угловые размеры объекта. Под **контрастом** понимают способность исследуемого объекта выделяться на окружающем фоне. Способность глаза замечать такое различие называется контрастной чувствительностью, которая может быть яркостной и цветовой. За меру яркостного контраста чаще всего принимается величина  $K$ , которая определяется по формуле:

$$K = \frac{V_{\phi} - V_0}{V_{\phi}}, \quad (7.1)$$

где  $K$  – яркостной контраст;  $V_{\phi}$  – яркость окружающего фона;  $V_0$  – яркость объекта. При  $K > 0,5$  контраст считается большим; при  $K = 0,5 \div 0,2$  – средним и при  $K < 0,2$  – малым. Чёткое восприятие достигается при наибольшем значении  $K$ .

Минимальная величина  $K$  называется порогом контрастной чувствительности  $K_{\text{пор}}$ . Для большинства людей  $K_{\text{пор}} = 0,01 \div 0,02$ .

**Видимостью** называется отношение реальной контрастной чувствительности к пороговой, т.е.  $V = K/K_{\text{пор}}$ .

Существенное значение при осмотре имеет острота зрения – способность глаза различать мелкие объекты. Наиболее высокая острота зрения наблюдается при диаметре зрачка  $3 \div 4$  мм, что соответствует освещённости 100–1000 Лк. При диаметре зрачка менее 3 и более 4 мм острота зрения падает. Поэтому на участках, где производится осмотр наплавленных поверхностей, общая освещённость должна быть не более 2000–2500 Лк, а местная может достигать 4000–5000 Лк.

Существенное значение при визуальном контроле имеет скорость осмотра. Глаз обладает значительной инерцией. В процессе осмотра он то относительно неподвижен, то резко поворачивается на угол  $15-20^\circ$ . За секунду происходит до шести подобных поворотов. Значит скорость луча зрения, скользящего по деталям, достигает 300–400

мм/с. Трещины длиной 2–5 мм при такой скорости могут быть не обнаружены ввиду малой продолжительности их осмотра (0,005–0,01 с).

Количество информации в единицу времени, которое может воспринимать глаз, ограничено.

При визуальном контроле необходимо пользоваться приборами, которые намного увеличивают разрешающую способность глаза (например, лупы). Для осмотра поверхностей в труднодоступных местах возможно использование эндоскопов.

## 7.2. Магнитная дефектоскопия

Магнитная дефектоскопия отличается высокой чувствительностью, простотой технологии, наглядностью результатов, незначительными затратами. Метод основан на обнаружении магнитных потоков рассеяния (рис. 7.1), возникающих при наличии несплошностей (дефектов) в намагниченных деталях.

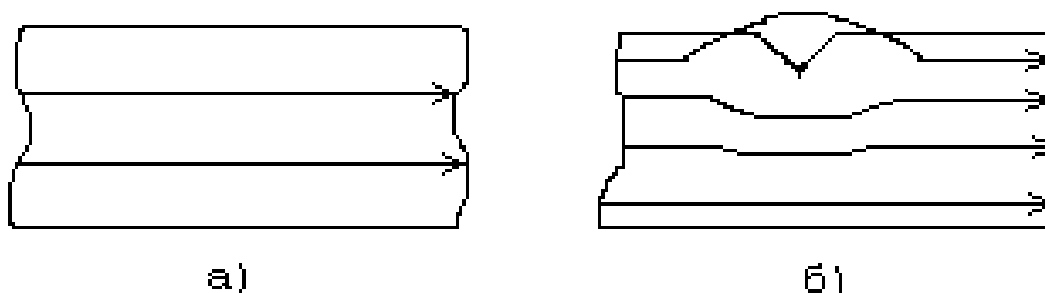


Рис.7.1. Распределение магнитных силовых линий по изделию: а) не имеющему дефект; б) имеющему дефект

При контроле сварных швов на предприятиях по ремонту подвижного состава широко используется магнитопорошковый метод, сущность которого заключается в следующем. На контролируемую поверхность намагниченной детали наносится ферромагнитный порошок в виде суспензии с керосином, маслом или же магнитный аэрозоль. Под действием магнитных сил рассеяния, выходящих на поверхность детали в месте дефекта, частицы порошка скапливаются в этом месте в виде валиков. Форма таких скоплений соответствует форме дефекта. Чувствительность магнитопорошкового метода зависит от размеров частиц порошка и методов его нанесения; напряжённости магнитного поля; рода приложенного тока; формы, размера и глубины залегания дефекта; способа намагничивания; состояния поверхности и др.

Намагничивание постоянным током даёт возможность обнаружения подповерхностных дефектов.

При контроле магнитопорошковым методом наилучшим образом выявляются трещины, непровары, несплавления, подрезы.

Практически установлено, что этим методом выявляются поверхностные и подповерхностные (на глубине не более 2 мм) дефекты с шириной раскрытия от 0,001 мм и глубиной от 0,05 мм. Не исключается возможность выявления относительно крупных (сечением более 2–3 мм<sup>2</sup>) дефектов, лежащих на глубине 5–6 мм.

Чувствительность магнитопорошкового контроля зависит от шероховатости контролируемой поверхности. Увеличение шероховатости ведет к снижению чувствительности.

Порядок магнитопорошкового контроля включает следующие операции:

- подготовку поверхности – очистку от загрязнений, остатков шлака, окалины;

- намагничивание контролируемой детали;
- нанесение магнитной суспензии или магнитного порошка на поверхность контролируемой детали;
- осмотр контролируемой поверхности и выявление дефектов;
- размагничивание.

На предприятиях железнодорожного транспорта по ремонту подвижного состава используются дефектоскопы: ДГЭ, ДГС-М, ДКМ-1Б с разъемным соленоидом и ряд других.

Перечисленные дефектоскопы, несмотря на простоту их устройства и технологии контроля, надежность в работе, имеют существенный недостаток – ограничивают диапазон деталей, которые можно подвергать проверке размерами соленоидов. Дефектоскоп ПМД-70, позволяющий контролировать изделия любых размеров и конфигураций, не имеет указанного недостатка, кроме того, некоторые детали можно подвергать дефектоскопии, не снимая их с вагона или локомотива. Питание дефектоскопа может быть от источника постоянного тока напряжением 24 В или от сети переменного тока напряжением 220 В.

Дефектоскоп состоит из блока питания, блока управления, импульсного блока и намагничивающих приспособлений, позволяющих осуществлять намагничивание изделий различной конфигурации и размеров.

### 7.3. Ультразвуковая дефектоскопия

Ультразвуковой контроль основан на способности ультразвуковых волн проникать в металл на большую глубину и отражаться от находящихся в нем дефектных участков. В процессе контроля пучок ультразвуковых колебаний от вибрирующей пластины (пьезокристалла) вводится в контролируемый шов. При встрече с дефектным участком (рис. 7.2, а) ультразвуковая волна отражается от него и улавливается другой пластиной, которая преобразует ультразвуковые колебания в электрические.

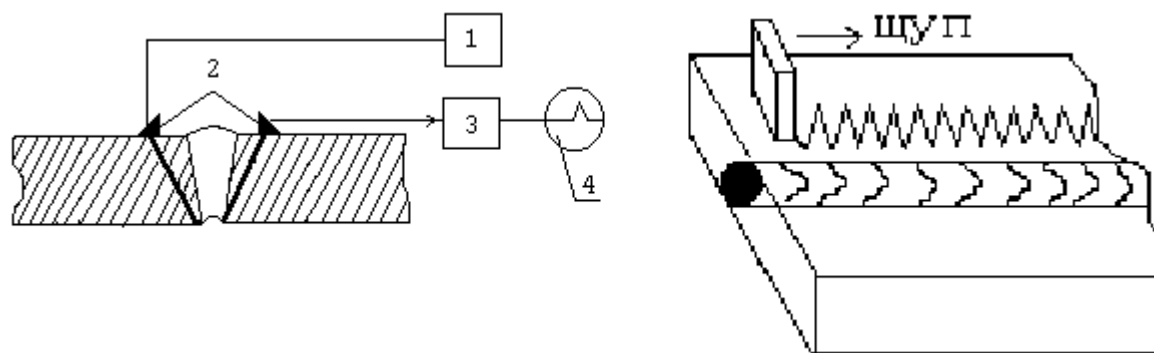


Рис. 7.2. Ультразвуковой контроль сварного шва: 1 – генератор ультразвуковых колебаний; 2 – пьезокристаллический щуп; 3 – усилитель; 4 – экран дефектоскопа

Эти колебания после усиления подаются на экран электронно-лучевой трубки дефектоскопа, свидетельствуя в виде импульса о наличии дефектов. При контроле щуп перемещают вдоль шва, прозвучивая таким образом различные по глубине зоны шва (рис. 7.2, б). По характеру импульсов судят о протяженности дефектов и глубине их залегания.

К преимуществам ультразвуковой дефектоскопии относятся: возможность обнаружения внутренних дефектов, большая проникающая способность, высокая чувствительность, возможность определения места и размера дефекта. Вместе с тем, метод имеет ряд отрицательных особенностей. К ним относится необходимость специальных методик контроля отдельных типов изделий, высокой чистоты поверхности детали в месте контроля (что особенно затрудняет дефектоскопию наплавленных поверхностей) и др. Поэтому указанным методом контролируются детали, для которых разработаны необходимые технологии, регламентирующие зоны и чувствительность контроля; места ввода ультразвуковых волн в изделие; тип дефектоскопа; тип искательной головки и т.д.

#### **7.4. Вихретоковая дефектоскопия**

Метод вихретоковой дефектоскопии дает возможность обнаружения поверхностных и подповерхностных дефектов. Он основан на использовании действия вихревых токов, возникающих в поверхностном слое контролируемой детали от пронизывания его магнитным потоком, на первичную или особую измерительную катушку.

Сущность метода состоит в следующем. Если к контролируемой поверхности приблизить катушку, по которой протекает переменный ток, то в металле возникнут замкнутые вихревые токи. Величина этих токов зависит от частоты возбуждающего тока, электропроводности и магнитной проницаемости материала изделия, относительного расположения катушки и детали, от наличия на поверхности дефектов типа нарушения сплошности. Магнитное поле вихревых токов направлено против основного магнитного потока и несколько гасит его, что может быть измерено величиной полного сопротивления генерирующей катушки. В случае изменения вихревых токов, изменяется и полное сопротивление. Изменение величины вихревых токов может быть обнаружено с помощью другой (измерительной) катушки.

Для вихревого контроля наплавленных поверхностей используются дефектоскопы: ВДТ - 2, ВД - 1, ЭДМ - 65 и др.

### **8. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ И ОХРАНА ТРУДА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ СВАРОЧНЫХ РАБОТ**

Электрическая энергия при сварке переходит в тепловую, световую и звуковую энергию. При электрической сварке происходит быстрый переход свариваемого металла из твёрдого в жидкое и газообразное состояния. Нагретые до высокой температуры и поэтому более лёгкие, чем воздух, пары металла компонентов электродных покрытий или других сварочных материалов, поднимаясь над местом сварки и попадая в зону пониженных температур, конденсируются и затвердевают. Так образуется сварочная пыль (аэрозоль). Сварка металлов сопровождается выбросом капель расплавленного металла и искр.

При дуговой сварке дуга является источником образования лучистой энергии. Яркость световых лучей может в тысячи раз превышать физиологически переносимую дозу. Ультрафиолетовые лучи приводят к возникновению профессионального заболевания глаз и ожогу открытых участков кожи сварщика. Инфракрасные лучи оказывают тепловое воздействие и вредно влияют на глаза человека.

Электросварка в среде защитных газов более благоприятна, так как возникающие сварочные аэрозоли содержат меньше компонентов, чем это установлено санитарными нормами.

При сварке под флюсом выделение пыли в несколько раз меньше, чем при применении ручной дуговой сварки.

Электрошлаковую сварку отличают повышенная интенсивность лучистой энергии, некоторое увеличение температуры, окружающего установку воздуха, и возможное выплёскивание металла из сварочной ванны.

При организации сварочных работ необходимо исключить опасность возможного поражения электрическим током. Источники сварочного тока, свариваемые конструкции, столы сварщиков должны быть заземлены. Перед началом работы необходимо тщательно проверять исправность изоляции сварочных проводов и надежность всех контактных соединений. Спецодежда сварщика должна быть сухой и исправной, а обувь не должна иметь металлических гвоздей. В зависимости от условий работы применяются следующие защитные приспособления и средства: диэлектрические перчатки, рукавицы, коврики, резиновые боты, калоши.

Для защиты от влияния вредных газов и сварочного аэрозоля устраиваются системы вентиляции, обеспечивающие чистоту воздуха. В сварочных цехах вентиляция должна быть приточно-вытяжной, с подогревом подаваемого воздуха в зимнее время. Устанавливаются нормы удаляемого воздуха в зависимости от марок покрытых электродов, флюсов, а также при сварке в среде защитных газов. Также создаются местные вентиляционные устройства с отсосом вредных газов и сварочного аэрозоля.

Для защиты от излучения дуги предусматриваются общие средства защиты (кабины, переносные щиты и ширмы) и индивидуальные – щитки, шлемы со вставными стеклами (светофильтрами) для защиты головы и глаз. В целях противопожарной безопасности все деревянные конструкции должны быть защищены от воспламенения листовым железом или асбестом.

#### 9. ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ЗАОЧНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

Задание состоит из одного вопроса и задачи по расчету режимов сварки. Необходимый вариант выбирается студентом из табл. 9.1 по двум последним цифрам шифра. Например, при шифре 94-В-272 следует дать ответ на вопрос 12 и решить задачу 32. При решении задач, условия которых приведены в табл. 9.2, необходимо соблюдать требования, изложенные во введении.

Таблица 9.1

Варианты заданий

Две последние цифры шифра					Номер вопроса задачи
01	21	41	61	81	1, 21
02	22	42	62	82	2, 22
03	23	43	63	83	3, 23
04	24	44	64	84	4, 24
05	25	45	65	85	5, 25
06	26	46	66	86	6, 26
07	27	47	67	87	7, 27
08	28	48	68	88	8, 28
09	29	49	69	89	9, 29
10	30	50	70	90	10, 30
11	31	51	71	91	11, 31
12	32	52	72	92	12, 32
13	33	53	73	93	13, 33
14	34	54	74	94	14, 34
15	35	55	75	95	15, 35
16	36	56	76	96	16, 36
17	37	57	77	97	17, 37
18	38	58	78	98	18, 38
19	39	59	79	99	19, 39
20	40	60	80	00	20, 40

Таблица 9.2

#### Условия задач

Номер		Способ сварки или наплавки	Наименование работы	Марка стали	Требования к металлу шва или наплавки
задачи	рис.				
1	2	3	4	5	6
21	9.1	Полуавтоматическая дуговая сварка в углекислом газе проволокой сплошного сечения	Заварка двух несквозных трещин в боковине рамы электровоза: глубина трещин 12 мм длина трещины А 180 мм, В 270 мм	Ст5	$\sigma_{в}=500$ МПа
22	9.1	Ручная дуговая сварка		Изготовление опорного кольца буксового узла тележки КВ3-5:	Ст3
23	9.2	Полуавтоматическая сварка порошковой проволокой диаметром $d_3 = 3$ мм	а) сварка стыкового шва А на кольце; б) сварка диска угловым швом Б по всему периметру; катет шва 5 мм Изготовление втулки надрес- сорной балки тележки пассажирского вагона: а) сварка стыкового шва А на втулке; б) приварка к втулке ребер жесткости; катет угловых швов 5 мм	Ст3	$\sigma_{в}=360$ МПа
24	9.2	Ручная дуговая сварка			
25	9.3	Ручная дуговая сварка			
26	9.3	Полуавтоматическая сварка самозащитной порошковой проволокой диаметром $d_3=2,8$ мм			

Продолжение табл. 9.2

1	2	3	4	5	6
27	9.4	Автоматическая сварка под флюсом проволокой сплошного сечения	Изготовление рессорного хомута. Сварка стыкового шва (рис. 9.4)	Ст3	$\sigma_{в}= 360$ МПа
28	9.4	Полуавтоматическая наплавка порошковой проволокой диаметром $d_3=3,0$ мм	Наплавка изношенных мест А и Б на боковой и торцевой поверхно- стях рессорного хомута. Площадь места А $35 \text{ см}^2$ , глубина износа 4 мм; площадь места Б $15 \text{ см}^2$ , глубина износа 5 мм. Наплавка изношенных подпятниковых мест А надрессорной балки двухосной тележки; величина износа 5 мм	Ст3	НВ 1058 МПа
29	9.5	Автоматическая наплавка под флюсом сплошной проволокой		25Л	НВ 1200 МПа
30	9.5	Полуавтоматическая наплавка самозащитной порошковой проволокой диаметром $d_3=3$ мм	Изготовление продольного балансира электровоза (сварку производить по всему периметру накладок угловым	Ст4	$\sigma_{в}=400$ МПа
31	9.6	Ручная дуговая наплавка			
		Полуавтоматическая сварка			

32	9.6	самозащитной порошковой проволокой диаметром $d_3=3$ мм Ручная дуговая сварка	швом с катетом 5 мм) Заварка сквозных трещин на вертикальной полке шкворневой балки полувагона. Длина трещины 100 мм, катет угловых швов Б, приваривающих накладку к полке 5 мм, периметр накладки 1 ÷ 1200 мм, накладки 2 ÷ 750 мм	Ст3	$\sigma_B=360$ МПа
33	9.7	Полуавтоматическая сварка самозащитной порошковой проволокой диаметром $d_3=2,8$ мм			
34	9.7				

Окончание табл.9.2

1	2	3	4	5	6
35	9.8	Полуавтоматическая наплавка самозащитной порошковой проволокой $d_3=3$ мм	Наплавка изношенной поверхности А подпятника грузового вагона; величина износа 5 мм ”	25Л	НВ 1200 МПа
36	9.8	Автоматическая наплавка под флюсом проволокой сплошного сечения			
37	9.9	Полуавтоматическая наплавка самозащитной порошковой проволокой диаметром $d_3=3$ мм Ручная дуговая наплавка	Наплавка поверхности А клина амортизатора тележки типа ЦНИИ-ХЗ. Ширина наплавляемой поверхности 200 мм; величина износа 6 мм	25Л	НВ 1200 МПа
38	9.9	Автоматическая наплавка			
39	9.10	под флюсом проволокой сплошного сечения	Наплавка поверхности А втулки шпинтона тележки типа КВЗ-ЦНИИ; величина износа 2 мм	35	НВ 1400 МПа
40	9.10	Полуавтоматическая наплавка в углекислом газе проволокой сплошного сечения			

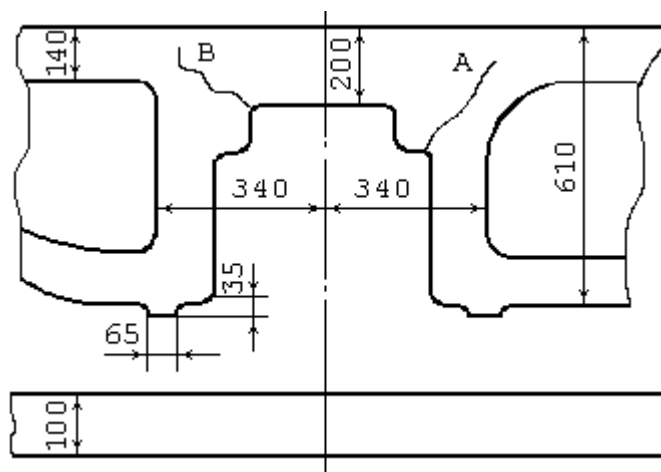


Рис. 9.1



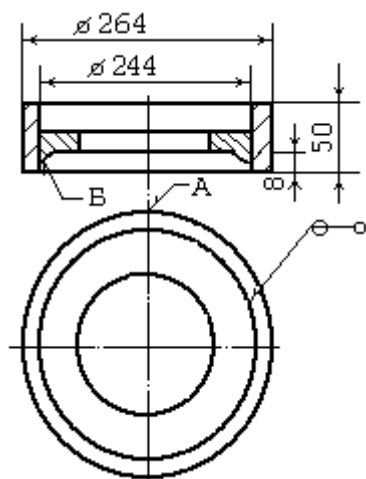


Рис. 9.2

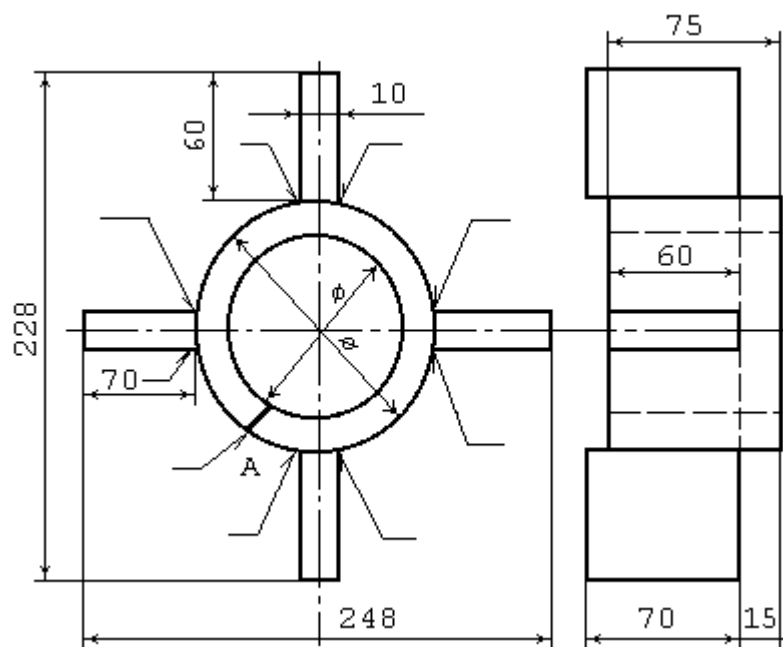


Рис. 9.3

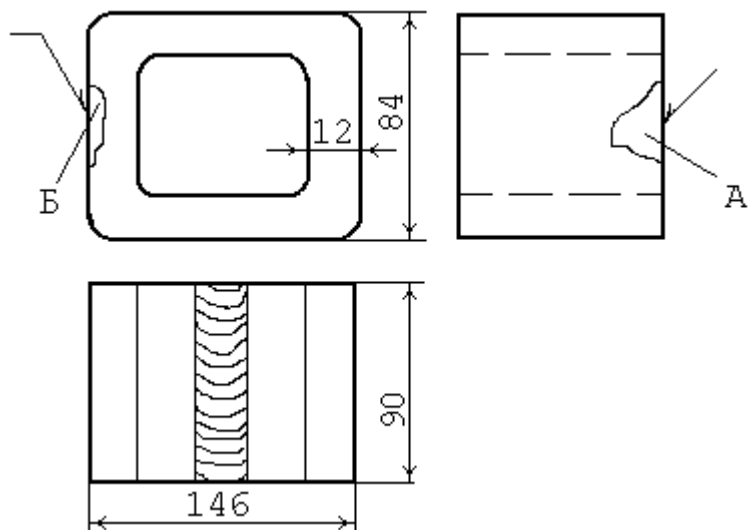


Рис. 9.4

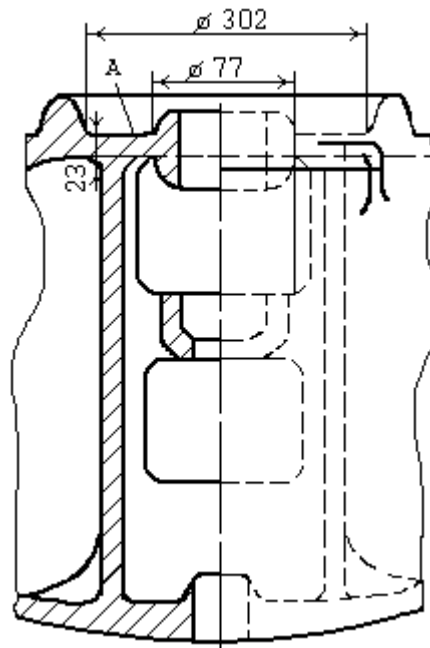


Рис. 9.5

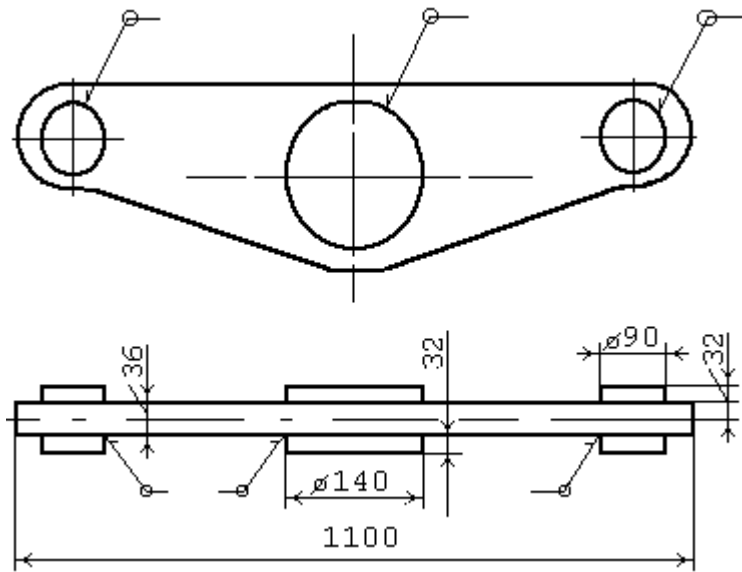


Рис. 9.6

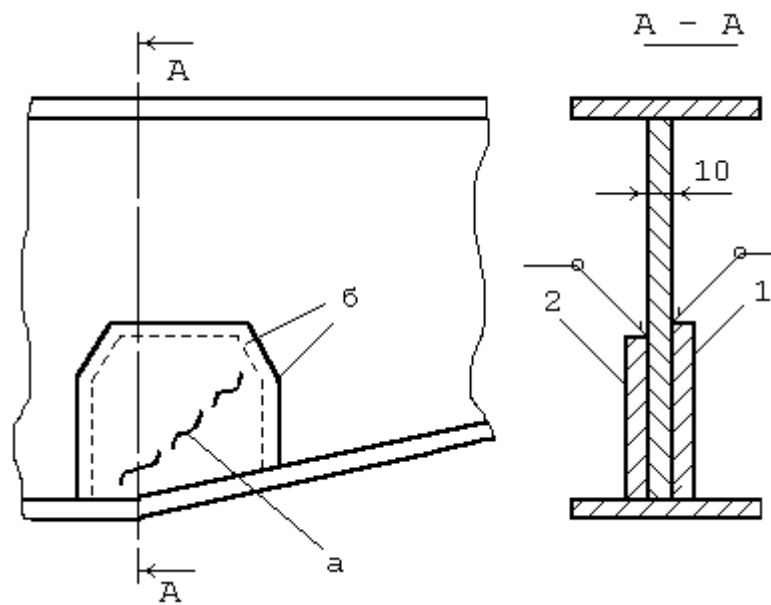


Рис. 9.7

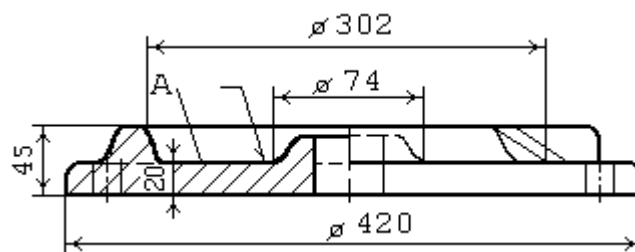


Рис. 9.8

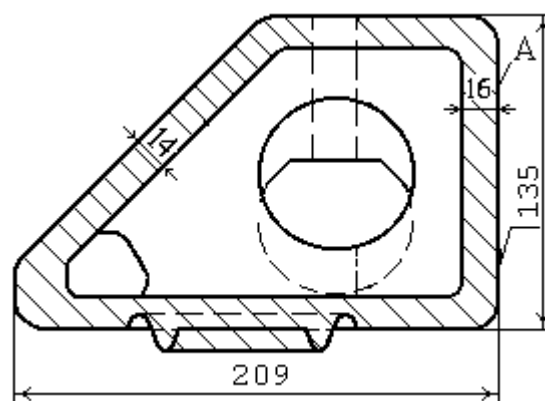


Рис. 9.9

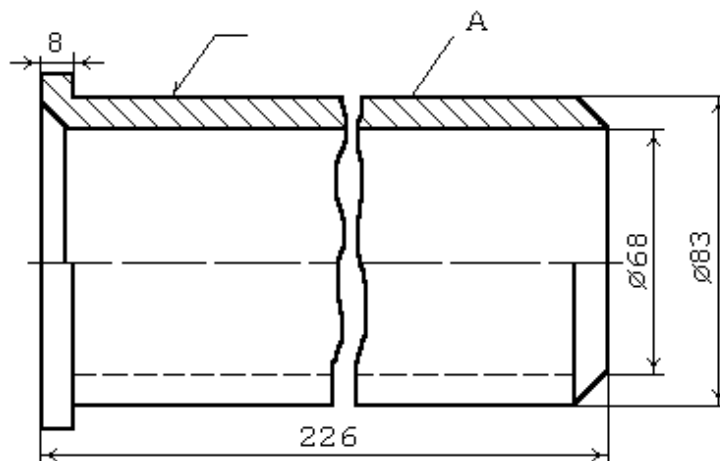


Рис. 9.10

### ВОПРОСЫ

1. Перечислите все способы сварки, при которых металл в зоне сварного соединения нагревается до температуры плавления. Назовите и объясните физическую сущность метода сварки, объединяющего все перечисленные Вами способы.
2. Перечислите все способы сварки, при которых образование сварного соединения осуществляется в результате пластической деформации металла соединяемых элементов с приложением внешнего усилия. Назовите и опишите физическую сущность метода сварки, объединяющего все перечисленные Вами способы.
3. Приведите основные характеристики источника энергии для дуговой сварки и объясните принцип его саморегулирования при сварке с постоянной скоростью подачи электродной проволоки.
4. Перечислите типы источников питания для дуговой сварки, приведите электрические схемы и опишите основные характеристики источника питания переменного тока.
5. Объясните сущность наиболее распространенного способа дуговой сварки и перечислите функции электродного покрытия.
6. Объясните сущность наиболее производительного способа дуговой сварки и укажите, каким образом при этом способе осуществляется защита металла сварочной ванны от вредного воздействия кислорода и азота воздуха.
7. Объясните сущность процесса дуговой сварки с газовой защитой зоны сварки и перечислите применяемые при этом сварочные материалы (газы, проволока).
8. Перечислите принципы, положенные в основу выбора сварочного тока при дуговой сварке проволокой сплошного сечения.
9. Назовите способ полуавтоматической дуговой сварки и наплавки со шлаковой защитой металла сварочной ванны. Какая проволока применяется при этом способе сварки?
10. Назовите способ термической резки, применяемый при получении заготовок из алюминия, нержавеющей стали и других цветных металлов и высоколегированных сплавов, опишите его физическую сущность.
11. Объясните сущность процесса ацетилено-кислородной сварки и опишите способ получения горючего газа для этого способа сварки.
12. Перечислите типы сварных соединений и объясните принципы их выбора.
13. Объясните, почему нельзя применять кислородную резку для обработки цветных металлов и высоколегированных сталей и сплавов.
14. Объясните физическую сущность способа электроконтактной сварки, применяемого для соединения стыков железнодорожных рельсов.
15. Объясните сущность наплавочных работ, применяемых при восстановлении изношенных деталей.
16. Опишите физическую сущность способа соединения металлов с применением припоя.
17. Объясните, в чем трудности сварки легированных сталей.
18. Объясните особенности сварки цветных металлов, легированных сталей.
19. Опишите основные дефекты сварных соединений и укажите причины, их вызывающие.
20. Опишите наиболее распространенные методы неразрушающего контроля дефектов сварных соединений, применяемые на железнодорожном транспорте.

### Рекомендации к ответам на вопросы

В ответе на **вопрос 1** нужно объяснить сущность физических процессов, протекающих при указанных Вами способах сварки; показать, как образуется сварное соединение, и перечислить источники энергии, используемые для нагрева металла. Привести схему и описать способ дуговой сварки.

Отвечая на **вопрос 2**, надо вначале объяснить, какие физические процессы протекают при указанных Вами способах сварки и как образуется сварное соединение. Затем перечислить источники энергии для нагрева свариваемых заготовок. Привести одну из схем электрической контактной сварки (стыковая, точечная, шовная) и описать принцип ее работы.

При ответе на **вопрос 3** нужно изобразить схему строения источника энергии для дуговой сварки, объяснить сущность физических процессов, происходящих в отдельных его областях (ионизация газа, нагрев, плавление и испарение металла), указать температуры отдельных его областей, начертить графики, иллюстрирующие падения напряжения в отдельных его областях и его вольт-амперную характеристику в координатах (ток  $I$  – напряжение  $U$ ). Для пояснения принципа саморегулирования источника энергии необходимо на график его вольт-амперной характеристики нанести график внешней характеристики источника питания в тех же координатах. Затем, предположив, что длина источника энергии изменилась как в сторону увеличения, так и в сторону

уменьшения, построить вольт-амперные характеристики источника энергии при этих его положениях и проследить за изменением в этих случаях силы сварочного тока; после чего сделать вывод, приводит ли изменение скорости плавления электродной проволоки вследствие уменьшения или увеличения силы тока в обоих случаях к восстановлению первоначальной длины источника энергии для дуговой сварки.

При ответе на **вопрос 4** нужно начертить электрические схемы источника питания переменного тока различных типов, объяснить принцип саморегулирования силы сварочного тока. Для источника питания привести вольт-амперную характеристику и указать основные преимущества и недостатки источников питания переменного и постоянного тока.

В ответе на **вопрос 5** нужно отметить специфические особенности металлургических процессов, протекающих при этом способе сварки, обратив особое внимание на причины, приводящие к окислению металла сварочной ванны и на этой основе рассмотреть назначение электродных покрытий. Указать на какие группы в зависимости от характера работ (сварка, наплавка) делятся электроды, как обозначаются их типы. Привести примеры нескольких марок электродов, относящихся к тому или иному типу. Перечислить основные преимущества и недостатки описываемого вами способа сварки, основные области его применения, в том числе на железнодорожном транспорте.

При ответе на **вопрос 6** необходимо изобразить схему, иллюстрирующую продольный разрез сварочной ванны и шва при указанном Вами способе сварки. Указать его основные преимущества и недостатки, области применения, в том числе на железнодорожном транспорте. Перечислить применяемые марки сварочных материалов.

При ответе на **вопрос 7** необходимо начертить схему поста для сварки с газовой защитой зоны сварки, перечислить основные применяемые газы, основные преимущества и недостатки этого способа сварки, области его применения, в том числе на железнодорожном транспорте. Указать применяемые сварочные материалы.

Отвечая на **вопрос 8**, необходимо объяснить, от каких факторов зависит выбор силы тока при ручной и механизированной сварке и наплавке. В ответе также надо отметить, какое значение для получения качественного сварного соединения имеет правильный выбор силы сварочного тока. Объяснить, какие дефекты могут возникнуть, если будет выбран недостаточный или чрезмерно большой сварочный ток. Ответ следует сопроводить схематичным изображением дефектов, которые образуются в сварных швах и наплавках при неправильном выборе силы тока.

Для ответа на **вопрос 9** нужно начертить схему процесса сварки и объяснить его сущность. Привести эскизы поперечного сечения применяемой проволоки и указать основные марки этой проволоки. Дать примеры применения этого способа сварки (наплавки) при ремонте деталей подвижного состава, строительных и дорожных машин.

Отвечая на **вопрос 10**, нужно начертить схему процесса резки и объяснить его сущность. Указать преимущества этого способа по сравнению с кислородной резкой.

При ответе на **вопрос 11** необходимо сделать эскиз схемы газосварочной горелки, дать характеристику газового пламени как источника теплоты, привести схему газогенератора для получения ацетилена, перечислить основные преимущества и недостатки ацетиленокислородной сварки и указать основные области ее применения, в том числе на железнодорожном транспорте.

Отвечая на **вопрос 12**, следует начертить схемы различных типов стыковых соединений, применяемых при основных способах сварки плавлением. Указать преимущества и недостатки различных видов разделки кромок листов под сварку. Привести области применения различных типов сварных швов.

В ответе на **вопрос 13** нужно исходя из физико-химической сущности процесса, перечислить требования к металлу, подвергаемому кислородной резке, привести эскиз резака для кислородной резки и примеры использования этого способа на железнодорожном транспорте.

Отвечая на **вопрос 14**, нужно начертить схему сварки, подчеркнуть отличие этого способа от другого способа стыковой сварки давлением и указать его основные преимущества.

Отвечая на **вопрос 15**, необходимо описать способы восстановления изношенных деталей, источники энергии и материалы для этих работ.

В ответе на **вопрос 16** объяснить физико-химическую сущность соединения металлов твердыми и мягкими припоями и указать, в каких случаях они применяются, в том числе на железнодорожном транспорте.

При ответе на **вопрос 17** нужно перечислить основные классы легированных сталей и остановиться на их физико-механических свойствах, вызывающих затруднения при сварке. Перечислить необходимые технологические мероприятия для получения качественного шва.

При ответе на **вопрос 18** нужно остановить внимание на физико-химических свойствах цветных металлов (например, алюминия, меди), вызывающих затруднение при их сварке. Перечислить необходимые технологические мероприятия для получения качественного шва.

Отвечая на **вопрос 19**, следует объяснить, какие причины вызывают появление в сварных соединениях и наплавках внутренних дефектов, обратив особое внимание на наиболее опасные из них – трещины и непровары. Ответ необходимо иллюстрировать соответствующими эскизами.

При ответе на **вопрос 20** нужно описать различные виды контроля с разрушением сварных соединений (механические испытания, металло-графический анализ, гидравлические испытания), также различные методы неразрушающего контроля сварных швов. Указать их преимущества и недостатки, а также области применения на железнодорожном транспорте.

## ПРИЛОЖЕНИЕ: СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

[Таблица 1 Технические характеристики трансформаторов для ручной дуговой сварки с падающими внешними характеристиками](#)

[Таблица 2 Технические характеристики сварочных трансформаторов ТДФ с падающими внешними характеристиками](#)

[Таблица 3 Технические характеристики сварочных выпрямителей с падающими внешними характеристиками](#)

[Таблица 4 Технические характеристики сварочных выпрямителей ВДГ с жестким внешними характеристиками](#)

[Таблица 5 Технические характеристики сварочных выпрямителей серии ВДУ с жесткой и падающей внешними характеристиками](#)

[Таблица 6 Технические характеристики аппаратов для автоматической сварки и наплавки открытой дугой и под флюсом](#)

[Таблица 7 Технические характеристики полуавтоматов для сварки открытой дугой в защитных газах](#)

[Таблица 8 Технические характеристики наиболее распространенных аппаратов для электрошлаковой сварки](#)

[Таблица 9 Типы и марки электродов](#)

[Таблица 10 Влияние силы сварочного тока и его плотности на глубину проплавления при автоматической сварке под флюсом](#)

Таблица 1

Технические характеристики трансформаторов для ручной дуговой сварки с падающими внешними характеристиками

Параметр	ТД-300	ТД-500	ТД-502	ТД-102	ТД-306
Климатическое исполнение, категория размещения	У2, Т2	У2, Т2	У3	У2	У2
Режим работы ПН, %	60	60	60	20	30
Номинальный сварочный ток, А	315	500	500	160	250
Пределы регулирования сварочного тока, А	0–365	100–560	100–560	55–175	90–300
Номинальное рабочее напряжение, В	32	40	40	26,4	30
Первичная мощность, кВА	20,5	32	26,5	11,4	19,4
КПД, %, не менее	88	85	85	72	72
Габаритные размеры (длина× высота× ширина), мм	620×692× ×710	570×720 ×	780× 720× ×	290× 435× ×	370×630× ×585
Масса, кг, не более	140	×835 210	835 240	535 38	71

Таблица 2

Технические характеристики сварочных трансформаторов ТДФ с падающими внешними характеристиками

Параметр	ТДФ-1001	ТДФ-1601
----------	----------	----------

Климатическое исполнение, категория размещения	У3, Т3	У4
Нижняя температура окружающей среды, °С	-10	+1
Номинальный сварочный ток, А	1000	1600
Пределы регулирования: сварочного тока, А	400–1200	600–1800
рабочего напряжения, В	36–44	50–60
Напряжение холостого хода, В не более	80	110
Первичная мощность, кВт	82	182
Напряжение сети, В	220, 380	380
КПД, %	87	88
Габаритные размеры, мм	830×1200×1200	830×1200×1200
Масса, кг не более	720	1000

Таблица 3

Технические характеристики сварочных выпрямителей с падающими внешними характеристиками

Параметр	ВД – 306	ВД – 501
Климатическое исполнение, категория размещения	У3, Т3	У3
Продолжительность цикла сварки, мин	5	10
Номинальный сварочный ток, А	315	500
Пределы регулирования сварочного тока, А	45–315	50–500
Номинальное рабочее напряжение, В	32,6	40
Напряжение холостого хода, В не более	70	80
Первичная мощность кВт, не более	21	42
КПД, % не более	70	69
Габаритные размеры, мм	765×735×772	550×805×1062
Масса кг, не более	170	370

Таблица 4

Технические характеристики сварочных выпрямителей ВДГ с жестким внешними характеристиками

Параметр	ВДГ – 302	ВДГ – 601
Климатическое исполнение, категория размещения	У3, Т3	У3, Т4
Номинальный сварочный ток, А	315	630
Пределы регулирования: сварочного тока, А	50–315	100–700
рабочего напряжения, В	16–38	18–66
Номинальное рабочее напряжение, В	38	66
Напряжение холостого хода, В	55	90
Первичная мощность, кВт	19	69
КПД, %	75	82
	748×1045×953	900×1250×1125





**Аппараты общего применения для автоматической сварки**

<b>АБСК</b>	<b>Самоходный</b>	<b>Флюс</b>	<b>2,0–6,0</b>	<b>300–1200</b>	<b>28–220</b>	<b>Ступенчатое</b>	<b>14–110</b>	<b>ТДФ-1001</b>
<b>А1401</b>	<b>То же</b>	<b>”</b>	<b>2,0–5,0</b>	<b>1000</b>	<b>53–532</b>	<b>Плавное</b>	<b>12–120</b>	<b>ТДФ-1001</b>
<b>А1410</b>	<b>”</b>	<b>”</b>	<b>2,0–6,0</b>	<b>2000</b>	<b>53–532</b>	<b>То же</b>	<b>24–240</b>	<b>ТДФ-1601</b>
<b>А1412</b>	<b>”</b>	<b>”</b>	<b>2,0–5,0</b>	<b>2×1600</b>	<b>53–532</b>	<b>”</b>	<b>24–240</b>	<b>ТДФ-1601 (2 шт.)</b>
<b>А1416</b>	<b>”</b>	<b>”</b>	<b>2,0–5,0</b>	<b>1000</b>	<b>47–508</b>	<b>Ступенчатое</b>	<b>12–120</b>	<b>ВДУ-1001</b>
<b>А1419</b>	<b>”</b>	<b>”</b>	<b>2,0–6,0</b>	<b>2000</b>	<b>47–508</b>	<b>То же</b>	<b>24–240</b>	<b>ТДФ-1601</b>
<b>УДФ1001У4</b>	<b>”</b>	<b>”</b>	<b>2,5–3,0</b>	<b>400–1000</b>	<b>200–600</b>	<b>Плавное</b>	<b>18–50</b>	<b>ТШС-1000-3</b>

**Аппараты специализированные для автоматической сварки**

<b>А1423</b>	<b>Подвесной</b>	<b>Флюс</b>	<b>1,6–3,0</b>	<b>300</b>	<b>45–450</b>	<b>Плавное</b>	<b>–</b>	<b>ВДУ-504, ВС-600</b>
<b>А1403</b>	<b>Самоходный</b>	<b>То же</b>	<b>2,0–5,0</b>	<b>2x1600</b>	<b>53–530</b>	<b>То же</b>	<b>24–240</b>	<b>ТДФ-1601</b>
<b>А1425</b>	<b>То же</b>	<b>”</b>	<b>4,0–5,0</b>	<b>1000</b>	<b>50–500</b>	<b>”</b>	<b>12–120</b>	<b>(2 шт.)</b>
<b>А1208С</b>	<b>Подвесной</b>	<b>Без внешней защиты или углекислый газ</b>	<b>1,6 (сплошная) 2,0–2,5 (порошковая)</b>	<b>200</b>	<b>102–196</b>	<b>Ступенчатое</b>	<b>10–25</b>	<b>ТДФ-1601 ПСГ-500</b>

**Аппарат общего применения для автоматической наплавки**

<b>А384МК</b>	<b>Подвесной</b>	<b>Флюс</b>	<b>3,0–5,0</b>	<b>1000</b>	<b>28,5–225</b>	<b>Ступенчатое</b>	<b>–</b>	<b>ПСО-500</b>
<b>А580М</b>	<b>то же</b>	<b>”</b>	<b>1,0–3,0</b>	<b>400</b>	<b>48–408</b>	<b>То же</b>	<b>–</b>	<b>ПСО-500</b>

Окончание табл. 6

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
<b>А874Н</b>	<b>Самоходный</b>	<b>Флюс или без внешней защиты</b>	<b>(2,0–7,0)</b>	<b>1000</b>	<b>5-90</b>	<b>Плавное</b>	<b>5–116</b>	<b>ВДУ-1001</b>
<b>Аппараты специализированные для автоматической наплавки</b>								
<b>А1406</b>	<b>Подвесной</b>	<b>Без внешней защиты, флюс или</b>	<b>2,0–7,0</b>	<b>1000</b>	<b>50–500</b>	<b>Плавное</b>	<b>12–120</b>	<b>ВДУ-1001</b>

A1408	То же	углекислый газ Без внешней защиты или углекислый газ	1,6– 3,0	500	50– 500	То же	12– 120	ВДУ-504
A1409	То же	Без внешней защиты или флюс	1,6– 3,0	300	50– 500	”	12– 120	ВДУ-504
<b>Тракторы общего применения для автоматической сварки однодуговые</b>								
ТС-17М-1	–	Флюс	1,6–	200–	52–	Ступенчатая	16–	ТДФ-1001
ТС-42	–	То же	5,0	1000	403	То же	126	ТДФ-1001
АДС-1000-4	–	”	2,0–	До 1000	60–	Плавное	12–	ТДФ-1001
АДС-1000-5	–	”	5,0	400–	1000		120	ВДУ-1001
АДФ-1001	–	”	2,0–	1200	60–		12–	ТДФ-1001
АДФ-1004	–	”	5,0	400–	360		120	ВДУ-1001
АДФ-1602	–	”	2,0–	1200	60–		12–	ВДУ-1601
			5,0	400–	360		120	
			3,0–	1200	60–		12–	
			5,0	1000–	360		120	
			3,0–	1200	60–		12–	
			5,0	600–	360		120	
			3,0–	1800	60–		12–	
			6,0		360		120	
<b>Тракторы специализированные для автоматической сварки</b>								
ТС-32	–	Флюс	2,0–	До 900	137–	Ступенчатое	4-50	ТДФ-1001
ТС-44	–	”	5,0	1600	284	Плавное	8-45	ВДУ-1601
ДТС-38	–	”	3,0–	2x1600	60–	Ступенчатое	16- 160	ТДФ-1601 (2 шт.)
			6,0		360			
			2,0-		58-			
			5,0		580			

Таблица 7

Технические характеристики полуавтоматов для сварки открытой дугой в защитных газах

Тип полуавтомата	Напряжение сети, В	Номинальный сварочный ток при ПР=60%, А	Диаметр сплошной электродной проволоки, мм	Скорость подачи электродной проволоки, м/с	Марка источника питания
------------------	--------------------	---	--	--	-------------------------

A537P	380	150	0,8-1,2	$3 \cdot 10^{-2}-9 \cdot 10^{-2}$	BC-200
A537Y	380	500	1,6-2	$2 \cdot 10^{-2}-1,6 \cdot 10^{-1}$	BC-600
A547P	380	200	0,8-1,2	$3 \cdot 10^{-2}-1,6 \cdot 10^{-1}$	BC-200
A547Y	380	300	0,8-1,2	$3 \cdot 10^{-2}-9 \cdot 10^{-2}$	BC-300
ПДГ-301	220/380	315	0,8-1,2	$3 \cdot 10^{-2}-9 \cdot 10^{-2}$	ВДГ-301
ПДГ-302	220/380	300	0,8-2	$5 \cdot 10^{-2}-2 \cdot 10^{-1}$	ВДГ-301
ПДГ-303	220/380	315	0,8-1,2	$5 \cdot 10^{-2}-2 \cdot 10^{-1}$	ВДГ-301
ПДГ-304	220/380	315	0,8-2	$5 \cdot 10^{-2}-2 \cdot 10^{-1}$	ВДГ-301
ПДГ-305	220/380	315	0,8-1,4	$3 \cdot 10^{-2}-3 \cdot 10^{-1}$	ВДГ-301
ПДГ-306	220/380	315	0,8-1,4	$3 \cdot 10^{-2}-3 \cdot 10^{-1}$	ПСГ-501
ПДГ-500-1	220/380	500	0,8-2	$3 \cdot 10^{-2}-3 \cdot 10^{-1}$	ВДУ-504-1
ПДГ-502	220/380	500	1,2-2	$3 \cdot 10^{-2}-3 \cdot 10^{-1}$	ВДУ-504-1
ПДГ-503	380	500	1,6-2	$3 \cdot 10^{-2}-3 \cdot 10^{-1}$	ВДУ-504-1
ПДГ-504	380	500	1,6-2	$3 \cdot 10^{-2}-3 \cdot 10^{-1}$	ПСГ-500-1
ПДГ-505	380	500	1,6-2	$4 \cdot 10^{-2}-2 \cdot 10^{-1}$	ПСГ-500-1
ПДПГ-500	220/380	500	0,8-2	$3 \cdot 10^{-2}-3 \cdot 10^{-1}$	ВДГИ-102
ПДГИ-101	380	120	1,2-1,6	$3 \cdot 10^{-2}-3 \cdot 10^{-1}$	ВДГИ-301
ПДГИ-302	380	315	1,6-2	$3 \cdot 10^{-2}-3 \cdot 10^{-1}$	ВДГИ-301
ПДГИ-303	380	315	1,2-2	$2,5 \cdot 10^{-2}-1,7 \cdot 10^{-1}$	Постоянного тока 350 А не комплектуется
ПШП-10	220	300	1-2,5	$2,6 \cdot 10^{-2}-1,6 \cdot 10^{-1}$	ВСП-315
ПШП-16	220	350	1,2-2	$2,5 \cdot 10^{-2}-1,6 \cdot 10^{-1}$	ВСП-315
ПШП-17	220	315	0,6-2	$2 \cdot 10^{-2}-1,6 \cdot 10^{-1}$	BC-30, BCЖ-303
A-825M	220/380	300	0,8-1,2	$2 \cdot 10^{-2}-1,6 \cdot 10^{-1}$	ПСГ-500
A-929	220/380	350	1-2	$2 \cdot 10^{-2}-1,5 \cdot 10^{-1}$	ПСГ-500,
A-1035M	220/380	450	1,6-2	$2,5 \cdot 10^{-2}-2 \cdot 10^{-1}$	ПСУ-500, BC-500
A-1197П A- 1230M	220/380 380	500 315	1,6-2 0,8-1,2	$4 \cdot 10^{-2}-2 \cdot 10^{-1}$	ПСГ-500, ПСО-500 ВДГ-302

Таблица 8

Технические характеристики наиболее распространенных аппаратов для электрошлаковой сварки

Марка аппарата	Наибольшая толщина свариваемого материала, мм	Номинальный ток сварки I <sub>св</sub> , А, при ПВ=100%	Диаметр проволоки, мм	Скорость подачи проволоки V <sub>п</sub> , м/ч	Скорость сварки V <sub>св</sub> , м/ч	Марки источника питания	Габаритные размеры (длина× ширина× высота), мм	Масса, кг
<b>Аппараты для полуавтоматической сварки проволочным электродом</b>								
A671P, безрельсовый	16–50	300–700	2,5- 3,0	250-400	-	ВДУ-1001	350x200x300	18,6

Аппараты для автоматической сварки								
проволочным электродом								
А820МК, рельсовый	70	700	2,5– 3,0	58–580	4,0–15,0	ВДУ-1001	350×250× 650	20
А433Р, рельсовый	150	1000	3,0	60–420	2,6–17,5	ВДУ-1001	392×440× 800	75
А535, льсовый	450–800	3×1000	3,0	60–450	0,4–9,0	ТШС- 1000-3	1600×820× 1070	380
А1170, рельсовый	до 300	2×1000 или 1×1500	3,0– 5,0	14–140	0,4–2,1	ТШС- 1000-3	780×510× 820	350
А612, безрельсовый	20–100	1000		129–444	0,4–4,0		750×370× 870	70 25
А501М, безрельсовый	до 90	750	3,0  2,5	100–300	1,0–9,0	ТШС- 1000-1  ВДУ-1001	220×280× 420	
плавящимся мунштуком								
А645	200–600 До	2000–8000	3,0	62–154	–	ТШС- 3000-1	370×400× 360	35
А1304	400(сталь)  До 140 (Al)	3000 (сталь) 9000 (Al)	3,0  3,0- 6,0	14–306  15–300	–	ТРМК-  3000-1	400×542× 790 –	55  –
пластинчатым электродом								
А550У	До 200	3000 (сталь)	До 200	0,8-10,0	–	ТШС- 3000-1	1200×575× до 3800	До 440

Таблица 9

## Типы и марки электродов

Тип элект рода	Марка элект рода	Коэффици ент наплавки $\leq$ ,г/А·ч	Расход элект родов на 1кг напавлен ного металла, кг	Рекомен дуемые стали	Род сварочного тока	Технологические особенности сварки
1	2	3	4	5	6	7
Э42	АНО-5	11	1,6	Низкоуглеро- дистые	Постоянный или перемен- ный	Сварка во всех пространственных положениях средней или короткой дугой
Э42	АНО-1	15	1,5	Низкоуглеро	То же	Сварка методом

				дистые и низколегированные		опирания или короткой дугой (длина 3–4 мм) в нижнем или наклонном положении под углом 20°
Э42А	УОНИИ-13/45	8,5	1,6	Низко- и среднеуглеродистые и низколегированные	Постоянный обратной полярности	Сварка во всех пространственных положениях предельно короткой дугой методом опирания
Э46	АНО-3	8,5	1,6	Низкоуглеродистые	Постоянный или переменный	Сварка во всех пространственных положениях дугой средней длины (5–6 мм)
Э46	MP-3	7,8	1,7	То же	Постоянный обратной полярности или переменный	То же
Э46	ОЗС-6	10,5	1,6	Низкоуглеродистые	Постоянный или переменный	Сварка во всех пространственных положениях дугой средней длины (5–6 мм)
Э46	АНО-13	9	1,7	То же	То же	Сварка во всех пространственных положениях короткой дугой или методом опирания

Окончание табл. 9

1	2	3	4	5	6	7
Э50А	АНО-9	10	1,7	Низко-, среднеуглеродистые и низколегированные	Переменный и Постоянный обратной полярности	Сварка во всех пространственных положениях предельно короткой дугой или методом опирания
Э50А	УОНИИ-13/55	9	1,7	То же	Постоянный обратной полярности	То же
Э60А	УОНИИ-13/65	9	1,7	Среднеуглеродистые хромистые, хромоникелевые и хромомарганцевистые	То же	”

Э10Г2	ОЗН-250У	8,6	1,7	Среднеуглеродистые и низколегированные	Постоянный обратной полярности	Наплавка в нижнем положении, твердость наплавленного металла 250 НВ
Э11Г3	ОЗН-300У	8,6	1,7	Углеродистые и низколегированные	То же	То же, твердость 300 НВ
Э12Г4	ОЗН-350У	8,2	1,7	Углеродистые и низколегированные	”	То же, твердость 350 НВ
Э15ГГ5	ОЗН-400У	8,6	1,6	Углеродистые и низколегированные	”	То же, твердость 400 НВ

Таблица 10

Влияние силы сварочного тока и его плотности на глубину проплавления при автоматической сварке под флюсом

Диаметр электродной проволоки, мм		Глубина проплавления, мм					
		3	4	5	6	8	10
1	Сила сварочного тока, А	200	300	350	400	500	600
	Плотность тока, А/мм <sup>2</sup>	64	104	127	143	157	200
2	Сила сварочного тока, А	300	350	400	500	625	750
	Плотность тока, А/мм <sup>2</sup>	43	50	57	71	89	107
3	Сила сварочного тока, А	375	425	500	550	675	800
	Плотность тока, А/мм <sup>2</sup>	29	36	40	44	53	64
4	Сила сварочного тока, А	450	500	550	600	725	825
	Плотность тока, А/мм <sup>2</sup>	23	26	28	31	37	42