

Р.Е.ЕСЕНБЕРЛИН

**ВОССТАНОВЛЕНИЕ  
АВТОМОБИЛЬНЫХ  
ДЕТАЛЕЙ  
СВАРКОЙ,  
НАПЛАВКОЙ  
И ПАЙКОЙ**



МОСКВА  
· ТРАНСПОРТ ·  
1994

1254559

Библиотечный  
областная библиотека  
им. И. В. Бабушкина

УДК 629.113.011/.012.004.67

Есенберлин Р. Е. Восстановление автомобильных деталей сваркой, наплавкой и пайкой. М.: Транспорт, 1994 — 256 с.

Рассматриваются физико-химические процессы, происходящие в ходе восстановления автомобильных деталей сваркой, наплавкой и пайкой, и связанные с ними вопросы прочности, износостойкости, деформации и коррозии деталей. Приводятся необходимые сведения по сварочному оборудованию и материалам, применяемым при ремонте деталей. Анализируются дефекты, устранимые сваркой, наплавкой и пайкой. Основу книги составляет рассмотрение различных видов технологий сварки, наплавки и пайки, применяемых при восстановлении деталей.

Для инженерно-технических работников авторемонтных и автотранспортных предприятий, может быть полезна студентам автомобильно-дорожных вузов и факультетов.

Ил. 96, табл. 121, библиогр. 36 назв.

Р е ц е н з е н т ы: Б. П. Перегудин, канд. техн. наук В. П. Фоминых

З а в е д у ю щ и й р е д а к ц и е й В. И. Лапшин

Р е д а к т о р канд. техн. наук Н. К. Заря

Федеральная программа книгоиздания

Производственное издание

**ЕСЕНБЕРЛИН РАВНАК ЕСЕНБЕРЛИНОВИЧ**

Восстановление автомобильных деталей сваркой, наплавкой и пайкой

Переплет художника Е. Н. Волкова

Технический редактор М. А. Шуйская

Корректор-вычитчик В. И. Яговкина

Корректор И. А. Попова

ИБ № 4481

Лицензия № 010163 от 04.01.92 г.

---

Подписано в печать 17.12.93.

Формат 60x88 1/16.

Бумага газетная.

Гарнитура TimesRoman. Печать офсетная. Усл. печ. л. 15,64. Усл. кр.-отт. 15,84.  
Уч.-изд. л. 18,58. Тираж 10 000 экз. Заказ 4 . С 010. Изд. № 1-3-1/6 № 5527

Текст набран в издательстве на ПЭВМ

Ордена "Знак Почета" издательство "Транспорт  
103064, Москва, Басманный туп., ба

---

Московская типография № 4

Министерство печати и информации РФ,  
129041, Москва, Б. Переяславская ул., 46

Е 3203030000-010 70-93  
049(01)-94

КБ-3-651-93

ISBN 5-277-01056-4

© Р. Е. Есенберлин, 1994

# Глава 1. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ СВАРКОЙ, НАПЛАВКОЙ И ПАЙКОЙ

## 1.1. Химический состав металла шва

Химический состав металла шва изменяется в различной степени при всех видах сварки. На него влияют в основном три процесса: окисление или сгорание отдельных компонентов материала шва, испарение некоторых компонентов и поглощение газов сварочной ванной.

*Окисление* металла при сварке происходит во всех случаях нагрева главным образом за счет кислорода, имеющегося в атмосфере сварки. При этом в первую очередь сгорают те компоненты сплава, которые имеют наибольшее химическое сродство с кислородом. В сталях, например, в первую очередь окисляются углерод, кремний, марганец, хром и некоторые другие элементы, более активные по отношению к кислороду, чем железо. Это приводит к обеднению материала шва легирующими составляющими и снижению его механических и коррозионных свойств. Кроме того, сами образовавшиеся при сварке окислы, растворяясь в материале шва, могут влиять на его качество. С увеличением содержания окислов пределы прочности и текучести, ударная вязкость, пластичность, усталостная прочность и коррозионная стойкость стали снижаются, у шва появляются хладноломкость и красноломкость. Если при сгорании легирующих элементов образуются газообразные окислы (например, CO), то шов получается пористым.

При сварке других металлов, например алюминиевых, магниевых или титановых сплавов, окисляется, как правило, прежде всего сама основа — алюминий, магний или титан, которые характеризуются большей активностью по отношению к кислороду, чем легирующие компоненты. При этом образуются весьма стойкие тугоплавкие окислы, удаление которых из шва вызывает большие трудности. Окислы в шве приводят к снижению его механических свойств и коррозионной стойкости. Часто при наличии окислов алюминия или титана сварки не происходит. Наиболее распространенными окислами, встречающимися при сварке металлов, являются  $\text{FeO}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Почти все они образуются при сварке легированных сталей, некоторые — при сварке сплавов алюминия (например,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ) и титана ( $\text{TiO}_2$ ).

*Испарение* отдельных компонентов имеет место при сварке плавлением стали, латуни и некоторых других сплавов. Температура пламени газовой горелки доходит до  $3150^\circ\text{C}$ , а электрической дуги изменяется от 5000 до  $15\ 000^\circ\text{C}$ . Температура сварочной ванны колеблется в широких пределах: от температуры плавления свариваемых металлов до их кипения. Для стали температура ванны часто превышает  $2000^\circ\text{C}$ . Такая температура, хотя и действует кратковременно, может, однако, привести к испарению компонентов, кипящих при более низкой температуре, чем основа сплава, вследствие чего сварочная ванна может обедняться легирующими элементами. В сталях такими компонентами являются марганец, хром и, в некоторой степени, кремний.

При сварке медных сплавов, в частности латуни, температура плавления которой составляет  $890\ldots910^\circ\text{C}$ , интенсивно испаряется цинк (температура кипения  $907^\circ\text{C}$ ), что сказывается на качестве шва.

*Поглощение* газов материалом шва также имеет существенное значение при сварке плавлением. В шов попадают главным образом кислород, азот и водород.

Другие газы, с которыми приходится иметь дело в процессе сварки, такие, как пары воды, ацетилен, аммиак и т. п., при высокой температуре нагрева обычно диссоциируют на составные части с выделением кислорода, азота или водорода.

Источником газов при сварке могут служить атмосфера, окружающая сварочную ванну (воздух или защитно-восстановительные газы, содержащие примеси), а также различные химические реакции, которые имеют место при сварке. Взаимодействие металла с газами происходит в жидким состоянии металла и отчасти в твердом. При этом газы могут входить в шов в виде химических соединений, твердых растворов или механических включений в порах, раковинах. Во всех случаях, за редким исключением, присутствие при сварке кислорода, азота, водорода и других газов оказывает в той или иной степени вредное влияние на качество шва.

Кислород растворяется в большинстве металлов. Если металл насыщается кислородом выше предельной растворимости, то образуются окислы данного металла и в дальнейшем увеличение кислорода в металле происходит за счет окислов. Наличие кислорода в металле в виде твердого раствора или механических включений, так же как и наличие его в виде химических соединений, резко снижает механические свойства шва.

Азот растворяется преимущественно в металлах, с которыми он образует химические соединения. В сталях азот присутствует в виде твердого раствора в а- и  $\gamma$ -железе или в виде иглообразных включений нитрида железа, хорошо различимых под микроскопом. В обычной мартеновской стали содержится 0,001...0,008 % азота. Такое количество азота не оказывает заметного влияния на свойства стали. Однако при некоторых видах сварки в шов попадает до 0,12 % азота, что приводит к значительному изменению качества шва.

С увеличением содержания азота в стали ее прочность и твердость возрастают, а пластические свойства (удлинение, сужение площади поперечного сечения, ударная вязкость), наоборот, понижаются. Наряду с этим появляется тенденция к хладноломкости. В коррозионностойких сталях азот является сильным аустенизатором, и в этом качестве он может заменить никель. Кроме того, азот измельчает зерна этих сталей и тем самым улучшает их свойства. Опытным путем установлено, что при сварке коррозионностойких сталей в атмосфере чистого азота снижение стойкости швов против образования горячих трещин не наблюдается.

Присутствие азота не оказывает вредного влияния на медь. При сварке водород может существовать как в молекулярном, так и в атомарном состоянии, в зависимости от температуры процесса. Диссоциация молекул водорода на атомы происходит в условиях дугового разряда. Атомарный водород является более сильным восстановителем, чем молекулярный. Он более активно реагирует и с металлом. Водород растворим в железе как в жидком, так и в твердом состоянии. Помимо железа, он может в виде раствора находиться в никеле, марганце, кобальте, алюминии, титане, меди и других металлах. С некоторыми металлами водород образует химические соединения (TiH, VH и др.).

Диффузия атомарного водорода продолжается и после затвердевания стали. При этом атомы, попавшие в раковины и поры, образуют молекулы, которые в дальнейшем не могли диффундировать через металл. В результате в порах и раковинах стали происходит скопление водорода под большим давлением, что создает напряженное состояние металла и может вызвать появление в нем микроскопических трещин (так называемые флокены).

Серьезную опасность представляет водород для легированных сталей, содержащих марганец, никель и другие элементы, расширяющие область  $\gamma$ -железа. Растворимость водорода в  $\gamma$ -железе выше, чем в а-железе. Это приводит к насыщению а-железа водородом при фазовых превращениях в процессе охлаждения и вызывает усиленную диффузию водорода в зону еще не распавшегося аустенита. Дальнейшее охлаждение уменьшает количество нераспавшегося аустенита, в результате чего повышается концентрация водорода, а следовательно, и его давление в

отдельных участках шва, что может привести к появлению трещин. При сварке коррозионностойких сталей водород способствует возникновению напряженного состояния на участках, где произошел распад аустенита, поскольку растворимость водорода в аустените значительна.

Водород оказывает отрицательное воздействие также при сварке алюминиевых, магниевых, титановых и медных сплавов. Особенно опасен водород для меди. При нагреве меди и некоторых ее сплавов в атмосфере, содержащей водород, возникает дефект, известный под названием "водородная болезнь". Возникновение "водородной болезни" объясняется следующим. Водород восстанавливает окислы меди, всегда присутствующие в технической меди на границах зерен, а образовавшиеся при этом пары воды, расширяясь при высокой температуре, разрушают связь между кристаллами металла. "Водородная болезнь" в той или иной степени свойственна и другим металлам.

Как видно из изложенного, образование сварного шва сопровождается рядом физических, химических и механических процессов, которые могут привести к нежелательным результатам. Для предотвращения вредного влияния этих процессов на качество шва при сварке предусматриваются специальные меры, к которым относятся: применение присадочных материалов, флюсов, защитных и восстановительных газов, обмазок (покрытий), рафинирование; правильный выбор вида сварки; правильное ведение технологического процесса.

## 1.2. Образование сварного и паяного швов

При сварке плавлением кромки соединяемых элементов доводятся до жидкого состояния с введением или без введения присадочного металла. Расплавленные основной и присадочный металлы, сливаясь, образуют общую сварочную ванну, находящуюся в состоянии непрерывного движения и перемешивания. Оплавленные участки основного металла и ранее образовавшегося шва определяют границы сварочной ванны. Объем сварочной ванны в зависимости от способа и режима сварки составляет не менее  $0,1 \text{ мм}^3$ . В плане сварочная ванна имеет эллипсовидное очертание с температурой в головной части вдоль направления сварки до  $2300^\circ\text{C}$ , которая снижается в хвостовой части до температуры плавления основного металла. Средняя температура ванны при сварке под флюсом низкоуглеродистых сталей составляет  $1800^\circ\text{C}$ . Время пребывания металла в жидком состоянии исчисляется секундами. При кристаллизации металла сварочной ванны образуется шов. В процессе затвердевания металла вследствие диффузии выравнивается состав различных участков образовавшихся кристаллитов. В связи с тем что металл остывает быстро, а диффузионный процесс в твердом металле протекает медленно, сварной шов имеет неоднородную структуру с неравномерным распределением элементов в пределах отдельных кристаллитов и образованием зональной ликвации. Это оказывает влияние на механические свойства металла шва.

Качество сварного шва в значительной степени зависит от диффузионных процессов, протекающих в зоне сплавления жидкого металла с основным. Различие растворимости элементов в жидкой и твердой фазах приводит к существенной разнице в химическом составе пограничных участков основного металла и металла шва. Вследствие колебания режима сварки и других технологических причин часто изменяется химический состав металла и по длине шва. Наблюдается также физическая неоднородность металла шва, связанная с несовершенством кристаллической решетки, способствующая его хрупкости.

Кристаллизация металла сварочной ванны начинается от частично оплавленных зерен основного металла, после чего видимая граница между металлами исчезает. На рис. 1.1 показана условная поверхность раздела A между зернами основного металла и кристаллитами шва, именуемая обычно границей сплавления. Металл шва

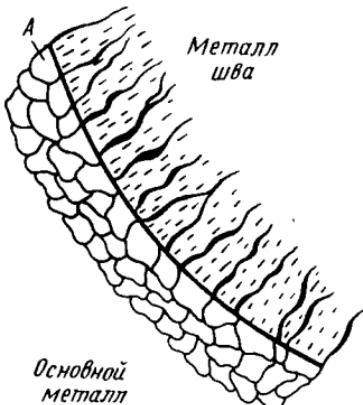


Рис. 1.1. Граница сплавления наплавленного металла с основным металлом

железа в  $\alpha$ -железо. При этом происходит вторичная кристаллизация, при которой характер получаемой микроструктуры зависит от химического состава металла шва, термического цикла и других факторов. Процессы образования паяного шва и обусловленная ими структура металла в зоне пайки отличаются большим разнообразием и, как правило, большей сложностью, чем при сварке.

При сварке соединяемые детали и присадочный материал либо полностью идентичны, либо обладают одинаковой основой и обеспечивают полную металлургическую совместимость. Следовательно, процессы в шве имеют идентичный характер. В процессах пайки встречаются самые различные сочетания металлов соединяемых деталей и припоев — начиная от полной металлической несовместимости и кончая полной совместимостью. Соответственно и процессы в шве развиваются в последовательности: поверхностная диффузия, смачивание, обратимое или необратимое растекание и затекание в капилляры, диффузия по межзеренным границам, растворно-диффузионные процессы; кристаллизационные процессы (в том числе ликвационные и образования интерметаллидов), гомогенизирующая диффузия.

При формировании структуры шва существенную роль играет скорость охлаждения. Если скорость кристаллизации значительно выше скорости диффузии припоя в металл детали, в шве возникает эвтектическая структура. Если охлаждение достаточно медленное, то шов будет иметь однофазную структуру твердого раствора. При необходимости можно превратить эвтектическую структуру паяного шва в однофазную с помощью длительного отжига. Соответствующая по времени выдержка позволяет и здесь обеспечить существенное повышение температуры расплава шва.

### 1.3. Структурные изменения в металлах шва и околошовной зоны

Структура металла шва при сварке низкоуглеродистых и низколегированных сталей может состоять из феррита, перлита и мартенсита, бейнита и остаточного аустенита. В зависимости от погонной энергии соотношение этих структур меняется. На рис. 1.2 показаны содержание мартенсита 4, перлита 1, остаточного аустенита 2 и микротвердость 3 металла в зависимости от погонной энергии при сварке стали, содержащей 0,14 % углерода, 1,1 % марганца, 0,75 % кремния. Дополнительное легирование стали марганцем, кремнием и другими элементами способствует образованию в сварных соединениях закалочных структур. В связи с этим при

имеет столбчатое строение со сравнительно крупными размерами, легко различимыми при изучении микроструктуры. Рост кристаллитов происходит нормально к криволинейной поверхности раздела А. По мере удаления от границы раздела дендриты разветвляются, а потом при встрече с кристаллитами противоположной кромки сварочной ванны они разрушаются, и структура металла шва становится более мелкозернистой. Измельчения столбчатой структуры металла шва можно добиться применением специальных модификаторов, вводимых в сварочную ванну.

Металлы и сплавы, имеющие аллотропические превращения, сохраняют первичную структуру до температуры аллотропического превращения. Для сталей и чугунов аллотропическое превращение проявляется в переходе  $\gamma$ -

сварке низколегированных сталей погонные энергии берутся в более узких пределах, чем при сварке малоуглеродистых сталей. Концентрация легирующих элементов в металле шва определяет стойкость шва к кристаллическим трещинам: металл шва с большим содержанием легирующих элементов более склонен к трещинообразованию.

Нагрев металла при сварке является местным, с резким перепадом температур: в зоне непосредственного касания с дуговым разрядом металл доводится до температуры кипения, далее температура снижается и на некотором расстоянии от шва становится равной температуре окружающей среды. Естественно, что в различных температурных условиях металл имеет различные структурные особенности. Полоса металла, в которой под действием нагрева в процессе сварки происходят какие-либо структурно-фазовые изменения, получила название зоны термического влияния. Характер структурных изменений удобнее всего установить, рассматривая график "температура — расстояние от центра шва" совместно с диаграммой состояния соответствующего сплава. Рассмотрим в качестве примера структурные изменения, происходящие в стали, содержащей 0,35 % углерода, и их влияние на механические свойства сварного соединения (рис. 1.3).

Последовательность структур можно представить как последовательность следующих участков: литого (нагретого) металла, оплавления (неполного расплавления) 1, перегрева 2, нормализации 3, неполной фазовой перекристаллизации 4, рекристаллизации 5 и синеломкости 6.

Участок литого металла имеет характерное дендритное строение, причем в верхней средней части сварочной ванны его структура заметно огрубляется вследствие перегрева. Механические свойства литого металла низки из-за грубозернистой структуры. Наличие газовых пор и шлаковых включений (следствие нарушений режима сварки) дополнительно снижает механические свойства шва.

Участок оплавления соответствует интервалу температур между точками ликвидуса и солидуса диаграммы расстояния. Здесь в процессе сварки под действием перегретого расплава происходит частичное оплавление металла детали, причем фронт оплавления продвигается неравномерно — границы зерен оплавляются первыми. Это приводит к затеканию жидкой фазы между зернами и частичному диспергированию твердой фазы (вымывание отдельных зерен в расплав). На стадии охлаждения кристаллизация расплава происходит прежде всего в зоне оплавленных и диспергированных зерен этого участка, что и определяет направленность кристаллической структуры всего литого металла шва.

Участок перегрева охватывает полосу металла с термическим влиянием от температуры плавления до температуры 1000...1100 °С. При этих температурах происходит интенсивная собирательная рекристаллизация аустенита, что приводит затем к возникновению грубозернистой ферритно-перлитной структуры. По мере снижения температуры к периферии степень огрубления уменьшается. Механические свойства этой зоны недостаточно высоки, особенно вязкостные характеристики.

Участок нормализации охватывает слои металла, подвергшиеся нагреву в пределах температур от 1000 °С до линии аустенитно-ферритного превращения. Сталь в нагретом состоянии, имеющая аустенитную структуру, при охлаждении становится мелкой ферритно-перлитной смесью. Как известно, такая

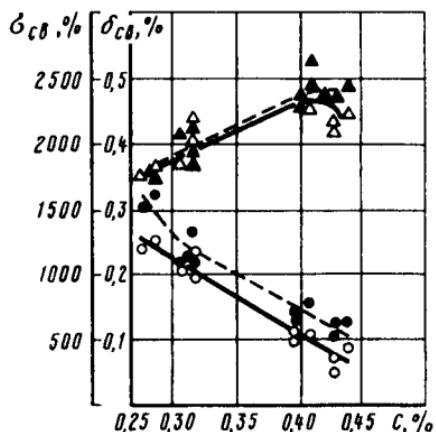


Рис. 1.2. Изменение количества структурных составляющих и твердости швов на низкоуглеродистой стали

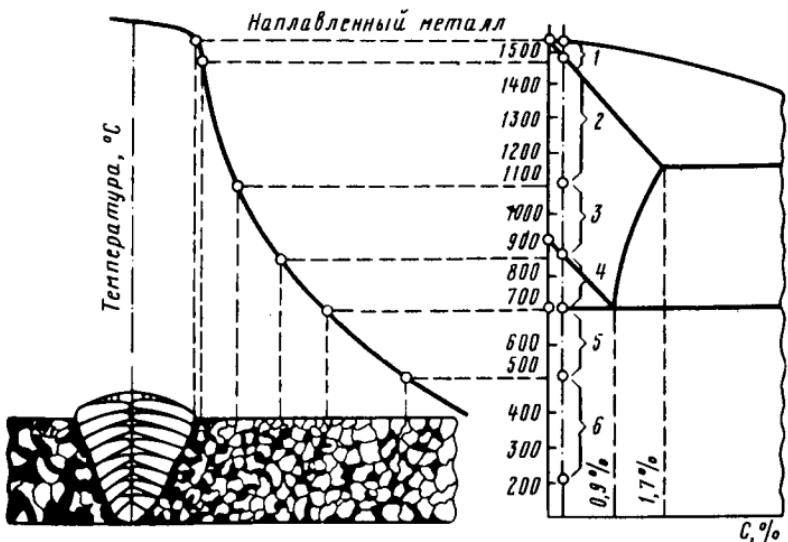


Рис. 1.3. Изменение структур околошовной зоны при сварке стали

структура, характерная для нормализованной стали, имеет хорошие механические свойства.

Участок неполной фазовой перекристаллизации лежит в интервале ферритно аустенитного превращения. При этих температурах аустенитное превращение успевает пройти не весь феррит, а лишь некоторая его часть (тем меньшая, чем ниже температура). Перлит же переходит в аустенит полностью уже при температуре нижней границы интервала ( $727^{\circ}\text{C}$ ). После охлаждения структура стали имеет резкую неоднородность по размерам зерен. В то время как обратный распад аустенита дает мелкозернистую структуру, зерна феррита, не подвергавшиеся превращению в ходе нагрева, вырастают за счет собирательной рекристаллизации до значительных размеров. Неоднородность структуры приводит к ухудшению механических свойств металла, в первую очередь вязкостно-пластических.

Участок рекристаллизации охватывает температурный интервал от  $450\ldots 500$  до  $727^{\circ}\text{C}$ . Изменение структуры металла наблюдается здесь практически лишь в том случае, когда металл был предварительно подвергнут наклепу (пластической деформации). В этом случае происходит снижение прочностных и повышение вязкостно-пластических характеристик металла.

Особого внимания заслуживают зоны неполной перекристаллизации и рекристаллизации при выполнении сварочных работ на деталях, подвергавшихся до этого небольшим пластическим деформациям — в пределах  $5\ldots 15\%$ . Именно такие степени деформации часто имеют место в случаях поломок и последующей правки деталей перед сваркой. При этом пластическая деформация и, следовательно, значительное повышение внутреннего запаса энергии происходят только у части зерен металла. Остальные зерна испытывают только лишь упругую деформацию, но они сохраняются после прекращения действия внешних сил благодаря "заклинивающему" действию пластически деформированных соседних зерен. Под воздействием нагрева во время сварки пластически деформированные зерна, у которых имелся повышенный запас энергии, рекристаллизуются первыми и переходят в равновесное состояние. Атомы соседних упругодеформированных зерен теперь оказываются энергетически в менее равновесном состоянии (у них имеется дополнительная энергия упругой деформации) и диффузионно-рекристаллизационным способом начинают "уходить" из своего зерна и пристраиваться к более равновесной решетке рекристаллизированного зерна.

Сопоставление свойств металла в исходном (перед сваркой) состоянии детали со свойствами металла в зоне сварного шва показывает, что результирующая кривая прочности сварного соединения может иметь один провал (на участке литого металла) и один пик (на участке нормализации или закалки), если в исходном состоянии металл отожженный, или два провала (на участках литого металла и неполной перекристаллизации), если в исходном состоянии металл закаленный.

При механических испытаниях сварных соединений разрушение бездефектного сварного шва происходит, как правило, по участку неполной перекристаллизации, поскольку понижение механических свойств литой структуры компенсируется ее усилением за счет валика наплавленного металла. При наличии дефектов шва разрушение происходит либо по участку оглаживания, либо по газовым и шлаковым включениям. Снижение прочностных характеристик металла в зоне сварного шва можно практически исключить или ослабить до безопасного значения сопутствующей или последующей термической обработкой. Иногда прибегают к предварительной закалке заготовок с тем, чтобы последующим за сваркой отпуском выровнять внутренние напряжения (структуря металла в зоне термического влияния при этом не выравнивается).

Знание характера структурных изменений, происходящих в сварном шве и околосшовной зоне, позволяет оценивать состояние сварного соединения и назначать технологические процессы, повышающие надежность конструкции. На возможное самозакаливание стали при наплавке влияют легирующие элементы, в первую очередь углерод, а также толщина (диаметр) свариваемой или наплавляемой детали.

При сварке низкоуглеродистых сталей, содержащих более 0,005 % O<sub>2</sub>, 0,005 % N<sub>2</sub> и не содержащих H<sub>2</sub>, в температурном интервале 200...400 °C на поверхности металла появляются синие цвета побежалости (участок синеломкости б на рис. 1.3). При этом наблюдается резкое падение ударной вязкости. Оно, вероятно, вызывается старением металла, когда из перенасыщенного твердого раствора выпадают избыточные составляющие (азот, углерод), скапливающиеся в виде тонкодисперсных нитридов и карбидов вокруг дефектных участков кристаллической решетки, тем самым повышая прочность и понижая пластичность стали. Средние размеры отдельных участков зоны термического влияния зависят от способа сварки (табл. 1.1).

Характер зоны термического влияния зависит не только от способа сварки, но и от химического состава основного металла. Для чугуна, например, он зависит от концентрации углерода и кремния, оказывающих влияние на графитизацию, следовательно, препятствующих отбелению чугуна. На рис. 1.4 приведены диаграмма состояния Fe - C - Si и связанные с ней различные структуры в зоне термического влияния.

Таблица 1.1. Средние размеры участков зоны термического влияния при различных способах сварки

Способ сварки	Средний размер участка, мм			Общая протяженность участков, мм
	перегрева	нормализации	неполной перекристаллизации	
Дуговая электродами: тонкопокрытыми толстопокрытыми	1,2 2,2	0,6 1,6	0,7 2,2	2,7 6,0
Под флюсом	0,8...1,2	0,8...1,7	0,7...0,8	2,5...3,7
В среде углекислого газа	0,7...1,0	0,6...1,5	0,5...0,7	1,8...3,2
Газовая	21	4	2	27

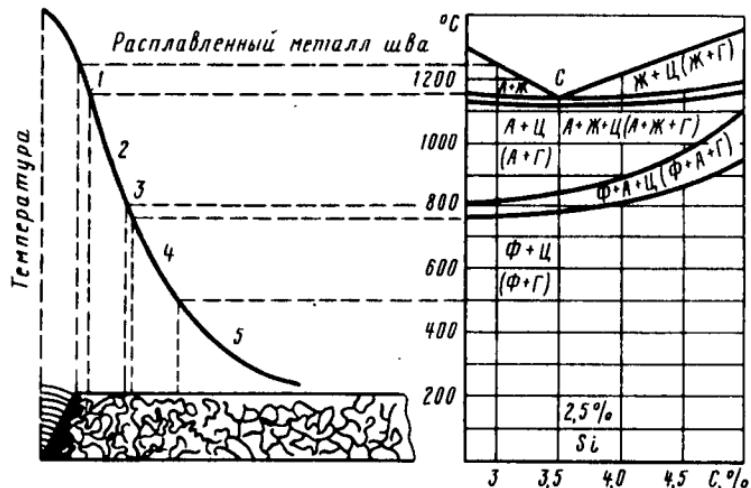


Рис. 1.4. Структурные изменения при сварке чугуна

При сварке чугуна, как и при сварке стали, шов формируется полностью расплавившимся металлом, который в зависимости от скорости охлаждения может иметь структуру белого или серого чугуна. Участок неполного расплавления 1 имеет одновременно жидкую и твердую фазы. При быстром охлаждении жидкая фаза образует белый чугун, а твердая, представляющая собой аустенит ( $A$ ), — мартенсит. На участке 2, ограниченном эвтектической и эвтектоидной температурами, в зависимости от исходной структуры и скорости охлаждения чугун может иметь структуру аустенита и цементита ( $C$ ) или аустенита и графита ( $G$ ). Участок неполной перекристаллизации 3 характеризуется быстрым нагревом и кратковременным пребыванием металла в этом интервале температур, поэтому феррит ( $F$ ), являющийся основой чугуна при комнатной температуре, не успевает полностью раствориться. После охлаждения здесь происходит некоторое измельчение зерна. Возможна частичная закалка этой зоны, если охлаждение осуществляется быстро. На участке 4 металл нагревается от  $500^{\circ}\text{C}$  до верхней критической точки  $A_c$ . При длительном пребывании металла в этом интервале температур может происходить графитизация чугуна вследствие частичного распада цементита и сфероидизации карбидов. В условиях сварки в этой зоне заметных структурных изменений не наблюдается. При температурах ниже  $500^{\circ}\text{C}$  (участок 5) свариваемый чугун сохраняет исходную структуру. Остальные обозначения на графике:  $\text{Ж}$  — железо,  $\text{С}$  — углерод.

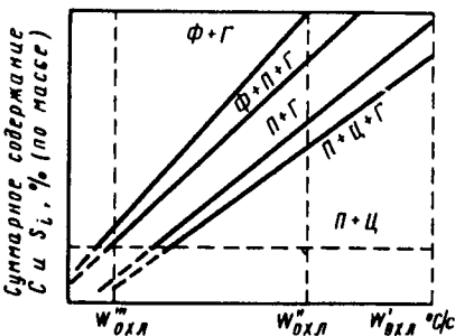


Рис. 1.5. Влияние скорости охлаждения на структуру металла шва и околосшовной зоны

На рис. 1.5 показано влияние скорости охлаждения чугуна после сварки на структуру металла шва и околосшовной зоны. При определенном составе чугуна зона и сам шов могут не иметь отбеливания при низких скоростях охлаждения. На практике для этого необходим предварительный подогрев чугуна до 300...400 °С. Тогда достигается скорость охлаждения  $w'$ . При подогреве до 600...650 °С скорость охлаждения снижается до  $w''$  ( $w'$  — скорость охлаждения без подогрева). Таким образом, сварка чугуна требует специальной технологии, предусматривающей регулирование скорости охлаждения и применение различных присадочных материалов, влияющих на металл шва.

Структура околосшовной зоны паянных соединений имеет свои особенности. При низкотемпературной пайке основной металл практически не претерпевает структурных изменений. Высокотемпературная пайка осуществляется без перегрева металла. Другие участки зоны термического влияния могут иметь место так же, как при сварке. Улучшить структуру зоны термического влияния можно дополнительной термической обработкой или совмещением ее с пайкой, что нередко и делается. При пайке деталей в печах обеспечивается однородность структуры основного металла.

## 1.4. Деформация деталей при сварке

Деформация детали при сварке происходит вследствие образования внутренних напряжений. Причинами напряжений являются местный нагрев детали, фазовые превращения, происходящие в металле при нагревании, и усадка наплавленного металла. В результате нагрева происходит значительное местное расширение металла, в то время как объем холодной детали остается неизменным. Это приводит к образованию внутренних напряжений. Фазовые превращения, происходящие в сварном шве вследствие высокой температуры, также могут сопровождаться изменением объема металла. Так, в сталях переход  $\alpha$ -раствора в  $\gamma$ -раствор вызывает увеличение объема примерно на 1 %. Поскольку это изменение происходит на небольшом участке детали, оно также ведет к образованию внутренних напряжений. Усадка металла происходит вследствие уменьшения объема жидкого присадочного металла при затвердевании. Так как сварка сопровождается плавлением кромок основного металла, то при его затвердевании происходит усадка, также служащая причиной внутренних напряжений.

Деформации можно уменьшить путем уравновешивания образовавшихся напряжений. Для этого места соединения элементов детали разбивают на участки, сварка которых ведется в последовательности, обеспечивающей образование напряжений, равных по значению и противоположных по направлению. Например, при сварке двутавровой балки из трех элементов можно применять очередность сварки, показанную на рис. 1.6.

В известной мере внутренние напряжения зависят от поперечной конфигурации шва. При прочих равных условиях X-образная разделка кромок (благодаря симметричному расположению шва относительно нейтральной оси) обеспечивает меньшую деформацию, чем V-образная. Деформацию уменьшает и двусторонняя сварка. Целесообразно также уменьшение сечения шва путем применения присадочного материала, обеспечивающего высокое качество сварного соединения, и выбора оптимального режима сварки в части погонной энергии сварки.

Значительное уменьшение деформации достигается способом обратноступенчатой сварки. При этом способе весь сварочный шов делят на равные части, которые сваривают в последовательности, показанной на рис. 1.7. Деформация детали получается существенно меньшей, так как значительные деформации коротких швов не в состоянии вызвать заметной деформации всей детали.

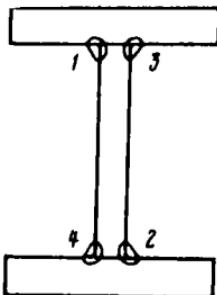
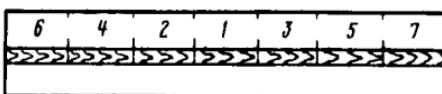


Рис. 1.6. Уменьшение деформации изделия изменением очередности отдельных участков

Рис. 1.7. Разбивка свариваемого изделия для обратноступенчатой сварки



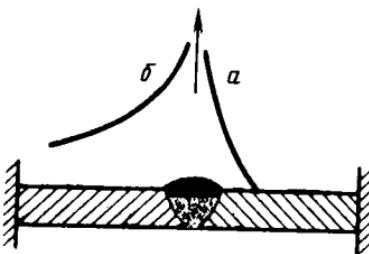
Уменьшить коробление свариваемых деталей можно также способом "обратных деформаций". Он заключается в том, что свариваемые элементы детали предварительно подгибают в сторону, обратную сварочным деформациям. В процессе сварки они принимают требуемую или близкую к требуемой форму. Широко применяется также способ жесткого закрепления свариваемых элементов детали при помощи специального приспособления или путем прихватки, т. е. предварительной сварки кромок в нескольких точках. Полноту избежать деформаций при сварке не удастся, но можно уменьшить их до приемлемых значений.

Одной из эффективных мер, снижающих деформацию сварных соединений, является правильный выбор способа сварки. Способ сварки определяет степень концентрации теплоты, которая влияет на сужение зоны, подвергающейся пластическим деформациям. При электродуговой сварке нагрев имеет характер более сосредоточенный, чем при газовой сварке, поэтому в первом случае коробление сварной детали заметно ниже, чем во втором. При сварке в углекислом газе или под слоем флюса сварной шов деформируется меньше, чем при ручной сварке электродом с покрытием при практически одинаковой погонной энергии, так как сварка под флюсом или в углекислом газе обеспечивает большую скорость перемещения дуги и соответственно меньшие внутренние напряжения.

Снижает деформации предварительный или сопутствующий нагрев, поскольку при этом уменьшается перепад температур между участками свариваемой детали, в результате чего снижаются напряжения. При предварительном нагреве до температуры 200 °C снижение остаточных напряжений по отношению к сварке без подогрева может составить до 30 %. Более высокий нагрев дает еще больший эффект. Благоприятные результаты получаются и при сопутствующем нагреве. При сварке небольших деталей можно проводить как сопутствующий, так и общий нагрев. При сопутствующем нагреве подогревают участки шириной 40...50 мм по обе стороны шва, так как подогрев только свариваемых кромок не дает заметного эффекта. При сварке с предварительным или сопутствующим нагревом последующего отпуска деталей в большинстве случаев не требуется. Снятие сварочных напряжений может быть достигнуто, если в шве и околосшовной зоне создать дополнительные пластические деформации проковкой в процессе остывания при температурах 450 °C и выше или 150 °C и ниже. В интервале температур 200...400 °C металл имеет пониженную пластичность, поэтому при проковке участка сварного соединения в этом температурном диапазоне возможно образование надрывов. Проковку можно осуществить вручную молотком с закругленным бойком или, применяя небольшие усилия, пневматическим молотком. Проковку участка сварного соединения также повышает выносливость конструкции.

Полное снятие сварочных напряжений осуществляется термической обработкой, в частности высоким отпуском в режиме 2...3 мин на 1 мм толщины металла при температуре 630...650 °C. Чтобы предотвратить возникновение напряжений снова, охлаждение должно быть медленным. Режим охлаждения зависит, в основном, от химического состава свариваемого металла. Обычно деталь охлаждают до 300 °C с

Рис. 1.8. Характер распределения температуры при сварке стыкового соединения



печью, а затем — на спокойном воздухе. Термическая обработка в печах возможна только для небольших сварных деталей. В условиях ремонта деталей автомобиля сваркой термообработка практически не применяется. Исключение составляет термическая обработка (закалка с отпуском или высокотемпературный отпуск) коленчатых валов, восстановленных наплавкой (см. гл. 6).

Деформацию сварного участка можно снизить также охлаждением шва в процессе сварки. Зона термического влияния в этом случае становится значительно меньше. На рис. 1.8 приведен характер распределения температур при сварке: *a* — с охлаждением, *b* — без охлаждения. Отвод тепла со свариваемого участка можно осуществить подкладыванием медной пластинки с обратной стороны шва, прокладыванием вдоль шва асбеста, смоченного водой, и т. д.

Одним из способов снижения деформации является термическая правка участка сварного соединения нагревом газокислородным пламенем либо электрической дугой вольфрамовым электродом до температуры 750...800 °С. Нагретый участок в этом случае стремится расширяться, чему препятствует окружающий его холодный металл, в результате чего возникают внутренние напряжения сжатия. После охлаждения линейные размеры нагретого участка уменьшаются, что приводит к уменьшению деформации.

В тех случаях, когда приведенные выше и некоторые другие способы предотвращения деформации недостаточны, применяют механическую правку сварных или наплавленных деталей. Детали из стали толщиной менее 3 мм правят ударами молотка. Более толстые детали правят под прессом. В частности, под прессом правят коленчатые валы, восстановленные наплавкой. Механическую правку следует применять ограниченно, так как она создает местный наклеп, повышающий предел текучести металла, что резко снижает его пластические свойства. При правке под прессом возможно образование трещин в восстановленной детали.

## 1.5. Механические свойства сварных и паянных соединений

**Сварные соединения.** Прочностные свойства сварных соединений определяют испытаниями при регламентированных температурах. Для локальных зон сварного соединения проводят испытания с изменением микротвердости соответствующих участков. Применяют также специальные методы испытания. Определяют прочностные свойства шва, зоны термического влияния, сварного соединения в целом и, для сравнения, основного металла. Механические свойства сварного шва или наплавленного металла при сварке углеродистых сталей электродами общего назначения приведены в табл. 1.2.

При сварке под флюсом и в среде защитных газов низкоуглеродистых и низколегированных сталей обеспечиваются практически равные прочность и пластичность металла шва и основного металла (табл. 1.3).

Существенное влияние оказывает на механические свойства шва содержание углерода в присадочном и основном металлах (табл. 1.4).

Таблица 1.2. Механические свойства шва или наплавленного металла при сварке углеродистых сталей электродами общего назначения

Тип электрода	Предел прочности при растяжении $\sigma_b$ , МПа	Относительное удлинение $\delta$ , %	Ударная вязкость $a_{H}$ , МДж/м <sup>2</sup>	Тип электрода	Предел прочности при растяжении $\sigma_b$ , МПа	Относительное удлинение $\delta$ , %	Ударная вязкость $a_{H}$ , МДж/м <sup>2</sup>
Э38	380	14	0,3	Э50А	500	20	1,3
Э42	420	18	0,8	Э55	550	20	1,2
Э46	460	18	0,8	Э60	600	18	1,0
Э50	500	16	0,7	Э70	700	14	0,6
Э42А	420	22	1,5	Э85	850	12	0,5
Э46А	460	22	1,4	Э100	1000	10	0,5

На рис. 1.9 приведены графики влияния содержания углерода на прочность (треугольники) и пластичность (кружки) основного металла (сплошные линии) и сварного шва (штриховые линии). Светлые треугольники и кружки относятся к основному металлу, темные — к металлу шва.

Различные химические элементы из основного металла и присадочной проволоки, формирующие состав металла сварного шва, оказывают существенное влияние на его прочностные свойства (табл. 1.5). Содержание серы и фосфора в углеродистых сталях ограничивается 0,05 %, так как эти элементы резко ухудшают механические свойства металла шва. Положительно на них влияют марганец и другие легирующие элементы, изменяя структуру металла.

Таблица 1.3. Механические свойства основного металла и металла шва при сварке низкоуглеродистых и низколегированных сталей под флюсом и в среде защитного газа

Металл	Предел текучести $\sigma_t$ , МПа	Предел прочности при растяжении $\sigma_b$ , МПа	Относительное удлинение $\delta$ , %	Относительное сужение $\psi$ , %
Ст3 в состоянии поставки	293	45,5	36,7	65,9
Наплавленный металл из стали Ст3 под керамическим флюсом	324	47,0	22,1	62,1
Сталь 15ХСНД в состоянии поставки (без термической обработки)	350	50	21	—
Металл шва после автоматической сварки в среде CO <sub>2</sub>	460	65,0	22,2	—

Рис. 1.9. Влияние содержания углерода на прочность



Таблица 1.4. Зависимость механических свойств металла шва от содержания углерода в свариваемой стали и материала присадочной проволоки

Содержание С в свариваемой стали, %	Марка проволоки	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	$a_H$ , МДж/м <sup>2</sup>
До 0,14	Св-08	380	22	24	55	1,4
	Св-10Г2	420	26	26	55	1,4
0,15...0,20	Св-08	400	23	24	55	1,2
	Св-10Г2	440	27	22	50	1,2
0,21...0,26	Св-0,8	420	55	23	23	0,8
	Св-10Г2	480	30	22	50	1,0
0,27...0,32	Св-10Г2	540	33	20	45	0,7
	Св-10Г2	570	34	18	40	0,6

Таблица 1.5. Влияние легирующих элементов на механические свойства металла шва

Содержание легирующих элементов, % (по массе)					$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %	Содержание легирующих элементов, % (по массе)					$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %
C	Si	Mn	Cr	Mo			C	Si	Mn	Cr	Mo		
0,08	0,5	0,5	—	—	48	35	0,08	0,5	1,5	—	0,5	70	25
0,08	0,5	1,5	—	—	55	30	0,12	0,5	0,8	1,0	0,5	80	15
0,08	0,5	0,7	—	0,6	60	25	0,15	0,5	0,8	1,0	0,2	90	12

**таблица 1.6. механические свойства сварных швов, выполненных ручной дуговой сваркой**

Марка электрода	Тип электрода	$\sigma_{B}$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	$a_H$ , МДж/м <sup>2</sup>
СМ-5	Э42-Р	460	25	60	1,2
ЦМ-7	Э42-Р	480	22	55	1,0
ВСП-1	Э42-О	470	25	68	1,3
УОНИ-13/45	Э42-А	460	26	65	2,2
ОЗС-2	Э42А-Ф	460	24	55	1,8
ИР-3	Э46-Т	480	25	55	1,5
ОЗС-4	Э46-Т	480	23	55	0,8
УОНИ-13/55	Э46	520	24	62	2,0
УОНИ-13/55	Э46	930	14	55	0,9

Прочностные свойства сварного шва зависят также от покрытия электрода или применяемого флюса (табл. 1.6).

Механические свойства металла швов, выполненных порошковыми проволоками, приведены в табл. 1.7.

На уровне свойств сварных швов, выполненных вручную, находятся механические свойства металла швов при сварке малоуглеродистых сталей под флюсом АИ-348А полуавтоматической сваркой (табл. 1.8).

Несколько повышенную прочность при некотором снижении пластичности дает сварка в углекислом газе малоуглеродистых сталей с использованием присадочных проволок Св-208ГС и Св-08Г2С (табл. 1.9).

Более высокую пластичность металла шва можно получить, если сварку в углекислом газе производить с использованием порошковой проволоки (табл. 1.10).

В авторемонтном производстве нередко восстанавливаются сваркой чугунные детали с использованием различных электродов. Одним из них является электрод

**Таблица 1.7. Механические свойства металла швов, выполненных порошковыми проволоками**

Марка проволоки	$\sigma_B$ МПа	$\delta$ , %	$a_H$ , МДж/м <sup>2</sup>
ПП-АН1	500...560	18...24	0,8...1,2
ПП-АНЭ	500...560	24...30	1,4...1,8
ПП-АН7	500...550	21...26	1,3...1,7
ПП-АН11	520...560	23...28	1,4...1,8
ЭПС-15/2	520...580	22...26	1,4...1,8
ПП-2ДСК	480...520	22...30	1,4...1,7
ПП-1ДСК	536	26	1,63

**Таблица 1.8. Механические свойства основного металла и металла сварных швов, полученных под флюсом АН-348А**

Металл	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_t$ , МПа	$\delta$ , %	$a_b$ , МДж/м <sup>2</sup>
Основной (сталь Ст3)	380...390	Не менее 250	Не менее 26	Не менее 0,7
Металл шва	440...500	250...350	25...30	0,8...1,4

ЦЧ-1. В табл. 1.11 приводятся механические свойства сварных швов, выполненных этим электродом.

Параметры режима сварки влияют на механические свойства сварных швов. Оптимальные прочность и пластичность можно получить, минимизируя напряжение дуги. Однако вести сварку при минимальном напряжении очень трудно, так как при колебаниях руки сварщика дуга может прерваться.

Качество сварных соединений в значительной степени определяется прочностными свойствами зоны термического влияния (ЗТВ). Разрушение часто происходит, как отмечалось ранее, именно в этой области вследствие понижения пластичности и повышения прочности в связи с подкалкой при быстром охлаждении. Особенno это характерно для низколегированных сталей. С увеличением скорости охлаждения детали после сварки значения  $\sigma_b$  и  $\sigma_t$  возрастают, а  $\delta$  и  $\psi$  падают. Такая закономерность типична для всех марок сталей. Механические свойства ЗТВ зависят от температуры ее нагрева при сварке. Значения  $\sigma$  и  $\psi$  практически не изменяются в рассматриваемом диапазоне температур. С уменьшением максимальной температуры нагрева ЗТВ  $\sigma_b$  металла несколько снижается, а  $\psi$  сначала несколько растет, а потом снижается. Максимальное повышение  $\delta$  отмечается на участке нормализации металла ЗТВ. Предварительные и сварочные пластические деформации также влияют на механические свойства металла ЗТВ. С увеличением продольных пластических деформаций  $\sigma_t$  ЗТВ возрастает больше, чем предел прочности.

Для выравнивания механических свойств ЗТВ производится термическая обработка участка сварного соединения. При этом происходит изменение свойств и металла шва (табл. 1.12).

Существенное влияние на прочностные свойства металла шва и околошовной зоны оказывает способ сварки. Так, сравнение сварки под флюсом и в защитных газах с использованием плавящегося металлического электрода показывает, что большей прочностью обладают швы, полученные сваркой в среде инертного газа вслед-

**Таблица 1.9. Механические свойства металла швов, выполненных сваркой в углекислом газе (минимальные значения)**

Марка проволоки	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_t$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	$a_b$ , МДж/м <sup>2</sup>
Св-08ГС	500	300	22	50	0,45
Св-08Г2С	540	400	48	18	0,4

Таблица 1.10. Характеристика порошковых проволок для сварки в углекислом газе

Марка проволоки	Сердечник	Диаметр, мм	$\sigma_{B}$ , МПа	$\delta$ , %	$a_H$ , МДж/м <sup>2</sup>
ПП-АН8	Рутиловый	2; 2,2; 2,5	520...560	25...30	1,4...2,0
ПП-АН10	*	2; 2,3	520...560	25...30	1,4...2,0
ПП-АН4	Рутилфлюоритный	2; 2,2; 2,5	500...550	27...30	1,6...2,5
ПП-АН9	То же	2; 2,2; 2,5	500...550	27...30	1,6...2,5

ствие более эффективного перехода марганца в шов, соответственно большего измельчения структуры, а также уменьшения вносимого тепла. Из факторов, влияющих на прочностные показатели сварных соединений, одними из основных являются дефекты шва (рис. 1.10). Несплавления, шлаковые включения, пористость, непровары, горячие и холодные трещины и другие дефекты приводят к значительному ухудшению механических свойств деталей, восстановленных сваркой (см. гл. 4).

Механические свойства сварного шва можно определить расчетным путем [1] с точностью до 10...15 %. При этом считается, что шов не имеет дефектов, снижающих его качество.

У низколегированных сталей механические свойства шва зависят от концентрации легирующих компонентов (рис. 1.11).

Таблица 1.11. Механические свойства сварных швов, выполненных электродом ЦЧ-4 (основной металл — чугун)

Основной металл	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\delta$ , %
Высокопрочный чугун ВЧ-40-5 (3,2 % С; 2,5 % Si; 0,008 % S; 0,0039 % P)*	41,3	30,7	9,0
Модифицированный чугун СЧ-32-52 (2,6 % С; 2,0 % Si; 1,0 % Mn; 0,008 % Si; 0,09 % P)	32,9	—	4,8
Серый чугун СЧ-21-40 (2,7 % С; 2,5 % Si; 0,9 % Mn; 0,13 % S; 0,09 % P)	22,5	—	2
Модифицированный чугун СЧ-28-48 (2,8 % С; 1,9 % Si; 0,10 % S; 0,13 % P)	28,5	—	—
Серый чугун СЧ-15-32 (3,2 % С; 2,5 % Si; 0,7 % Mn; 0,13 % S; 0,10 % P)	18,0	—	—
Ковкий чугун КЧ-38-8 (2,2 % С; 1,5 % Si; 1,3 % Mn; 0,11 % S; 0,13 % P)	33,6	27,3	7,0

\* Состав в % по массе.

Таблица 1.12. Влияние термической обработки на механические свойства сварного шва

Термическая обработка	$\sigma_t$ , МПа	$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	$a_{h_0}$ КДж/м <sup>2</sup>
Сварка	314	463	25,5	62,2	1,05
Отпуск при 660 °C	257	433	33,1	69,9	1,25
Нормализация	240	382	35,1	72,1	1,57
Отжиг	230	396	35,3	75,5	1,39
Закалка	349	544	24,4	53	0,8

**Паяные соединения.** Прочность паяных соединений определяется свойствами основного металла и припоя, флюса или газовой среды, а также режимом пайки. Существенное значение при этом имеет вид соединения.

Прочность стыковых соединений зависит от зазора между паяемыми кромками и толщины паяемых материалов. Оптимальный зазор составляет около 0,1 мм. Прочность соединений, паянных внахлестку, зависит от длины шва, размера нахлестки и зазора между паяемыми деталями. Оптимальный зазор здесь также равен 0,1 мм. На прочность соединений, паянных внахлестку, оказывает влияние состояние соединяемых поверхностей. Шероховатость поверхности и насечка, нанесенная на нее, способствуют повышению механических свойств паянных соединений.

Для ремонта деталей автомобилей применяются в основном низкотемпературные оловянно-свинцовые и высокотемпературные медно-цинковые припой и в редких случаях припой ПСр, содержащие незначительное количество серебра. В табл. 1.13...1.15 приведены физико-механические свойства ряда припоев и паянных соединений различных металлов. Для стыковых соединений главным показателем является предел прочности при растяжении, а для соединений, паянных внахлестку, — предел прочности при срезе.

Пластические свойства паянных внахлестку соединений можно определить, используя опытные образцы. Образец устанавливается на двух опорах, а в середине, к паяному участку, прикладывается сосредоточенная нагрузка. Угол загиба, при котором появляется трещина в паяном шве, характеризует пластичность шва. При этом свойства шва во многом зависят от качества пайки — непроницаемо снижают пластичность и прочность шва.

Прочность соединений, паянных встык, определяется растяжением опытных образцов до разрушения. Разрушающее напряжение при этом определяется разрушающей силой  $P$  и площадью поперечного сечения  $F$  испытуемого образца:  $\sigma_p = P/F$ . Для испытания может быть принят образец, обычно используемый при оценке сварных соединений. Поскольку прочность припоя, как правило,

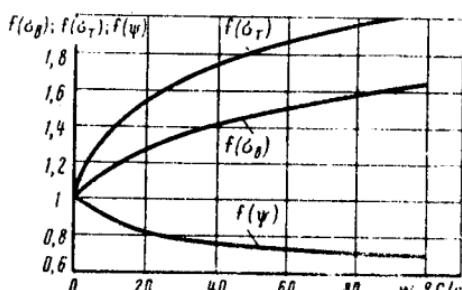


Рис. 1.10. Изменение относительных характеристик механических свойств металла шва в зависимости от скорости его охлаждения

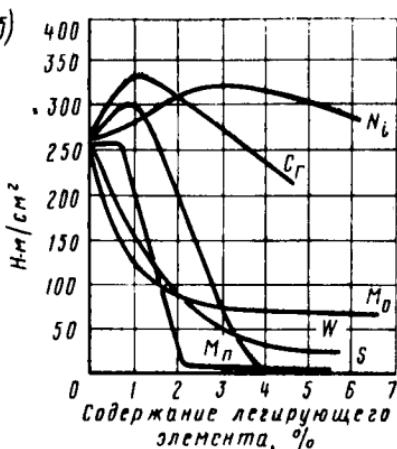
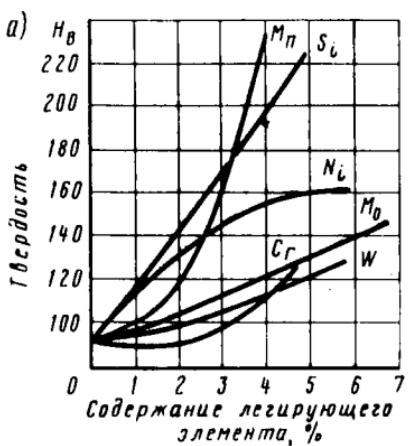


Рис. 1.11. Влияние легирующих элементов на свойства стали

значительно ниже прочности основного металла, стыковая пайка для конструкций, работающих при больших нагрузках, не применяется. Равнопрочность конструкции обеспечивается, если пайку осуществить внахлестку. Обычно для этого достаточно предусмотреть нахлестку, превышающую толщину детали в 2,5 раза. Паяный шов в этом случае работает на срез. Разрушающее напряжение среза  $\tau_{cp} = \frac{P}{2,5ab}$ , где  $a$  – ширина образца,  $b$  – толщина образца.

Таблица 1.13. Механические свойства медно-цинковых припоев

Марка припоя	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %	Твердость по Бринеллю, НВ	Температура плавления, °C
ПМЦ-36	393	1	—	825
ПМЦ-48	213	3	120	865
ПМЦ-54	343	20	123	880
Л-63	322	35,5	56	905
Л-68	275	48	56	940
ЛОК-62-06-04	343	—	—	905

Таблица 1.14. Механические свойства оловянно-свинцовых припоев при комнатной температуре

Марка припоя	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %	НВ	Температура плавления, °C
ПОС-40	37,2	52	12,5	238
ПОС-10	31,7	44	12,5	299
ПОС-61М	40	40	14,9	192
ПОССу-30-0,5	35,2	58	13,2	255
ПОССу-18-0,5	36,2	53	—	277

Таблица 1.15. Пределы прочности соединений при срезе  
 $\tau_{\text{ср}}$  или растяжении  $\sigma_b$

Паяные металлы	Припой	$\tau_{\text{ср}}$ , МПа	$\sigma_b$ , МПа
Л-63 + Л-63	ПОС-40	23,4	—
Сталь 20 + сталь 20	ПОС-40	21,3	—
Л-63 + Л-63	ПОС-30-0,5	31,7	—
М-3 + М-3	ПСр-25	270	—
30ХГСА + 30ХГСА	ПСр-25	350...430	—
Сч 18-30 + Сч 16-38	Л-63	—	360
Сч 16-38 + сталь 30	Л-63	—	360
КЧ 35-10 + КЧ 35-10	Л-63	—	600
КЧ 35-10 + сталь 30	Л-63	—	600

При определении допустимых напряжений в трубчатых телескопических паяных соединениях испытания производятся на растяжение. Паяный шов при этом работает на срез. Разрушающее напряжение среза  $\tau_{\text{ср}} = P/F_{\text{ср}}$ , где  $F_{\text{ср}}$  — площадь шва в телескопическом соединении. Нахлестка при этом также должна быть не менее  $2,5b$ , где  $b$  — толщина стенки трубы.

## 1.6. Износостойкость поверхностей деталей, восстановленных наплавкой или пайкой

Исследованиями установлено, что изношенный наплавленный слой восстановленной детали не имеет изменения структуры. На поверхности шва развиваются усталостные процессы, связанные с неоднородностью самой структуры наплавленного материала, наличием шлаковых и водородных включений и хрупких составляющих материала. В результате появляются микротрешины, рост которых приводит к выкрашиванию поверхности наплавленного слоя, характер которого практически одинаков для большинства наплавленных материалов. Трешины развиваются в глубь материала по направлениям, близким к нормали к поверхности изнашивания, иногда — под острым углом к поверхности. В последнем случае размеры блоков выкрашивания минимальны. Края трещин постепенно выкрашиваются, что приводит к катастрофически быстрому развитию вторичных трещин. Процесс разрушения поверхности сопровождается абразивным изнашиванием, сквачиванием и пластической деформацией поверхностного слоя. Абразивному изнашиванию способствуют отделяющиеся частицы наплавленного материала. В общем случае модель изнашивания наплавленного слоя при трении имеет три стадии: первая — образование микротрещин, вторая — дальнейшее развитие микротрещин и третья — катастрофическое изнашивание. Вторая стадия самая продолжительная и характеризует износостойкость наплавленного материала. Третья стадия с образованием грубого рельефа и заметного изменения размеров детали приводит ее в неисправное состояние.

Высокая износостойкость является важным требованием к многим деталям автомобиля, подвергающимся трению. Интенсивному износу в процессе эксплуатации подвергаются коленчатые и кулачковые валы, элементы блоков цилиндров, гильзы цилиндров, поршни и поршневые пальцы, другие детали, которые восстанавливают-

ся наплавкой, пайкой (напайкой) и другими технологическими способами. Коленчатый вал при работе двигателя подвергается периодически действующим нагрузкам от давления газов и инерционных сил, движущихся возвратно-поступательно, и вращающихся частей. Особенности кинематики кривошипно-шатунного механизма приводят к искажению геометрических форм и различию износов шатунных и коренных шеек: износ шатунных больше износа коренных на 30...40 %. Шатунные шейки изнашиваются больше со стороны, обращенной к оси коленчатого вала, так как они в основном находятся под действием инерционных сил. Инерционные нагрузки меньше максимальных нагрузок от давления газов. Тем не менее последние вызывают меньший износ, поскольку их действия являются кратковременными. Неравномерность нагрузок в каждом цикле и их периодическая повторяемость приводят к искажению геометрической формы шатунных шеек, причем в большей степени по сравнению с коренными шейками. Максимальные износы за пробег 190 тыс. км составляют: шатунных шеек — 0,11 мм, коренных — 0,08 мм. Овальность при этом не превышает 0,015 мм [35].

На кулачковых валах в процессе эксплуатации может возникнуть в основном нормальный износ рабочей поверхности. Максимально изнашиваются кулачки на вершине и срезающей части профиля, меньший износ наблюдается на сбегающей части, цилиндрическая часть изнашивается незначительно [25]. Изменение геометрической формы кулачка вследствие изнашивания оказывает ощутимое влияние на показатели двигателя. При износе кулачков по высоте более 0,7 мм резко падает его мощность и увеличивается расход топлива. Существуют различные способы ремонта кулачковых валов, в том числе и наплавка.

Наплавка применяется при восстановлении и других деталей автомобиля. Она наиболее эффективна при ремонте коленчатых валов с применением различных ее разновидностей. Износстойкость наплавленного металла при этом зависит от химического состава электродной проволоки, флюсов или защитных газов, режимов наплавки, характерных особенностей каждого из способов наплавки в отдельности и последующей термической обработки. На рис. 1.12 графически показана относительная износстойкость покрытий, полученных наплавкой в углекислом газе, в условиях граничного трения скольжения при удельном давлении 5 МПа. Цифры соответствуют наплавке: проволокой Св-08Г2С (1), проволокой Нп-30ХГСА (2), проволокой Нп-30ХГСА, закаленной токами высокой частоты (3), проволокой 2Х13 (4). Для сравнения дается кривая 5 — износстойкость стали 45, закаленной т. в. ч. Из приведенных кривых следует, что высокую износстойкость имеет металл, наплавленный проволокой Нп-2Х13, и незначительную — проволокой Св-08Г2С. Покрытие, наплавленное проволокой Нп-30ХГСА, даже закаленной, занимает промежу-

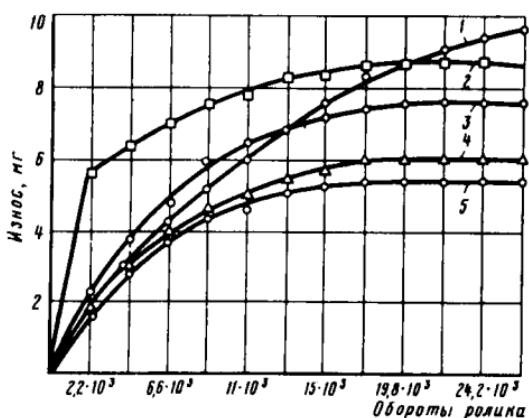


Рис. 1.12. Износ покрытий в зависимости от пути трения

Таблица 1.16. Данные по шейкам коленчатых валов двигателей ЗИЛ-130, восстановленных разными способами наплавки

Материал наплавочной проволоки и термическая обработка	Твердость шеек, HRC <sub>Э</sub>	Микроструктура	Средний износ на 1000 км пробега, мкм
Проволока Нп-80 под флюсом АН-348А, закалка т. в. ч.	52...60	Мартенсит	2,03
Проволока Нп-80 под легированным флюсом АН-348А (2 % феррохрома, 2,5 % графита)	56...59	"	2,21
Пружинная проволока второго класса под флюсом АН-348А с добавлением 4 % графита	45...62	Тростомартенсит	2,43
Порошковая проволока ПП-3Х13*	50...55	Псевдомартенсит Мартенсит	4,45
Проволока Нп-30ХГСА под флюсом АН-348А, закалка т. в. ч.	58...62	"	2,15
Проволока Нп-40Х2Г2М под флюсом АН-348А, закалка т. в. ч.	62...64	"	2,05
Проволока Нп-30ХГСА под флюсом АН-348А, нормализация	54...62	Тростомартенсит	2,40

\* ГОСТ 9389-75. Проволока соответствует проволоке Нп-80 или Нп-65Г.

точное положение. Причина различной износстойкости наплавленных металлов состоит в их структурных особенностях, связанных с примененными материалами.

Для ремонта коленчатых валов широко применяется наплавка под слоем флюса. Процесс этот отработан достаточно хорошо и позволяет автоматизировать технологию наплавки. Оборудование и расходные материалы доступны и осуществление ремонта не вызывает затруднений. В табл. 1.16 приводятся данные, характеризующие износстойкость шеек коленчатых валов, наплавленных различными способами.

Ориентировочным критерием износстойкости может служить HRC<sub>Э</sub>. Для шеек нового коленчатого вала, изготовленного из стали 45 и закаленного т. в. ч., HRC<sub>Э</sub> составляет 56...62, структура — мартенсит, средний износ на 1000 км пробега 2,33 мкм. Как видно из табл. 1.16, различные способы наплавки могут обеспечить износстойкость шеек на уровне новых валов, закаленных т.в.ч.

Обеспечивает необходимую износстойкость кулачковых валов наплавка с использованием электроимпульсного нагрева или углекислого газа. Наплавкой в углекислом газе целесообразно восстанавливать менее нагруженные автомобильные детали. При ремонте изношенных резьбовых соединений можно применять проволоку Св-08Г2С, шлицев — Нп-30ХГСА, крестовин кардана, дифференциала и других подобных деталей по диаметральному сечению и поверхности твердости — Нп-2Х13, Нп-2Х14. Микроструктура металла, наплавленного проволокой Св-08Г2С, в основном состоит из пластинчатого перлита с твердостью НВ 220...240. Металл, наплавленный проволокой Нп-30ХГСА, по структуре представляет собой троостосорбит (твердость НВ 310...330), а после закалки т. в. ч. — троостит (твердость НВ 420...460). Микроструктура металла, наплавленного проволокой Нп-2Х13, — троостомартенсит, твердость HRC<sub>Э</sub> 50...52.

Восстановить изношенные поверхности деталей автомобиля можно также вибродуговой наплавкой. Проволокой ОВС в атмосфере воздуха наплавляются резьбы и шлицы. При наплавке крестовин карданных валов и дифференциалов, фланцев

карданных валов, изготовленных из сталей 45, 30Х, 40Х после термической обработки в жидкости износостойкость восстановленных поверхностей составляет не менее 90 % износостойкости новых деталей.

## 1.7. Коррозия сварных и паяных соединений

Интенсивность коррозии металлических, в том числе сварных и паяных конструкций, зависит от свойств материала, внешней среды и напряженного состояния изделий. Механизм коррозии сварных и паяных соединений не отличается от механизма коррозии основного металла. Однако этот механизм проявляется с учетом специфики сварных и паяных конструкций, для которых характерны структурно-химическая макро- и микронеоднородность, неоднородность напряженного состояния от внешней нагрузки и пластической деформации вследствие местного нагрева. Сварные соединения более склонны к коррозионным повреждениям по сравнению с основным металлом. Это связано со структурными изменениями металла, неоднородностью структуры и свойств, наличием остаточных деформаций, вызывающих внутренние напряжения.

Повышение сопротивляемости сварных и паяных соединений коррозионному разрушению основано на использовании общих и специальных методов. Общие методы предусматривают применение для сварных и паяных конструкций материалов с повышенной коррозионной стойкостью, уменьшение напряженного состояния при эксплуатации изделия, применение различных защитных покрытий, ингибиторов коррозии, добавляемых в активную среду. К специальным методам относятся регулирование режимов сварки для получения благоприятных структур в зоне термического влияния, уменьшение концентрации напряжения, снятие остаточных сварочных напряжений, применение присадочных материалов, делающих сварной шов более коррозиестойким, и очистка поверхности шва от окалины, образующейся при сварке. Уменьшение кремния и марганца в металле шва может способствовать повышению его коррозионной стойкости. Для конструкций, эксплуатирующихся в условиях приморской атмосферы, целесообразно вводить в шов до 0,55 % никеля [8]. Для предотвращения межкристаллитной коррозии в хромоникелевых сталях в присадочную проволоку вводят ниобий или титан.

В автомобильной технике используется немало элементов, изготовленных из алюминиевых сплавов — блоки, головки цилиндров, детали системы охлаждения двигателя и др. Для восстановления этих деталей можно использовать пайку. Детали системы охлаждения подвержены коррозии, сочетающейся кавитацией. Кроме того, на них действует вибрация, интенсифицирующая эти процессы. Прямое химическое воздействие на детали оказывают воздух и охлаждающая жидкость. На поверхности алюминиевых сплавов образуется защитная окисная пленка, которую разрушают агрессивные ионы хлора и сульфатов. Возможна также коррозия алюминия вследствие замещения его более электроотрицательным элементом, например медью. Кавитационная эрозия, сочетающаяся с коррозией, является сложным явлением. Происходит механическое повреждение поверхности канала охлаждения в результате высоких перепадов давления, возникающих при "захлопывании" пузырьков пара в охлаждающей жидкости, сопровождаемое химическим и электрохимическим воздействием охлаждающей жидкости на эту поверхность. Высокочастотные вибрации способствуют развитию фреттинг-коррозии сопрягающихся деталей системы охлаждения, а также интенсификации кавитационных процессов.

Увеличение интенсивности перемешивания охлаждающей жидкости под действием вибрации облегчает процесс катодной деполяризации и тем самым способствует увеличению разности электрохимических потенциалов. Таким образом, электрохимическая коррозия также ускоряется. Факторами, повышающими скорость коррозии в системе охлаждения, являются гальванические пары, аэрация, утечка отработавших газов, продукты коррозии, местные перегревы поверхностей, охлаждаю-

шая жидкость низкого качества и неоптимизированные характеристики поля скоростей охлаждающей жидкости. Особенно сильно корродируют детали из алюминиевых сплавов. В результате возникают течи через уплотнения, сквозная язвенная коррозия, трещины. Локализованная анодная реакция приводит к образованию коррозионных язв, что может вызвать преждевременное повреждение тонких алюминиевых трубок.

В головках цилиндров наблюдается коррозионный износ краев отверстий охлаждающих каналов, выходящих на привалочную плоскость. Аналогичный износ наблюдается у таких деталей, как труба водяная, патрубок подводящей трубы, коробка водяная, патрубок водяной коробки, труба перепускная водяная терmostатов, труба подводящая правого блока и др. Коррозия головок цилиндров двигателей, например автомобилей КамАЗ, является их основным дефектом. Головка цилиндров работает в особенно неблагоприятных условиях по отношению к коррозии. Постоянный контакт с горячими газами при одновременном прохождении через каналы охлаждающей жидкости благоприятствует коррозионным процессам, протекающим в системе охлаждения. Это является причиной кавитационной коррозии в зонах интенсивного теплового потока, где образуется "пузырьковое кипение". Кавитационный износ охлаждающих каналов, а также краев отверстий охлаждающих каналов является следствием низких скоростей потока в каналах охлаждающей рубашки. Кавитация интенсифицирует эрозию краев отверстий охлаждающих каналов, что увеличивает их диаметр, нарушает герметичность прокладки головки цилиндров и вызывает утечку охлаждающей жидкости в камеру сгорания. Согласно экспериментальным данным кавитационная эрозия в комплексе с коррозией — массовый дефект головок цилиндров, поступающих в ремонт (31 % от общего количества). Одним из способов ремонта головок и устранения коррозионных дефектов алюминиевых деталей системы охлаждения является пайка по технологии, приведенной в гл. 12.

При работе головка цилиндра, восстановленная пайкой, контактирует с блоком цилиндров через проводящую охлаждающую жидкость и крепящие шпильки. Образуется многоэлектродная гальваническая система, состоящая из серого чугуна блока цилиндров, сплава АЛ4 головок цилиндров и напаянного на головки цилиндров припоя. Скорость гальванической коррозии зависит от электродвижущей силы возникающей макропары, электрохимических характеристик составляющих (поляризуемость анода и катода пары), сопротивление среды (внутреннее сопротивление пары), соотношения площадей анодных и катодных участков. Следует отметить, что площадь припоя, омываемого охлаждающей жидкостью, незначительна по сравнению с площадями поверхностей каналов системы охлаждения блока и головок цилиндров, имеющих один и тот же порядок. Учесть все эти факторы очень сложно. Однако определенную информацию по данным вопросам можно получить с помощью электрохимических исследований.

Электрохимические характеристики припоеv, сплава АЛ4 и серого чугуна СЧ 21-40 исследованы путем снятия поляризационных — анодных и катодных — кривых с помощью потенциометра П-5827М в чистой охлаждающей жидкости Тосол-A40, в той же охлаждающей жидкости, загрязненной продуктами износа, и 3 %-ном растворе NaCl в дистиллированной воде. Были построены поляризационные кривые для припоеv типа алюминий-цинк, легированных редкоземельными элементами ЦС, сплава АЛ4 и серого чугуна ЧС 21-40 в чистой охлаждающей жидкости Тосол-A40 при температурах 20 и 60 °C. Потенциалы сплава АЛ4 и припоеv при соответствующих температурах находятся близко друг от друга, потенциал чугуна значительно отличается от них. По отношению к чугуну сплав АЛ4 и припой являются анодами. Припой, сплав АЛ4 и серый чугун СЧ 21-40 находятся в чистой охлаждающей жидкости Тосол-A40 в пассивном состоянии. Поэтому их контакт с позиции гальванической коррозии неопасен.

## Г л а в а 2. МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ РЕМОНТЕ ДЕТАЛЕЙ СВАРКОЙ, НАПЛАВКОЙ И ПАЙКОЙ

### 2.1. Особенности материалов, применяемых для изготовления деталей автомобиля

Детали автомобиля в условиях эксплуатации, помимо статических, подвержены в большой части значительным динамическим нагрузкам, возникающим при сгорании топлива в двигателе, вследствие инерционных сил при торможении автомобиля, при ударах о неровности и т. д. Продольные балки, поперечины рам, рессорные листы, пружинные подвески, полуоси и некоторые другие детали при этом воспринимают систематические переменные нагрузки и могут подвергаться усталостным разрушениям. Действию больших удельных давлений подвержены сопряженные поверхности деталей, что вызывает износ этих поверхностей. Большинство деталей автомобиля работают в неблагоприятных условиях. Немногие детали автомобиля, например шатунные и коренные шейки коленчатого вала, работают в условиях жидкостного трения, большинство — тормозные барабаны, колодки, диски сцепления и т. д. — в условиях граничного трения. Наряду с механическим изнашиванием некоторые элементы автомобиля подвержены также коррозионно-механическому разрушению или окислительному процессу (клапаны, головки цилиндров, гильзы цилиндров, детали системы охлаждения двигателей и др.). В целом ресурс автомобильных деталей в основном определяется износом их рабочих поверхностей.

Исходя из требования высокой эффективности автомобиля при изготовлении его деталей не допускается увеличения их сечений, габаритных размеров и массы. При этом они должны иметь высокие усталостную и динамическую прочность, износостойкость, а в ряде случаев — также температурную и коррозионную стойкость. Этим требованиям хорошо отвечают легированные стали и некоторые марки чугунов. Вместо дорогостоящих и дефицитных легированных сталей с успехом можно использовать более дешевые низколегированные и качественные углеродистые стали.

Для таких деталей, как полуоси, шкворни поворотной цапфы, поршневые пальцы двигателей, у автомобилей большой грузоподъемности используются, как правило, низколегированные стали. Аналогичные детали льготных и грузовых автомобилей небольшой грузоподъемности изготавливаются из качественных углеродистых сталей 40 и 45 с поверхностной закалкой т. в. ч. Эти же стали с поверхностной закалкой т. в. ч. используются для изготовления коленчатых валов двигателей легковых автомобилей. В ряде случаев коленчатые валы делают из чугуна. Для изготовления кузовов, кабин и рам применяют углеродистые или низколегированные стали. Из цветных металлов в автомобилестроении наибольшее применение

Таблица 2.1. Наиболее распространенные легированные и низколегированные стали, применяемые для изготовления деталей автомобиля

Стали	Детали	Термическая обработка
Хромистые: 15Х, 15ХА, 20Х  30Х, 35Х, 40Х, 38ХА	Толкатели, крестовины кардана, распределительные валы Шатуны, валы коробок передач, карданные валы, полуоси	Цементация, закалка, низкотемпературный отпуск 1. Улучшение 2. Поверхностная закалка
	Шатуны, полуоси, вилки переключения передач	Улучшение
Марганцовистые: 45Г2, 40Г		
Хромомарганцевые: 18ХГТ, 25ХГТ  30ХГТ, 25ХГТ, 20ХГА, 25ХГМ	Валы коробок передач, крестовины заднего моста Крестовины дифференциала, валы рулевой сошки	Закалка Низкотемпературный отпуск
	Валы коробок передач и раздаточных коробок	Закалка, низкотемпературный отпуск Улучшение
Хромоникелевые: 20ХНЗА, 20Х2Х4А, 12ХНЗА		
Хромомарганцовоникель- молибденовая 40ХГМ	Рычаги рулевого управления, поворотные цапфы	
Бористые: 40Р, 40РП	Шатуны, полуоси	Улучшение, закалка
Низколегированные: 14Г, 09Г2, 14Г2, 12ГС, 17ГС, 19ХГС	Продольные и поперечные балки рам, кузова самосвалов, балки задних мостов и другие детали	1. Без термообработки 2. Нормализация

ние нашли алюминиевые сплавы АЛ4, АЛ9 и др., из которых отливаются блоки, головки цилиндров, детали системы охлаждения двигателей. Начинают применяться алюминиевые теплообменники. В табл. 2.1 приведены наиболее широко применяемые в автомобилестроении стали и детали, изготавляемые из них.

## 2.2. Присадочные материалы

Присадочные материалы служат для компенсации угарта металла и заполнения зазора или канавки между свариваемыми элементами. Они подбираются так, чтобы образующийся при сварке сплав обеспечивал высокое качество шва. Для этого составы присадочной проволоки и свариваемого материала должны соответствовать друг другу. В состав присадочной проволоки могут вводиться элементы,

имеющие меньшее сродство с кислородом, чем основа сплава, если они оказывают благоприятное влияние на свариваемый материал.

Чтобы получить высококачественный шов, при выборе присадочной проволоки следует учитывать следующие рекомендации. В процессе сварки материал проволоки должен увеличивать количество элементов, интенсивно выгорающих при сварке; вводить элементы, более активно соединяющиеся с кислородом по сравнению с основой и легирующими компонентами сплава; вводить элементы, менее активные к кислороду, чем основа сплава, и в то же время благоприятно влияющие на свариваемый металл; уменьшать количество элементов, оказывающих вредное воздействие на шов. Присадочные проволоки, применяемые при сварке, имеют 77 марок диаметром от 0,3 до 12 мм. Часть из них приведена в табл. 2.2. Марка проволоки содержит буквы Св (сварочная) и далее через дефис — типовое обозначение использованной для ее изготовления стали. Например: Св-08А, Св-08Г2С, Св-30ХГСА. В ГОСТ 10543-82 указаны 30 марок проволок диаметром от 0,3 до 8,0 мм, применяемых для наплавки, из которых 9 применяются для углеродистых сталей, 11 — для легированных. Наплавочная проволока обозначается символом Нп (табл. 2.3).

Т а б л и ц а 2.2. Присадочные проволоки для сварки сталей

Марка проволоки	Содержание элементов, % (по массе)						S не более	P не более
	C	Mn	Si	Cr	Ni			
<i>Углеродистые стали</i>								
Св-08	0,10	0,35...0,60	0,03	0,15	0,30	0,04	0,04	
Св-08А	0,10	0,35...0,60	0,03	0,10	0,25	0,03	0,03	
Св-08ГА	0,10	0,80...1,10	0,03	0,10	0,25	0,03	0,03	
Св-10ГА	0,12	1,10...1,40	0,03	0,20	0,30	0,03	0,03	
Св-10Г2	0,12	1,50...1,90	0,03	0,20	0,30	0,04	0,03	
<i>Легированные стали</i>								
Св-08ГС	0,10	1,40...1,70	0,60...0,85	0,20	0,25	0,03	0,03	
Св-08Г2С	0,11	1,80...2,10	0,70...0,95	0,20	(Al — 0,05)	0,03	0,03	
Св-12ГС	0,14	0,80...1,10	0,60...0,90	0,20	0,25	0,03	0,03	
Св-10ХГ2С	0,06...0,12	1,70...2,10	0,70...0,95	0,70...1,10	(Al — 0,05)	0,03	0,03	
Св-18ХГСА	0,15...0,22	0,80...1,10	0,90...1,20	0,80...1,10	0,30	0,025	0,03	
<i>Высоколегированные стали</i>								
Св-06Х14	0,08	0,30...0,70	0,30...0,70	13,0...15,0	0,60	0,03	0,03	
Св-10Х13	0,08...0,15	0,30...0,70	0,30...0,70	12,0—14,0	0,60	0,03	0,03	
Св-08Х14ГТ	0,01	0,09...1,30	0,50...0,65	13,0...14,0	0,60	0,03	0,035	
					(Ti 0,6...1,0)			

Таблица 2.3. Присадочные проволоки для наплавки стали

Марка проволоки	Содержание элементов, % (по массе)						Прочие элементы	
	C	Mn	Si	Cr	Ni	W	S	P
	Усперодистые стали						не более	
Hн-30	0,27...0,35	0,5...0,8	0,17...0,37	0,25	0,25	—	0,040	0,040
Hн-40	0,37...0,45	0,5...0,8	0,17...0,37	0,25	0,25	—	0,040	0,040
Hн-50	0,47...0,55	0,5...0,8	0,17...0,37	0,25	0,25	—	0,040	0,040
Hн-65	0,60...0,70	0,5...0,8	0,17...0,37	0,25	0,25	—	0,040	0,040
Hн-80	0,75...0,85	0,5...0,8	0,17...0,37	0,25	0,25	—	0,040	0,040
Hн-40Г	0,35...0,45	0,7...1,0	0,17...0,37	0,25	0,25	—	0,040	0,040
Hн-50Г	0,45...0,55	0,7...1,0	0,17...0,37	0,25	0,25	—	0,040	0,040
Hн-65Г	0,60...0,70	0,9...1,2	0,17...0,37	0,25	0,25	—	0,040	0,040
Легированные стали								
Hн-30ХСА	0,27...0,35	0,8...1,1	0,9...1,2	0,8...1,1	0,40	—	0,030	0,040
Hн-30Х3ВА	0,27...0,35	0,3...0,6	0,17...0,37	2,8...3,3	0,50	0,80...1,1 (Mo — 0,15... 0,20)	0,030	0,040
Hн-30Х5	0,27...0,35	0,40...0,70	0,20...0,50	4,0...6,0	0,40	—	0,040	0,040
Hн-35Х2Г2В	0,30...0,40	2,2...2,7	0,40...0,70	2,2...2,7	0,40	0,80...1,1	0,040	0,040
Высоколегированные стали								
Hн-2Х14	0,16...0,24	0,60	0,60	13,0...15,0	0,60	—	0,020	0,035
Hн-3Х13	0,25...0,34	0,60	0,60	12,0...14,0	0,60	—	0,030	0,035
Hн-4Х13	0,35...0,45	0,60	0,60	12,0...14,0	0,60	—	0,030	0,035

Кроме тянутой проволоки, для сварки и наплавки используется порошковая проволока, представляющая собой стальную трубку, заполненную порошкообразной шихтой, состоящей из металлического компонента и флюса. Наиболее широко используются порошковые проволоки диаметром 1,6...1,8 мм. Порошковые проволоки предназначены для механизированной сварки и наплавки сталей и чугунов как с дополнительной защитой от кислорода воздуха флюсом или газом, так и без защиты. Порошковые проволоки для сварки и наплавки сталей принято обозначать символом ПП с указанием далее марки материала, например ПП-ЗХ13-0 — порошковая проволока (для механизированной наплавки стальных деталей, работающих в условиях трения металла о металл). Основные марки порошковых проволок: ПП-АН1 для сварки низкоуглеродистых сталей; ПП-АН3 для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей в нижнем положении; ПП-АН7 для сварки тех же сталей в любых пространственных положениях; ПП-200Х10Г80 для наплавки деталей, работающих в условиях износа и удара; ПП-25Х5ФМС для наплавки деталей, работающих в условиях циклических термических нагрузок и изнашивания; ПП-У20Х12ВФ для наплавки деталей, работающих в условиях износа и удара. По составу сердечника порошковые проволоки делятся на рутилорганические, карбонатно-флюоритные, флюоритные и рутиловые.

Наиболее часто применяются проволоки ПП-АН1, ПП-АН3, ПП-АН7. В качестве органического компонента в них служат целлюлоза или крахмал. Преимуществом порошковых проволок является возможность регулирования в широких пределах химического состава металла шва за счет подбора шихты. В табл. 2.4 приведены характеристики некоторых порошковых проволок для сварки и наплавки стальных деталей.

Для сварки используются также проволоки сплошного сечения, изготовленные из порошков, с покрытиями различного состава.

Существуют порошковые проволоки, предназначенные специально для сварки чугунных деталей. Они обозначаются символом ППЧ (табл. 2.5).

Для газопламенной сварки и наплавки сталей и чугунов могут быть использованы различные порошки, марки и химический состав которых указаны в табл. 2.6.

Т а б л и ц а 2.4. Порошковые проволоки для сварки и наплавки сталей

Марка проволоки	Диаметр проволоки, мм	Тип сердечника	Марка проволоки	Диаметр проволоки, мм	Тип сердечника
НП-АН1	2,8	Рутил-органический	ПП-АН11	2,0; 2,4	Карбонатно-флюоритный
ПП-АН3	3,0	Карбонатно-флюоритный "	ПП-АН	2,5	"
ПП-АН7	2,0; 2,3		ПП-2ДСК	2,3	Флюоритный

Таблица 2.5. Порошковые проволоки для сварки чугунов

Марка проволоки	Содержание элементов, % (по массе)					Назначение
	C	Si	Mn	Ti	Al	
ППЧ-1	6,5...7,0	3,8...4,2	0,4...0,6	0,4...0,6	0,6...0,9	Для холодной сварки
ППЧ-2	5,7...6,5	3,3...4,0	0,4...0,6	0,2...0,5	0,2...0,9	Для полуторячей сварки
ППЧ-3	4,5...5,0	3,3...4,0	—	0,1...0,3	0,1...0,3	Для холодной сварки

Для сварки чугунных деталей электродуговой и газопламенной сваркой используются чугунные прутки, марки и химический состав которых приведены в табл. 2.7.

Для автоматической и полуавтоматической сварки чугунных деталей используется самозащитная проволока сплошного сечения ПАНЧ-11, содержащая, % (по массе): 5...6 Mn, 2,3...3,0 Cu, 2Fe, 0,2...0,3 % редкоземельных элементов, остальное Ni. Присутствие в проволоке редкоземельных элементов позволяет осуществлять сварку без флюса или защитного газа. Разработана также самозащитная проволока ПАНЧ-12, близкая по составу проволоке ПАНЧ-11.

Таблица 2.6. Порошки для газовой сварки и наплавки

Марка порошка	Содержание элементов, % (по массе)				
	Si	B	Fe	C	Cr
<i>Стальные детали</i>					
ПГ-ХН80СР2	1,5...3,0	1,5...2,5	5,0	0,3...0,6	13,0...15,0
ПГ-ХН80СР3	2,5...4,5	2,0...3,0	5,0	0,6...0,8	13,5...16,5
ПГ-ХН80СР4	3,0...5,0	2,5...4,0	5,0	0,6...1,0	15,0...18,0
<i>Чугунные детали</i>					
НПЧ-1	1,3...1,5	1,2...1,5	0,1...0,7	0,1...0,3	Медь 4...5
НПЧ-2	2,4...2,7	2,2...2,7	0,1...1,0	0,1...0,3	" 4...5
НПЧ-3	0,2...0,95	0,7...1,1	0,1...0,7	0,2	" 37...60

Примечание. Во всех порошках осталное никель.

Таблица 2.7. Присадочные прутки для сварки чугунов

Химический элемент	Содержание, % (по массе), для марок прутков			
	A	Б	НЧ-1	НЧ-2
C	3...3,5	3...3,5	3...3,5	3...3,5
Si	3...3,4	3,5...4	3...3,4	3,5...4
Mn	0,5...0,8	0,5...0,8	0,5...0,8	0,5...0,8
S (не более)	0,08	0,08	0,05	0,05
P	0,2...0,4	0,3...0,5	0,2...0,4	0,2...0,4
Ti	—	—	0,03...0,06	0,03...0,06
Cr (не более)	0,05	0,05	0,05	0,05
Ni (не более)	0,03	0,04	0,06	0,06

Таблица 2.8. Присадочные проволоки для сварки алюминиевых сплавов

Марка проволоки	Содержание элементов, % (по массе)					
	Al	Mg	Mn	Fe	Si	Ti
Св-A97	99,97	—	—	—	—	—
Св-A85T	Остальное	—	—	—	—	0,2...0,5
Св-A5	“	—	—	0,2...0,35	0,10...0,25	—
Св-АМц	“	—	1,0...1,5	0,3...0,5	0,2...0,4	—
Св-АМг3	“	3,2...3,8	0,3...0,6	—	0,5...0,8	—
Св-AK5	“	—	—	—	4,5...6,0	0,1...0,2
Св-AK10	“	—	—	—	7,0...10,0	—

Для сварки малоуглеродистых сталей без защиты могут быть использованы проволоки Св-15СТЮЦА и Св-20ХГСТЮ. Механические свойства металла шва, выполненного этими проволоками, находятся на уровне механических свойств швов, полученных электродами типа Э50.

Существуют присадочные материалы, предназначенные для алюминиевых сплавов, обеспечивающие необходимое качество сварного соединения (табл. 2.8).

### 2.3. Электроды для дуговой сварки

Электрод для дуговой сварки представляет собой металлический стержень, имеющий покрытие из специальной обмазки. Стержень электрода изготавливается из сварочной проволоки и служит присадочным материалом. Выбор проволоки производится с учетом рекомендаций, приведенных в разд. 2.2.

При сварке электродом благодаря покрытию образуется шлак, оказывающий влияние на качество сварного соединения, технологические характеристики и химический состав металла шва. Шлак должен полностью изолировать сварочную ванну, хорошо пропускать газы, выделяющиеся из сварочной ванны при кристаллизации металла. Важным требованием к покрытию является возможность выполнения сварки во всех пространственных положениях, зависящая от вязкости жидкого шлака. Шлаки с большим содержанием кремнезема малоподвижны, и их вязкость заметно отличается от вязкости фтористо-кальциевых шлаков, содержащих небольшое количество кремнезема. Важное значение имеет также основность шлака, мерой которой служат концентрация свободных ионов кислорода в шлаке и способность компонентов шлака увеличивать концентрацию ионов кислорода в шлаке путем разрушения кремнекислородных комплексных соединений. Металл шва, полученный сваркой электродом с основным покрытием, обладает большой пластичностью.

Покрытия электродов имеют обозначения: А — кислые, Б — основные, Р — рутиловые, Ц — целлULOидные, П — прочие. В кислых покрытиях преобладают окислы железа, марганца, кремнезема, в основных — мрамор, плавиковый шпат, ферросплавы. Тип электрода обозначается символом Э с указанием прочности металла стержня.

По назначению электроды делятся на несколько видов. В частности, марки электродов с индексом У предназначаются для сварки углеродистых сталей с пределом прочности шва до 600 МПа, с индексом Л — для сварки легированных конструкционных сталей с пределом прочности выше 600 МПа. Имеются и другие индексы.

По толщине покрытия различают электроды:  
с тонким покрытием (М) ( $D/d < 1,2$ );  
со средним покрытием (С) ( $D/d = 1,2...1,45$ );  
с толстым покрытием (Д) ( $D/d = 1,45...1,8$ );  
с особо толстым покрытием (Т) ( $D/d > 1,8$ ),  
где  $D$  — диаметр электрода,  $d$  — диаметр стального стержня.

ГОСТы на электроды регламентируют также прочность металла шва, содержание в нем серы и фосфора, пространственное положение сварки, род и полярность тока, диаметр стержня. Согласно ГОСТАм электроды имеют 12-номерное условное обозначение. Однако в технической документации указывают лишь марку, диаметр стержня, группу по содержанию фосфора и серы. Например, в обозначении УОНИ-13/45-3,0-2 указаны: марка электрода — УОНИ-13/45; диаметр стержня — 3,0 мм; группа по содержанию серы и фосфора — 2.

В зависимости от толщины покрытия электроды выполняют различные функции. Тонкие покрытия используются только для стабилизации электрической дуги. Другие покрытия, кроме стабилизации дуги, способствуют повышению качества шва. Наиболееши-

роко применяются электроды с толстыми покрытиями. В состав толстых покрытий входит значительное число компонентов, группы которых в соответствии с их назначением подразделяются на: ионизирующие (мел, мрамор и др.); газообразующие (органические соединения); шлакообразующие (полевой шпат, песок, гранит, плавиковый шпат); связующие (жидкое стекло, дектрин и др.); раскисляющие и легирующие (ферромарганец, ферросилиций и др.). Первые четыре из перечисленных групп всегда входят в состав качественного покрытия. Что касается легирующих компонентов, то они вводятся в покрытие лишь в случаях, когда требуется путем изменения химического состава сварного шва придать ему необходимые свойства. Компоненты некоторых покрытий, особенно так называемых рудно-кислых, выпускающихся длительное время, выделяют токсичные газы — окись углерода, фтористые соединения. В настоящее время в нашей промышленности применяются преимущественно нетоксичные рутиловые электроды. Применяются также электроды с ильменитовым, фтористо-кальциевым и органическим покрытиями.

В рудно-кислых покрытиях электродов шлакообразующую основу составляют окислы железа и марганца преимущественно в виде руды, а также полевой шпат, пегматит и другие алюмосиликаты. В покрытие вводятся органические составляющие — крахмал, дектрин, древесная мука, которые, разлагаясь при сгорании, обеспечивают газовую защиту металла шва и околошовной зоны. Окись железа  $\text{FeO}_3$  в процессе сварки, взаимодействуя с железом, превращается в закись железа  $\text{FeO}$ , которая затем восстанавливается марганцем, вводимым в покрытие в виде ферромарганца. Основная часть марганца при сварке окисляется и переходит в шлак, а небольшая часть растворяется в металле шва, легируя его. Металл шва, наплавленный рудно-кислым электродом, как правило, содержит до 0,12 % С, до 0,10 % Si, 0,6...0,9 % Mn и до 0,05 % S и P. Металл шва может иметь также 0,09...0,12 %  $\text{O}_2$ , 0,015...0,025 %  $\text{H}_2$  и 20...25 см<sup>3</sup>/100 г  $\text{H}_2$ . Используя электроды с рудно-кислым покрытием, можно варить постоянным и переменным током во всех пространственных положениях. Их технологические характеристики приведены в табл. 2.9.

Рудно-кислые покрытия часто способствуют образованию кристаллизационных трещин в металле шва, являясь причиной высокого содержания в нем газов и неметаллических включений. Рудно-кислые покрытия мало влияют на снижение концентрации серы в металле шва. Поэтому применение электродов с повышенным содержанием серы для сварки конструкций, испытывающих напряженное состояние, не рекомендуется. Высокотемпературная прокалка электрода с рудно-кислым покрытием снижает концентрацию водорода в металле шва.

Чрезмерное раскисление сварочной ванны марганцем способствует развитию кремневосстановительных процессов и соответственно

Таблица 2.9. Технологические характеристики электродов с рудно-кислым покрытием

Марка электрода	Коэффициент		
	наплавки, г/А·ч	потерь, %	разбрзгивания, %
ОММ-5	6,5...7,2	15...20	10...14
ЦМ-7	9,0...10,0	10...20	8...15
ЦМ-8	9,0...11,0	8...10	—

но повышению концентрации кремния, который, будучи поверхностью-активным элементом, адсорбируется на поверхности металла шва, ухудшая условия дегазации, что может привести к образованию пор. По механическим свойствам металл шва может иметь следующие показатели при сварке малоуглеродистых сталей:

$$\sigma_b = 420 \text{ МПа}, \delta = 18 \%, \psi = 8 \text{ \%}.$$

Шлакообразующую основу рутиловых покрытий составляют рутиловый концентрат, содержащий преимущественно двуокись титана, алюмосиликаты, полевой шпат, каолин, карбонаты, мрамор и магнезит. Последние два вместе с органическими компонентами покрытия обеспечивают газовую защиту сварного соединения. Раскисление сварочной ванны осуществляется марганец, входящий в состав покрытия в виде ферромарганца. По количеству карбонатов рутиловые покрытия разделяют на две группы. Первая группа — рутилалюмосиликатные — содержит не более 5 % карбонатов, вторая — рутилкарбонатная — 10...15 %. Вторая группа электродов дает более высокую основность, а это повышает ударную вязкость металла шва. Рутилкарбонатные покрытия имеют электроды АНО-3, АНО-4, АНО-5, МР-1, МР-3; рутилалюмосиликатные — АНО-1, ОЗС-4, ОЗС-3, ОЗС-6, ЦМ-9. Металл шва, наплавленный электродами с рутиловыми покрытиями, содержит до 0,12 % С, 0,5...0,8 % Mn, 0,10...0,30 % Si, до 0,01 % P, 0,05...1,0 % O<sub>2</sub>, 0,015...0,025 % N<sub>2</sub> и 25...30 см<sup>3</sup>/100 г H<sub>2</sub>. Электроды с рутиловыми покрытиями имеют высокие сварочно-технологические свойства (табл. 2.10). Они обеспечивают хорошее формирование швов, плавный переход металла шва с основным металлом, снижают потери металла из-за разбрзгивания, легкую отделимость шлаковой корки. Дуга при сварке электродами с рутиловыми покрытиями горит устойчиво независимо от рода тока любой полярности. Колебание длины дуги не приводит к образованию пор. Шов хорошо очищается от окислов при сварке окисленных поверхностей. Металл шва, наплавленный электродом с рутиловыми покрытиями, менее склонен к кристаллическим трещинам, чем наплавленный электродами с рудно-кислым покрытием. Одним из существенных досто-

инств рутиловых покрытий является обеспечение хороших санитарно-гигиенических условий труда сварщиков. При сварке рутиловыми электродами можно получить сварные швы, имеющие  $\sigma_b = 420 \dots 460$  МПа,  $\delta = 18\%$ ,  $a_h = 0,8$  Дж/м<sup>2</sup>.

Электродные покрытия на основе минерала FeO·TiO<sub>2</sub> принято называть ильменитовыми. К ним относятся электроды типа ОМ-5, имеющие ряд серьезных недостатков — повышенное разбрзгивание металла, неблагоприятные гигиенические характеристики и т. п. Однако ильменитовые электроды имеют хорошие сварочно-технологические качества. При этом получают следующие механические свойства металла шва:  $\sigma_b = 420$  МПа,  $\delta = 18\%$ ,  $\psi = 8\%$ . Увеличение содержания железа повышает производительность процесса до 15...20 %. При этом улучшаются и санитарно-гигиенические условия труда сварщика (электрод АНО-6).

Широко применяются фтористо-кальциевые покрытия, шлакообразующие компоненты которых составляют в основном плавиковый шпат (CaF<sub>2</sub>) и карбонаты кальция и магния (мрамор, мел, магнезит), выделяющие углекислый газ при сварке. В результате разложения последних создается газовая защита шва. Раскисление металла шва производят марганец, кремний, титан или алюминий, входящий в состав покрытия в виде ферросплавов или отдельных металлических порошков. Активные раскислители — кремний, титан, алюминий — обеспечивают низкое содержание кислорода в металле шва; образовавшиеся при этом стойкие окислы металлов растворяются плавиковым шпатом и переходят в шлак. Содержание кислорода в металле шва не превышает 0,03...0,05 %, азота — 0,010...0,015 %, неметаллических включений — 0,1 %, водорода в металле шва — не более 5...7 см<sup>3</sup>/100 г. Металл шва, наплавленный этими электродами, содержит 0,5...1,5 % Mn, 0,3...0,5 % Si, P и S — не более 0,035 %. Низкая концентрация фосфора и серы

Таблица 2.10. Технологические свойства рутиловых электродов

Показатель	Электроды	
	рутилкарбонатные АНО-3, АНО-4, МР-1, МР-3, АНО-5	рутилалюмосиликатные ОЗС-6, ЦМ-9, ОЗС-3, ОЗС-4
Содержание железного порошка в покрытии, % (по массе)	0...20	30...35
Коэффициент наплавки, %	8,0...9,0	9,0...12,0
"    массы покрытия, %	35...50	50...65
Производительность наплавки для электрода диаметром 4 мм, г/мин	23...50	35...50

Таблица 2.11. Сварочно-технологические коэффициенты швов, сваренных электродами с фтористо-кальциевыми покрытиями

Марка электрода	Коэффициент		
	наплавки, г/А·ч	потерь, %	разбрызгивания, %
УОНИ-13*45, УОНИ-13/55	8...9	5...9	3...6
АНО-7	8...9	3...7	1,5...3
СМ-11	9...10	—	1,5...3

обусловлена рафинирующим действием плавикового шпата в шлаке.

Фтористо-кальциевые покрытия чувствительны к воздействию влажной атмосферы, поэтому для предотвращения образования пор в металле шва целесообразно прокалить электрод перед употреблением при температуре 300...350 °С. Кромки свариваемого металла необходимо хорошо очистить от ржавчины и загрязнений. Шов, выполненный с соблюдением этих правил, дает высокие значения ударной вязкости как при положительных, так и при отрицательных температурах, стояк против старения. Фтористо-кальциевые электроды применяются при сварке постоянным током обратной полярности. Сварочно-технологические характеристики швов, полученных от электродов с фтористо-кальциевыми покрытиями, приведены в табл. 2.11.

Механические свойства металла швов, сваренных электродами с фтористо-кальциевыми покрытиями, колеблются:  $\sigma_b =$

Таблица 2.12. Составы покрытий чугунных электродов, % (по массе)

Материал покрытия	Марка электрода			
	ОМЧ-1	ВЧ-3	Станколит	ЭПЧ
Мрамор или мел	25	10	14	—
Графит	41	—	—	30
Ферромарганец	9	—	36	—
Полевой шпат	25	—	—	—
Ферросилиций	—	30	—	30
Карборунд	—	60	28	—
Плавиковый шпат	—	—	12	—
Маршаллит	—	—	10	—
Ферротитан	—	—	—	15
Феррофосфор	—	—	—	10
Силикокальций	—	—	—	15
Жидкое стекло (к сумме сухих компонентов)	30...35	30...35	30	30...35

Таблица 2.13. Состав электродных стержней из никелевых чугунов

Чугун	Содержание элементов, % (по массе)				
	C	Ni	Si	Cu	Mn
Нирезист	2	29	1,3	7,6	0,4*
Никросиал	2,0...2,3	19...22	5,2...6,4	—	0,5*

\* Остальное железо.

= 450...560 МПа,  $\sigma_t = 350...440$  МПа,  $\delta = 24...30\%$ ,  $a_n = 1,8...2,7$  МДж/м<sup>2</sup>. В ряде случаев, особенно при выполнении потолочных швов, используются электроды с органическими покрытиями, обеспечивающие газовую защиту расплавленного металла благодаря образованию газов при разложении покрытия. В качестве шлакообразующих компонентов к покрытию вводятся рутил, титановый концентрат, марганцевая руда, алюмосиликаты и карбонаты. В покрытие вводится также ферромарганец, служащий раскислителем. Наибольшее распространение получили электроды ВСЦ-4 и ВСЦ-4А с целлULOидом, который обеспечивает  $\sigma_b = 440...600$  МПа,  $\sigma_t = 350...490$  МПа,  $\delta = 20...28\%$  и  $a_n = 1,1...1,6$  МДж/м<sup>2</sup>. В металле шва обычно содержится 0,04...0,10 % O<sub>2</sub>, 0,02 % N<sub>2</sub> и 25...35 см<sup>3</sup>/100 г H<sub>2</sub>. Недостатком электродов этого типа являются большие потери (до 20 %) металла от разбрзгивания. Наиболее распространенные электроды для сварки сталей приведены в табл. 1.6.

Для горячей сварки чугуна с нагревом до 600...650 °C используются чугунные электроды, сердечники которых изготовлены из чугуна. В табл. 2.12 приведены составы покрытий чугунных электродов.

Таблица 2.14. Электроды для холодной сварки чугуна вручную

Марка электрода	Материал стержня	Покрытие
ЦЧ-4 ОЗЧ-1	Проволока Св-0,8 Медь М-2, М-3	Основного типа Основного типа с примесью железного порошка
МНЧ-1 МНЧ-2 ЖНБ	Сплав НМЖМц-28-2,5-1,5 (монель) МНМц-40-1,5 (константан) сплав: 55 % Ni, 45 % Fe примеси: 0,07 % C, 1,5 % Mn, 0,7 % Si	Основного типа Основного типа Основного типа (УОНИ-13/45)

Таблица 2.15. Электроды для сварки алюминия и его сплавов

Марка электрода	Содержание элементов, % (по массе)				
	KCl	LiCl	NaF	NaCl	Алюминиевый сплав
ОЗА-1	32,5	9,1	5,2	18,2	35
ОЗА-2	50	—	—	30	20

Полугорячая сварка чугуна (нагрев до 400 °C) дает хорошие результаты при использовании в качестве стержня прутков из никелевых чугунов — нирезиста и никросилала (табл. 2.13). Покрытие стержней: карборунд — 55 %; углекислый барий — 23,7 %; жидкое стекло — 21,3 %. Толщина покрытия должна составлять 0,5...0,8 мм при стержне диаметром 7...8 мм.

Горячая, полугорячая или холодная сварка может производиться также порошковыми проволоками (см. табл. 2.5).

Для холодной сварки чугуна используются электроды, характеристика которых приведена в табл. 2.14.

Для ручной электродуговой сварки алюминия разработан электрод ОЗА-1, алюминиевых сплавов — электрод ОЗА-2 (табл. 2.15).

Таблица 2.16. Электроды для наплавочных работ

Характеристика	Электрод		
	У-340-ПБ	ОЗН-300	ОЗН-400
Ток	Постоянный*	Переменный и постоянный*	Переменный и постоянный*
Коэффициент наплавки, г/А·ч	8,0...9,0	8,0...9,0	8,0...9,0
Переход металла стержня в шов, %	85...95	85...95	85...95
Твердость третьего слоя наплавки с междуслойным охлаждением	260...340	270...330	370...420
Состав компонентов покрытия, % (по массе):			
мармоп	49	52,4	48
плавиковый шпат	15	19	19
кварц	9	—	—
ферросилиций	7	—	—
жидкое стекло	15...18	15...18	15...18
алюминий	—	3	3

\* Обратная полярность.

Существуют также электроды для наплавки, регламентированные ГОСТ 10051—75 "Электроды металлические для дуговой наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами", в котором приводятся 43 марки электродов с указанием химического состава наплавленного металла и его твердости. Полное обозначение наплавочных электродов производится по тому же принципу, что и сварочных. Например, в технических документах электроды первой группы 03Н-ЗУ для наплавки диаметром 4 мм имеют обозначение: 03Н-ЗУ-4,0-1 (ГОСТ 9466—75). В табл. 2.16 приведены характеристики некоторых марок электродов для ручной наплавки.

## 2.4. Припой

Качество изделия, отремонтированного пайкой, зависит наряду с другими факторами от используемого припоя, к которому предъявляются специальные требования:

температура плавления припоя должна быть ниже температуры плавления соединяемых металлов;

припой должен обладать хорошей жидкотекучестью, смачивать поверхности соединяемых металлов, растекаться по ним, проникать в узкие зазоры;

припой должен за счет растворно-диффузионных процессов образовывать с соединяемыми металлами сплав, обеспечивающий прочную связь в зоне шва;

коррозионная стойкость припоя, паяных швов и основного металла должна быть примерно одинакова во избежание образования микрогальванических пар;

коэффициенты линейного расширения припоя и паяемых металлов должны быть максимально близкими, чтобы не образовываться остаточных напряжений и трещин в паяном соединении;

припой не должен значительно снижать прочность и пластичность соединяемых металлов, находясь как в жидком, так и в твердом состоянии, а также не должен способствовать хрупкому разрушению паяемых металлов.

Кроме общих, к припою может предъявляться ряд специфических требований в зависимости от его использования, например требования по электропроводности, теплопроводности, коррозионной стойкости в специальных средах, деформируемости в горячем и холодном состояниях. Существующие припой классифицируют по химическому составу, технологическим свойствам, температуре плавления. Припой с температурой плавления до 450 °C называются низкотемпературными, выше 450 °C — высокотемпературными.

В авторемонтном производстве для пайки сталей и медных сплавов применяются медно-цинковые, оловянно-свинцовые и другие припой (табл. 2.17) [26]. С успехом для пайки стальных изде-

Таблица 2.17. Медно-цинковые припои

Марка припоя	Содержание элементов, % (по массе) (Zn — оставальное)					Температура полного рас- плавления, °C
	Cu	Sn	Si	Ni	Прочие компо- ненты	
ПМЦ-36	34...38	—	—	—	—	825
ПМЦ-48	46...50	—	—	—	—	865
	54	1	—	—	—	876
	50	—	—	—	—	870
	51,5	3,5	—	—	—	875
ЛК-62-05	60,5...63,5	—	0,3...0,7	—	—	905
ПМЦ-54	52...56	—	—	—	—	880
	52...59	—	—	—	0,1 Al	882
	56	1	—	1	1 Mn	888
	60	1	—	—	—	890
	60	—	—	—	—	890
	61,4	—	—	—	6,6 Mn	898
	62...68	0,2	—	3,4	1,2...2,0 Mn	900
	57	1	—	—	—	900
	59...61	—	0,1...0,4	—	—	900
ЛНМЦ-56-5-5	54...59	—	—	3,5...5,5	3,5...5,5 Mn	900
ЛОК 62-06-04	60,5...63,5	0,4...0,6	—	0,3...0,4	—	905
ЛОК 59-1-03	58...60	0,7...1,1	0,2...0,4	—	—	905
Л-63	60,5...63,5	—	—	—	—	905

лий могут быть использованы также медно-цинковые припои, легированные никелем, марганцем, оловом (табл. 2.18), и медно-никелевые припои. Для пайки меди и медных сплавов нередко применяются медно-фосфористые припои. Фосфор, входящий в состав припоя, оказывает флюсующее действие, поэтому пайка осуществляется без флюса.

Олово относится к дефицитным металлам, и в ряде случаев целесообразно использовать вместо оловянно-свинцовых припоев на основе свинца (табл. 2.19) или свинца с небольшим содержанием серебра.

Пайка алюминиевых сплавов при температуре выше 450 °C производится припоями на основе алюминия (табл. 2.20). Для пайки алюминия и других металлов рекомендуются и цинковые припои, содержащие часто 8...21 % Al (табл. 2.21).

Таблица 2.18. Медно-цинковые припой с никелем, марганцем и оловом

Марка припоя	Содержание элементов, % (по массе) (Zn - остальное)				Температура полного рас- плавления, °C
	Cu	Ni	Mn	Sn	
Без марки	67	—	21	—	685
То же	64	—	16	—	870
"	62	—	6	—	900
"	58	—	13	—	845
"	58	—	32	—	898
"	51	—	—	5	860
"	48	—	—	10	810
Л-62П	57...60	4...5	—	—	910
КМФ	58...60	8...9	—	1	910
МЦН 48-10	46...50	9...11	—	—	935
ЛКН 56-03-6*	55,0...57,5	5,5...6,0	—	—	905

\* Содержит 0,25...0,30 % Si.

Таблица 2.19. Оловянно-свинцовые припой

Марка припоя	Содержание элементов, % (по массе) (Pb - остальное)		Назначение
	Sn	Sb	
<i>Бессурьмянистые</i>			
ПОС 40	39...41	—	Лужение и пайка электроаппаратуры, деталей из оцинкованного железа с герметичными швами
ПОС 10	9...41	—	Лужение и пайка контактных поверхностей электрических аппаратов, приборов, реле
ПОСК 50-18	49...51	—	Пайка деталей, чувствительных к перегреву и металлизированной керамики
<i>Малосурьмянистые</i>			
ПОССу 61-0,5	60...62	0,2...0,5	Лужение и пайка электроаппаратуры обмоток электрических машин, оцинкованных радиодеталей
ПОССу 50-0,5	49...51	—	Лужение и пайка радиаторов
ПОССу 40-0,5	39...41	0,2...0,5	Лужение и пайка белой жести, обмоток электрических машин, пайка оцинкованных деталей

Марка припоя	Содержание элементов, % (по массе) (Pb — осталльное)		Назначение
	Sn	Sb	
ПОССу 30-0,5	29...31	0,2...0,5	Лужение и пайка листового цинка, радиаторов
ПОССу 25-0,5	24...26	0,2...0,5	Лужение и пайка радиаторов
ПОССу 18-0,5	17...18	0,2...0,5	Лужение и пайка трубок теплообменников Сурьмянистые
ПОССу 95-5	94...96	4,0...5,0	Пайка трубопроводов
ПОССу 40-2	39...41	4,0...5,0	Лужение и пайка холодильных устройств (припой широкого назначения)
ПОССу 35-2	34...36	1,5...2,0	Пайка свинцовых труб, абразивная пайка
ПОССу 30-2	29...31	1,5...2,0	Лужение и пайка в холодильном аппаратастроении; абразивная пайка
ПОССу 25-2	24...26	1,5...2,0	Пайка в автомобильной промышленности
ПОССу 18-2	17...18	1,5...2,0	То же
ПОССу 15-2	14...15	1,5...2,0	"
ПОССу 5-1	4...5	0,5...1,0	Лужение и пайка деталей, работающих при повышенных температурах
ПОССу 4-6	3...4	5,0...6,0	Пайка белой жести, латуни и меди

Таблица 2.20. Припой на основе алюминия

Марка припоя	Содержание элементов, % (по массе) (Al — осталльное)				Температура полного расплавления, °C
	AlZn	Cu	Si	Ge	
Германьевый № 1	—	—	4,5	31,5	480
34А	—	27...29	5,5...6,5	—	525
П550А*	—	27	6	—	550
Силумин**	—	—	10...13	—	590
П590А	—	9...11	0,9...1,1	—	590
35А	—	20...22	6,5...7,5	—	540
—	—	—	5	31,5	500
—	—	—	4	34,0	485
—	—	—	3,5	36,0	486
АЛ2***	0,3	0,6	10...13	—	600

\* Содержит 0,15 % Pb и Cd.

\*\* Примесей не более 0,45 %.

\*\*\* Содержит 0,5 % Mn.

Таблица 2.21. Цинковые припоя

Марка припоя	Содержание элементов, % (по массе) (Zn — остальное)				Температура полного расплавления, °C
	Al	Cu	Cd	Sn	
В63	8	3...5	—	0,5	420
ПЦАМ-65	19...20	14...15	—	—	420
П300А	—	—	39...41	—	310
П425А	19...21	14...16	—	—	425
П480А*	19...21	14...16	—	—	490
Мосэнерго "Б"	—	—	25	35	300
ПЦАМКд-45	13,5	10	31,5	—	340
ПЦАМКд-40	11,5	8,5	40,0	—	310
—	—	—	40	—	335
—	—	—	20	15	346
—	—	—	—	40	370
—	7	4	—	0,5	380
—	5	—	—	—	380
—	19...21	4...5	—	—	395
48**	11	7	—	—	389

\* Содержит 0,5...0,7 % Mn.

\*\* Содержит 0,5 % Co.

## 2.5. Флюсы

Флюсы служат для удаления окислов и предохранения металла от вторичного окисления. Флюсами являются различные одно- и многокомпонентные соединения. Наиболее эффективны многокомпонентные флюсы, в состав которых могут входить вещества, выполняющие различные функции: разрушение окислов, образование шлаковой защиты, придание флюсу необходимых физических свойств (температура плавления, жидкотекучесть и др.). Многочисленные типы флюсов, применяемых для сварки и наплавки металлов, составляют флюсы плавленые, керамические, неплавленые.

Для изготовления плавленых флюсов компоненты флюса перемешивают в необходимой пропорции, расплавляют и после затвердевания измельчают до нужной грануляции. Просеиванием удаляют пыль и получают сыпучий флюс, используемый для сварки и наплавки. Типичным представителем этой группы является флюс АН-348А (табл. 2.22), который используется для автоматической и полуавтоматической сварки и наплавки под слоем флюса.

Таблица 2.22. Сварочные плавленые флюсы

Марка флюса	Содержание элементов, % (по массе)*					
	MnO	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaF <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
АН-348А	34...38	6,5	5...7,5	4,5	4...55	2
ОСЦ-45	38...44	6,5	2,5	5	6...9	2
АН-60	36...41	3...11	0,5...3	5	5...8	1,5
ФЦ-9	38...41	6,5	2,5	10...13	2...3	2
ОСЦ-45М	38...41	6,5	2,5	10...13	2...3	2

\* Остальное SiO<sub>2</sub>; примесей серы и фосфора не более 0,15 %.

При ремонте деталей автомобиля используется измельченный флюс АН-348А. Для размола флюса используется установка, разработанная и изготовленная предприятием АРЗ-5. Установка имеет рифленые валики, которые позволяют осуществить размол флюса до зерен мелкой грануляции сближением валиков при помощи регулировочных винтов. Механизированное сито для просеивания флюса приводится в движение электродвигателем мощностью 1,1 кВт через специальный редуктор, превращающий вращательное движение вала в возвратно-поступательное движение сита.

Керамические флюсы (табл. 2.23) отличаются от плавленых тем, что после перемешивания компоненты флюса не плавятся, а спекаются при относительно низких температурах и тем самым сохраняются необходимые свойства исходных веществ, тогда как при плавлении частично снижается активность флюса. Один из широко применяемых керамический флюс АНК-18, разработанный Институтом электросварки им. Е. О. Патона Академии наук Украины, используемый для автоматической и полуавтоматической сварки и наплавки под слоем флюса.

Неплавленые флюсы обычно изготавливаются простым перемешиванием исходных компонентов, подготовленных тем или иным способом. Эти флюсы могут быть твердыми или жидкими веществами. К неплавленным флюсам относятся различные химические соединения или их смеси, используемые для сварки, например, чугуна (табл. 2.24) или алюминиевых сплавов (табл. 2.25).

Флюсы для пайки металлов имеют специфические особенности, поскольку для обеспечения пайки (паяемый металл и припой должны приходить в соприкосновение) необходимо их поверхности очищать от окислов до плавления припоя. В отличие от сварочных каждый паяльный флюс имеет ограниченное применение, что обуславливает разработку большой номенклатуры паяльных флюсов.

Таблица 2.23. Керамические флюсы

Компонент	Содержание элементов, % (по массе), по маркам флюса			
	АНК-18	К-1	КС-1	КВС-19
Оксись магния	26...30	—	—	—
Оксись алюминия	17...18	—	—	—
Титановый концентрат	—	55	—	—
Марганцевая руда	—	—	—	54
Алюминиевая пудра	—	—	—	2
Ферромарганец	—	14	0,5	—
Ферросилиций	—	8	0,8	—
Ферротитан	—	—	6	—
Диоксид титана	—	—	15	—
Кварцевый песок	7...11	—	—	30
Мрамор	—	—	57,7	—
Полевой шпат	—	13	—	—
Плавиковый шпат	26...28	10	20	7
Жидкое стекло (в % к массе сухой смеси)	—	13	15	15...17

Высокое качество паяного соединения флюсы обеспечивают, если они обладают следующими свойствами:

вступают во взаимодействие с окислами до расплавления припоя;

имеют температуру активного действия, которая несколько выше температуры плавления флюса, но ниже температуры плавления припоя;

смачивают паяемый металл и не образуют газовые карманы;

не вызывают коррозию паяного соединения (это свойство не всегда удается обеспечить, поэтому после пайки, как правило, проводится тщательное удаление остатков флюса);

Таблица 2.24. Флюсы для сварки чугуна

Номер флюса	Состав, % (по массе)					Номер флюса	Состав, % (по массе)				
	Плавленая бура	Прокален-ная бура	Техническая бура	Углекислый натрий	Углекислый калий		Плавленая бура	Прокален-ная бура	Техническая бура	Углекислый натрий	Углекислый калий
1	100	—	—	—	—	3	—	—	100	—	—
2	—	100	—	—	—	4	—	56	—	22	22

Таблица 2.25. Флюсы для сварки алюминия и его сплавов

Марка флюса	Компонент	Содержание, % (по массе)	Назначение
АН-А1	Хлористый калий	50	Дуговая сварка алюминия
	" натрий	20	
АН-А4	Криолит	30	То же
	Хлористый калий	50	
АФ-4А	" литий	20	Кислородно-ацетиленовая сварка алюминия
	Криолит	30	
	Хлористый калий	50	
	" натрий	28	
	" литий	14	

снижают поверхностное натяжение жидкого припоя и улучшают его растекаемость по паяемой поверхности;

содержат компоненты, легко испаряющиеся при температуре пайки, так как это ведет к снижению их активности;

по возможности не содержат дорогостоящих компонентов;

устойчивы в условиях транспортировки, хранения и применения.

В качестве паяльных флюсов используются различные одно- и многокомпонентные химические соединения, выбираемые в зависимости от характера окисла на поверхности металла. При классификации флюсов учитываются следующие признаки.

1. Температура пайки. По температуре пайки флюсы делятся на высокотемпературные (выше 450 °C) и низкотемпературные (ниже 450 °C).

2. Природа растворителя. По природе растворителя флюсы являются водные и неводные.

3. Природа активаторов. Высокотемпературные флюсы по природе активаторов делятся на галогенидные, фторборатные, боридно-углекислые. Низкотемпературные флюсы по природе активаторов делятся на канифольные, кислотные, галогенидные, гидразивные, анилиновые, стеариновые и др. В наименованиях флюсов, имеющих несколько активаторов, все они указываются, например канифольно-галогенидный или фтороборатно-галогенидный флюс.

4. Механизм действия. По механизму действия различают флюсы защитные, химического действия, электрохимического действия, реактивные.

5. Агрегатное состояние. По агрегатному состоянию флюсы являются твердые, жидкие и пастообразные.

Для высокотемпературной пайки черных и цветных металлов и сплавов с древних времен часто используются борная кислота

$H_3BO_3$  и бура  $Na_2B_4O_7$ . Борная кислота или бура при нагревании в процессе пайки разлагается с выделением борного ангидрида  $B_2O_3$ , который, соединяясь с основными окислами металлов, образует легкоплавкий шлак, всплывающий на поверхность шва и предохраняющий его от вторичного окисления. Борная кислота, бура, их смеси, иногда и борный ангидрид используются при пайке, преимущественно железа и малоуглеродистой стали, медью, медно-цинковыми и серебряными припоями. Обеспечивают они также пайку меди, бронз, томпака, латуней с высокой температурой плавления медно-цинковыми и серебряными припоями.

При пайке легированных сталей, содержащих хром и другие элементы, флюсующего действия соединений бора недостаточно. Поэтому в таких случаях для удаления окислов в состав боридных флюсов вводят фтористый калий  $KF$ , фтористый натрий  $NaF$ , фтористый литий  $LiF$  и фтористый кальций  $CaF_2$ . Первые три фторида применяются, как правило, при температуре пайки ниже  $850^{\circ}C$ , фтористый кальций — выше  $850^{\circ}C$  в связи с его высокой температурой плавления ( $1375^{\circ}C$ ).

Флюсы, содержащие соединения бора и фториды, заметно повышают свою активность, если в их состав ввести небольшое количество лигатуры, состоящей из алюминия, меди и магния. Эти металлы, вступая в реакцию замещения с окислами труднопаяемых металлов, образуют новые окислы, легко растворяющиеся во фторидах. По этому принципу разработан один из наиболее распространенных флюсов ПВ-201, используемый для пайки коррозиестойких сталей и жаропрочных сплавов при температурах  $850\ldots1150^{\circ}C$ .

Для пайки конструкционных, коррозиестойких и жаропрочных сталей, меди, серебра, золота, сплавов на их основе и многих других металлов при относительно низких температурах с успехом используются фторидно-боридные соединения. Среди них широкое применение нашли тетрабораты калия и натрия. Тетраборат калия плавится при  $540^{\circ}C$ , тетраборат натрия — при  $370^{\circ}C$ , а их эвтектическая смесь — при  $360^{\circ}C$ . С бурой тетраборат калия образует эвтектику с температурой плавления  $320^{\circ}C$ . Различные композиции тетраборатов щелочных металлов с другими соединениями позволили создать высокоактивные флюсы, используемые при температурах  $550\ldots800^{\circ}C$ .

В нашей стране и за рубежом разработаны различные флюсы для пайки черных и цветных металлов с использованием боридов, фторидов, других галогенидов и химических соединений. Наиболее широко применяемые флюсы для высокотемпературной пайки стандартизированы (ПВ-200, ПВ-201, ПВ-209, ПВ-284). Флюсы для пайки черных и цветных металлов при температуре выше  $600^{\circ}C$  приведены в табл. 2.26.

Для низкотемпературной пайки почти всех черных и цветных металлов могут быть использованы галогенидные флюсы. Наиболее широкое применение для пайки нашли хлористый аммоний  $NH_4Cl$

Таблица 2.26. Флюсы для пайки при температурах выше 600 °С

Марка флюса	Компонент	Содержание, % (по массе)	Температурный интервал активности, °С	Паяемый металл (припой) и характеристика флюса
-	Тетраборнокислый натрий (бура)	100	800...1150	-
-	Бура Борная кислота	50 50	Нет сведений	Углеродистые стали, чугун, медь, латуни, бронзы и твердые сплавы (припой медно-цинковые)
№ 7	Бура Борная кислота	80 20		
ПВ-200	Борная кислота Тетраборнокислый натрий Фтористый кальций	68...72 19...21 8...10	850...1150	Конструкционные и медные сплавы
ПВ-201	Борная кислота Тетраборнокислый натрий Фтористый кальций Лигатура*	79...81 13...15 5...6 0,4...0,6		То же, флюс более активен из-за наличия в нем лигатуры
ПВ-209	Фтористый калий (обезвоженный) Фторборат калия Борный ангидрид	33...37 21...25 33...37	600...850	Конструкционные стали
-	Тетраборнокислый натрий Борная кислота Фтористый натрий	34...38 49...53 13...15	850 850	Углеродистые стали, чугун, медь и ее сплавы (припой — кремнистые латуни)
-	Бура Борная кислота Сода	40 40 20	Нет сведений	Латунь и медь
-	Борная кислота Углекислый литий * калий	50...60 20...25 30...15	То же	Чугун (припой латунные)

Марка флюса	Компонент	Содержание, % (по массе)	Температурный интервал активности, °C	Паяемый металл (припой) и характеристика флюса
—	Бура Борная кислота Хлористый кальций	58 40 2	*	Латунь и медь
—	Бура Фтористый натрий Хлористый "	90 2,6...2,8 7,2...7,4	800...1150	Чугун (припой латунные, легированные алюминием)
—	Калий фтористо-водородный Борная кислота	45...55 55...45	Нет сведений	Нет сведений
—	Фторокись калия Фторборат калия Борная кислота Раствор едкого калия (35...65 %)	20...40 15 40...65	550...950	Сверхтвердые сплавы и высокоуглеродистые инструментальные стали
—	Бура Хлористое олово Фтористый кальций Жидкое стекло Борная кислота Вода	15...20 5...15 10...50 5...50 10 5...25	Нет сведений	Медь и ее сплавы. Паяльную пасту изготавливают путем смешения смеси с порошком припоя (медь, серебро, золото)
—	Вольфрамат кобальта Фтористый натрий " калий Оксись вольфрама " кобальта " бора	0,1...8,0 2...4 5...8 1...10 0,1...1,0 Остальное	1000...1200	Твердосплавный инструмент

\* Состав лигатуры: 48 % Al, 48 % Cu, 4 % Mg.

и хлористый цинк  $ZnCl_2$ , а также различные смеси, куда входят эти и другие хлориды. В табл. 2.27 даны основные сведения о галогенидных низкотемпературных флюсах, используемых для пайки черных и цветных металлов, а также флюсы для низкотемпературной пайки, содержащие органические и неорганические соединения или их смеси. При низкотемпературной пайке в качестве флюса могут быть использованы канифоль, гидразин, глицерин и некоторые другие органические вещества, обладающие флюсующими свойствами.

Канифоль — твердое стекловидное вещество с температурой плавления 125 °С, полученное из сосновой смолы. Флюсующий эффект канифоли связан с содержащейся в ней абиетиновой кислотой, растворяющей некоторые окислы. При температурах 300...400 °С канифоль разлагается с выделением углерода и водо-

Таблица 2.27. Флюсы для низкотемпературной пайки

Марка флюса	Компонент	Содержание, % (по массе)	Температурный интервал активности, °С	Паяемый металл
—	Хлористый цинк	40	290...350	Углеродистые и низколегированные стали, медь, никель и их сплавы
	Вода	60		
—	Хлористый цинк	48	150...320	Медь и ее сплавы
	" аммоний	12		
	Вода	40		
Прима 2	Гидразин сернокислый (плавленый)	70	140...180	Сплавы меди и железа
	Хлористый цинк (плавленый)	21,5		
	Хлористый аммоний	8,5		
Ф 16	Хлористый аммоний	4	150...400	Нет сведений
	" цинк	6		
	Соляная кислота	5		
	Вода	85		
Ф 16	Вода	40	200...290	Нет сведений
	Глицерин	40		
	Хлористый кадмий	9,6		
	$CuCl_2 \cdot CuO \cdot 4H_2O$	0,8		
	Хлористое олово	9,6		

рода, вследствие чего восстановление окислов паяемого металла идет более интенсивно. В канифоли содержится также терпентин, нейтрализующий абиетиновую кислоту, поэтому остатки флюса после пайки не вызывают коррозии соединения.

Гидразин (диамид) — бесцветная жидкость с температурой кипения 113,5 °С, являющаяся сильным восстановителем. Для пайки используются два вида солянокислого гидразина с температурой плавления 92 и 198 °С. Соли гидразина бесцветные, хорошо растворяются в воде и при плавлении разлагаются с выделением водорода и хлористого водорода, в результате чего и осуществляется пайка.

Канифольные, анилиновые и другие флюсы, содержащие различные активные компоненты, приведены также в табл. 2.27. Некоторые составляющие этих флюсов являются нейтральными веществами, придающими последним необходимые физические свойства.

Таблица 2.28. Флюсы для высокотемпературной пайки алюминия и его сплавы

Марка флюса	Компонент	Содержание, % (по массе)	Температурный интервал активности, °С	Назначение, условия пайки
34A	Хлористый калий " литий Фтористый натрий Хлористый цинк	54...56 29...35 9...11 8...12	420...620	Пайка алюминия и его сплавов, не содержащих магния выше 1-1,5 %. Нагрев печной, газопламенный, т. в. ч. Исключается пламя кислородно-ацетиленовых горелок из-за потери активности флюса
Ф320А	Хлористый калий " литий Фтористый натрий Хлористый цинк	28 42 6 24	420...620	Пайка алюминиевых сплавов типов АД1, АМц, АМг
Ф3	Хлористый калий " литий Фтористый натрий Хлористое олово	47 38 10 5	420...620	
Ф	Хлористый калий " литий Фтористый натрий Хлористое олово Хлористый кадмий	45 38 10 3 4	420...620	

Таблица 2.29. Флюсы для низкотемпературной пайки алюминия и его сплавов

Компонент флюса	Содержание, % (по массе)	Температурный интервал активности, °C	Назначение флюса
Триэтаноламин Фторборат цинка " цинка " аммония (флюс Ф59А)	82,5 10 2,5 5	Нет сведений	Пайка алюминия и сплавов АМц с медью и сталью
Триэтаноламин Фторборат цинка " аммония	82 10 8	150...320	
Бромистый цинк " кадмий	50...30 50...70	Нет сведений	Пайка алюминия
Хлористый свинец " калций " кобальт	95...97 2,5...1,5 2,5...1,5	То же	Реактивный флюс для свинцевания алюминия

ва. Как флюс, канифоль, гидразин, глицерин и другие органические вещества удаляют окислы только таких металлов, как медь, серебро, олово и в чистом виде применяются все реже, особенно в серийном и массовом производстве. Более широкое применение нашли органические флюсы, активированные различными неорганическими соединениями. Такие флюсы используются не только для пайки меди и ее сплавов, но и для пайки конструкционных и коррозионностойких сталей и других сплавов.

Высокотемпературная пайка алюминия и сплавов на его основе осуществляется с трудом, так как окись алюминия является одним из самых химически стойких соединений. К тому же алюминий значительно отличается по электрохимическому потенциалу от обычных припоев, применяемых при пайке других цветных металлов, что приводит к интенсивной коррозии паяного шва, особенно если используемый флюс имеет агрессивный характер. Тем не менее высокотемпературная пайка алюминия и его сплавов успешно применяется в технике.

Флюсы для пайки алюминия почти во всех случаях содержат фториды щелочных металлов, хлористый цинк и другие галогениды. Наиболее широко для пайки алюминия и его сплавов применяется флюс 34А, разработанный С. Н. Лоцмановым. С успехом используются и другие флюсы, приведенные в табл. 2.28 и 2.29.

## 2.6. Защитные газы

Защитными атмосферами могут служить: инертные газы (аргон, гелий); нейтральные газы ( $N_2$ ,  $CO_2$ ,  $N_2 + CO_2$  и др.), не вступающие в химическое взаимодействие с данными металлами при технологических температурах; активные газы ( $H_2$ ,  $CO$ , а также  $N_2$ ,  $CO_2$ ,  $NH_3$  и др.), в условиях сварки проявляющие химическую активность. Применение инертных и нейтральных газов основывается на термической диссоциации окислов металла, выражаемой реакцией типа



Согласно закону действующих масс направление и скорость течения этой реакции зависят от концентрации компонентов реакции. Очевидно, что чем ниже концентрация кислорода (чем эффективнее он удаляется из зоны реакции), тем интенсивнее идет разложение окислов. Для интенсивного разложения окислов используются атмосфера, которые, во-первых, удаляют из зоны реакции воздух с содержащимся в нем кислородом, во-вторых, выдывают из зоны реакции кислород, выделяющийся диссоциирующими окислами. Существенное влияние на эффективность указанных атмосфер оказывает наличие в используемых газах примесей свободного кислорода и воды. Пары воды при температурах сварки и пайки также диссоциируют, причем многие металлы (в том числе железо) являются весьма энергичными катализаторами этого процесса. Результатом диссоциации воды является повышение концентрации кислорода в зоне реакции, что резко тормозит или поворачивает в обратную сторону процесс разложения окислов металла. В связи с этим желательной является предварительная очистка защитных атмосфер от примесей воды и кислорода, так как зачастую неудовлетворительная эффективность их в производственных процессах связана с недостаточным вниманием именно к чистоте газов по  $O_2$  и  $H_2O$ .

Активные газы выбираются применительно к конкретным условиям процессов, когда они не оказывают вредного воздействия на шов. Так, водород недопустим при сварке и пайке меди, титана; азот неприменим для сварки многих сталей; углекислый газ вреден для алюминиевых, магниевых, титановых сплавов, нержавеющих сталей и др. Активные газы могут подаваться в технологическую зону в готовом виде (из баллонов, генераторов, диссоциаторов и т. д.) либо образовываться непосредственно в реакционной зоне (из флюсов, электродных обмазок, горючих газов). Восстановительные свойства активных газов определяются содержанием в них водорода и окиси углерода, а также некоторых активизирующих добавок, которые могут вводиться в любые защитные атмосферы.

Возможность протекания реакции химического восстановления окислов металла в процессах пайки и сварки, как и возможность протекания любой другой реакции, может быть рассчитана заранее. Это термодинамический расчет, учитывающий полное изменение энергетического баланса всех компонентов реакции. Расчет позволяет предвидеть динамику реакции в зависимости от таких параметров технологического процесса, как температура, давление и т. д., поддающихся широкому регулированию.

Одним из широко применяемых защитных газов при сварке является  $\text{CO}_2$ . При температуре сварки двуокись углерода разлагается с выделением кислорода, вследствие чего сварка происходит в окислительной среде. Поэтому для получения хорошего шва необходимо иметь в сварочной ванне достаточное количество раскислителей.

При сварке углеродистых сталей в качестве присадочного материала используется проволока Св-Г2С, содержащая Si и Mn, которые служат раскислителями. В дуговом пространстве и сварочной ванне происходят химические реакции. Образовавшийся в результате взаимодействия марганца и окиси кремния  $\text{MnSiO}_3$  всплывает на поверхность сварочной ванны в виде шлака и защищает металл шва от дальнейшего окисления. А сварочная ванна, в которой растворяется закись железа, раскисляется кремнием и марганцем.

Углекислый газ  $\text{CO}_2$ , получаемый из газообразных продуктов сгорания антрацита или кокса, при обжиге известняка и другими методами, поставляется в сжиженном состоянии в баллонах типа А вместимостью 40 л при максимальном давлении 20 МПа. Сварочная углекислота высшего сорта имеет чистоту 99,8 % и первого — 99,5 %. Баллоны с углекислотой окрашивают в черный цвет с желтой надписью "СО<sub>2</sub> сварочный". Углекислый газ, подаваемый в зону дуги, под действием высокой температуры диссоциирует под оксид углерода и свободный кислород ( $\text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{CO} + \text{O}$ ). При этом происходит окисление расплавленного металла сварочной ванны и металл шва получается пористым с низкими механическими свойствами. Уменьшение окисленного действия свободного кислорода достигается применением электродной проволоки с повышенным содержанием раскисляющих примесей (марганца, кремния). При этом получается бесспористый шов с хорошими механическими свойствами. Углекислый газ применяется при сварке низкоуглеродистых и некоторых конструкционных и специальных сталей.

Для снижения влажности углекислого газа устанавливают баллон вентилем вниз. После отстаивания в течение 10...15 мин осторожно открывают вентиль и выпускают из баллона влагу. Перед сваркой из нормально установленного баллона выпускают небольшое количество газа, чтобы удалить попавший в баллон воздух. Часть влаги задерживается в углекислоте в виде водяных паров, ухудшая при сварке качество шва. При выходе из баллона от резкого расширения происходит снижение температуры углекислого газа, и влага, конденсируясь в редукторе, забивает каналы и даже

полностью закрывает выход газа. Чтобы предотвратить замерзание влаги, между баллоном и редуктором устанавливают электрический подогреватель. Окончательное удаление влаги после редуктора производится в осушителе с прокаленным медным купоросом, хромистым кальцием или другим влагопоглощающим веществом.

В инертных газах (argon, гелий) производится сварка химически активных металлов — титана, алюминия, магния и др., а также во всех случаях, когда необходимо получать сварные швы, однородные по составу с основным и присадочным металлами (высоколегированные стали и др.). Инертные газы позволяют осуществить защиту дуги и свариваемого металла, не оказывая на него металлургического воздействия. Аргон поставляется согласно ГОСТ 10157—73 "Аргон газообразный и жидкий" следующих сортов с содержанием аргона, %, не менее: высшего сорта (99,99), первого (99,98), второго (99,95); остальное кислород (< 0,005), азот (< 0,004), влага (< 0,03). Гелий выпускают согласно МРТУ 51-04-23-64 состава (%): марка I (99,6...99,7), марка II (98,5...99,5), остальное азот. Аргон и гелий поставляют в баллонах вместимостью 40 л под давлением 15 МПа. Баллон для аргона окрашен в серый цвет, надпись зеленого цвета. Баллон для гелия коричневый, надпись белого цвета. Гелий в 10 раз легче аргона, поэтому расход гелия при сварке увеличивается в 1,5—2,0 раза.

По отношению к меди инертным является также азот  $N_2$ , который поставляется в газообразном состоянии четырех сортов (состав, %): высший — 99,9; первый — 99,5; второй — 99,0; третий — 97,0; остальное примеси.

## 2.7. Горючие газы, используемые для сварочных работ

Основным газом, используемым для сварки и наплавки, является ацетилен, относящийся к группе непредельных углеводородов ряда  $C_nH_{2n-2}$ , имеющий специфический запах благодаря наличию в нем примесей — фосфористого водорода, сероводорода и др. При нормальном давлении и температуре —84 °С ацетилен переходит в жидкое состояние, а при —85 °С затвердевает. Ацетилен — газ взрывоопасный, причем он взрывается без присутствия кислорода. С повышением температуры и давления взрывоопасность ацетилена повышается. Температура самовоспламенения ацетилена колеблется в пределах 500...600 °С при давлении 0,2 МПа. При наличии катализатора температура самовоспламенения ацетилена снижается. Таким катализатором, в частности, является силикагель, который по этой причине не применяется для сушки ацетилена. Ацетилен хорошо растворяется в ацетоне, поэтому часто для газопламенной обработки металлов используется растворенный ацетилен в баллоне. Для этого баллон сначала наполняется пористой массой (например, активированным углем), затем ее пропитывают ацето-

ном, в котором растворяется ацетилен. Такой ацетилен взрывоопасен при давлении не менее 1,5 МПа.

Ацетилен является дорогостоящим газом, поэтому для многих газопламенных процессов следует использовать заменители ацетилена, которые, хотя и снижают несколько скорость процесса и увеличивают расхода кислорода, все же позволяют получить заметную экономию средств и повышают безопасность работы. Основные области применения газов, заменителей ацетилена, приведены в табл. 2.30.

Знаком + обозначены те виды газопламенной обработки, при которых использование данного вида горючего технически возможно. Количество теплоты, выделяемой при сгорании газов-заменителей, меньше чем при сгорании ацетилена, поэтому необходимо увеличивать расход этих заменителей. Расход ацетилена  $V_a$  при сварке металлов различных толщин установлен опытным путем. Для определения расхода газов-заменителей принят коэффициент замены, зависящий от состава последних. При этом принято разделять все виды газопламенной работы на две группы с соответствующими коэффициентами первого рода  $\psi_1$  и второго рода  $\psi_2$ . К первой группе относятся пайка, нагрев металла с целью правки, разделительная резка. Вторая группа предусматривает сварку, местную закалку и поверхностную кислородную резку. Эти коэффициенты выбирают в зависимости от теплоты сгорания газа-заменителя (рис. 2.1). При этом кривая на рис. а используется для газов с теплотой сгорания до 10 000 ккал/м<sup>3</sup> (42 000 КДж/м<sup>3</sup>), кривые на рис. б — для газов с теплотой сгорания выше 10 000 ккал/м<sup>3</sup> (42 000 КДж/м<sup>3</sup>). С использованием коэффициента

Таблица 2.30. Области применения заменителей ацетилена

Вид газопламенной обработки	Водород	Природные газы	Пропан-бутан	Бензин	Керосин
Газовая сварка	+	+	+	+	+
Нагревка		+	+		
Пайка	+	+	+	+	+
Нагрев:					
при поверхностной пламенной закалке		+	+	+	+
при огневой правке		+	+	+	+
при поверхностной пламенной очистке		+	+	+	+
Резка	+	+	+	+	+

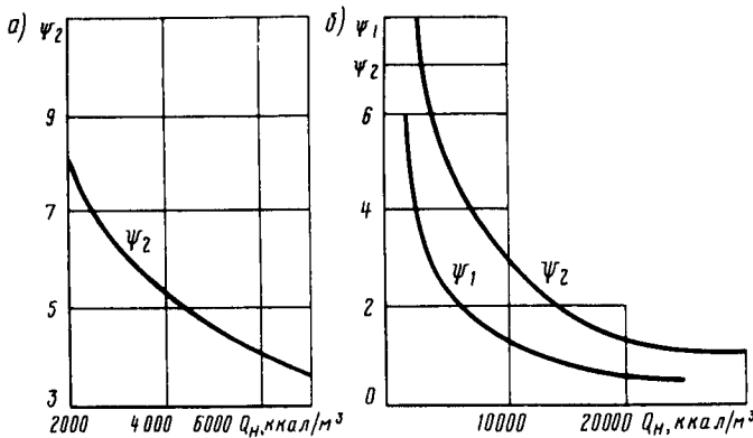


Рис. 2.1. Зависимость коэффициентов замены ацетилена от нижней теплоты сгорания газа-заменителя

замены ацетилена, найденного из графиков, можно определить расход газа-заменителя:

$$V_2 = \psi V_a.$$

Практически это делается рассверливанием выходного отверстия мундштука горелки, используемой для кислородно-ацетиленовой сварки. Расход кислорода берется на 15 % большим расхода газа-заменителя.

## Глава 3. СВАРОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ РЕМОНТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

### 3.1. Особенности оборудования для сварки и пайки

Оборудование для сварки и пайки состоит из источников нагрева металла и средств, обеспечивающих установленный уровень механизации в зависимости от вида сварки и пайки.

При дуговой сварке качество шва зависит от характеристик источника питания, режима сварки, металла сварочной ванны, стабильности горения дуги и других параметров сварки. В процессе сварки на перемещающуюся по металлу дугу действуют факторы, нарушающие стабильность ее горения, которая определяется изменением длины дуги, сварочного тока и напряжения дуги, рода тока и т. д. Устойчивость дуги, получаемой переменным током, ниже, чем дуги постоянного тока. Объясняется это тем, что при питании

дуги переменным током частотой 50 Гц дуга 100 раз в секунду гаснет и вновь возбуждается, что приводит к неустойчивому се горению. Для стабилизации дуги используют осцилляторы или генераторы импульсов или в состав электродных покрытий и флюсы вводят компоненты, способствующие хорошей электропроводимости газов в дуговом промежутке. Для устойчивого горения дуги источник питания должен:

иметь напряжение на зажимах источника тока при разомкнутой цепи (напряжение холостого хода) не более 80...90 В;

иметь достаточную мощность для выполнения сварочных работ; выдерживать продолжительное короткое замыкание;

обеспечивать быстрое восстановление напряжения дуги после короткого замыкания (обладать хорошими динамическими свойствами);

позволять плавно регулировать силу сварочного тока;

обладать заданной внешней характеристикой (зависимость напряжения на выходных клеммах от тока в сварочной цепи).

Внешняя характеристика (рис. 3.1) источника тока может быть: крутопадающей 1, пологопадающей 2, жесткой 3 и возрастающей 4. Внешняя характеристика источника тока выбирается в зависимости от вольт-амперной характеристики дуги, зависимости напряжения дуги от сварочного тока (рис. 3.2), которая может быть: падающей I, жесткой II и возрастающей III. Такая характеристика обусловлена тем, что для дугового разряда сопротивление не является постоянным, так как оно зависит от интенсивности ионизации дугового пространства, и электрическая дуга в газах не подчиняется закону Ома. По этой причине вольт-амперная характеристика обычно не является линейной. При токах до 100 А по мере увеличения тока и связанного с этим увеличения количества ионизированных частиц сопротивление столба дуги уменьшается, потребное для поддержания разряда напряжение уменьшается и характеристика дуги является падающей (участок I). По мере завершения

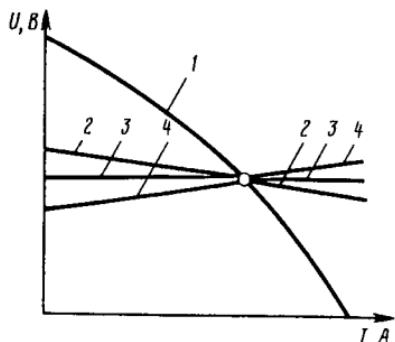


Рис. 3.1. Основные типы внешних характеристик источников питания для дуговой сварки

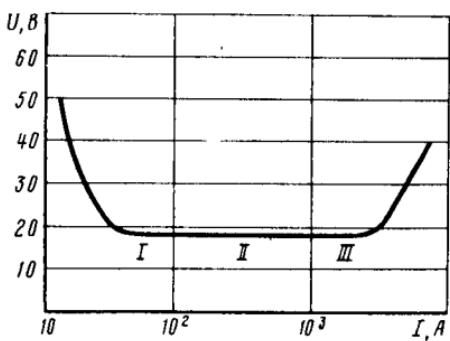


Рис. 3.2. Вольт-амперная характеристика дуги

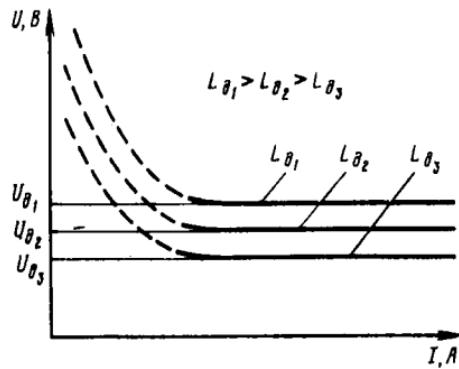


Рис. 3.3. Влияние длины дуги на напряжение

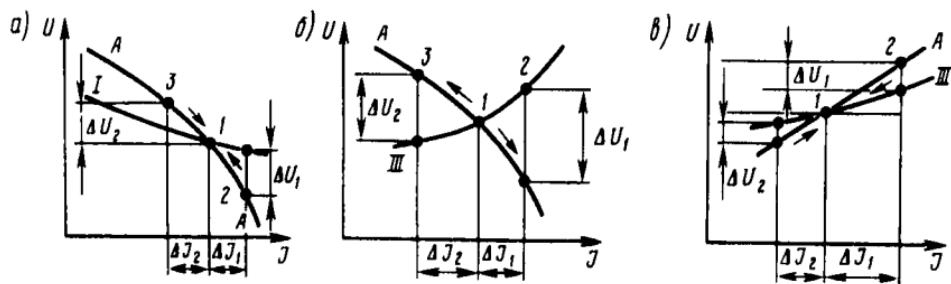


Рис. 3.4. Варианты совмещения вольт-амперной и внешней характеристик

ионизации газов в дуговом промежутке увеличение тока не влияет на напряжение, и характеристика становится пологой или жесткой (участок  $II$ ). Чтобы поддержать дугу, при дальнейшем повышении тока требуется увеличение энергии, расходуемой внутри дуги, поэтому характеристика становится возрастающей (участок  $III$ ). Участки  $I$  и  $II$  характеристики применяются при ручной дуговой сварке плавящимися электродами с покрытием или при сварке неплавящимися электродами в защитных атмосферах. Механизированная сварка под флюсом охватывает участок  $II$  и частично — участок  $III$ . Сварка в защитных атмосферах плавящимися электродами производится в области  $III$ . Для обеспечения сварки на участках  $I$  и  $II$  требуется источник питания дуги с падающей внешней характеристикой, а на участке  $III$  — с жесткой или возрастающей. Вольт-амперная характеристика может смещаться параллельно себе в зависимости от длины дуги — с увеличением длины дуги напряжение увеличивается (рис. 3.3). Изменение длины дуги может происходить, например, при колебании руки сварщика.

Для определения влияния на устойчивость горения дуги внешней характеристики источника тока и вольт-амперной характеристики следует рассматривать их совместно. На рис. 3.4,  $a$  на падающую или жесткую вольт-амперную характеристику  $I$  наложена крутопадающая внешняя характеристика  $A$  источника тока. При увеличении силы тока на  $\Delta I_1$  от точки  $1$  до точки  $2$  напряжение падает на  $\Delta U$ , что приводит к снижению тока и возвра-

щению ее к значению, соответствующему точке 1. При уменьшении тока на  $\Delta I_2$  напряжение  $\Delta U_2$  увеличивается и установленный режим сварки восстанавливается. Если при крутопадающей внешней характеристике вольт-амперная характеристика является жесткой (рис. 3.4, б), то восстановления режима сварки не происходит. На рис. 3.4, в показано, что при жесткой вольт-амперной характеристике III устойчиво дуга горит только тогда, когда внешняя характеристика А источника тока является возрастающей.

Рассмотренные особенности источников тока при сварке носят общетехнический характер. Электросварочное оборудование ремонтных предприятий не имеет каких-то специфических особенностей. Не имеют принципиальных особенностей и другие виды оборудования, используемые для сварки и пайки.

### 3.2. Оборудование для ручной дуговой сварки

Основными техническими параметрами источника тока являются внешняя характеристика, напряжение холостого хода, относительная продолжительность работы (ПР) и относительная продолжительность включения (ПВ) в прерывистом режиме:

$$ПР = \frac{t_p}{t_{ц}} \cdot 100 \%, \quad (3.1)$$

где  $t_p$  — длительность сварки;  $t_{ц}$  — длительность полного цикла (сварка + пауза).

Оптимальная величина ПР принята равной 60 %. ПР отличается от ПВ тем, что в первом случае источник питания во время паузы не отключается от сети, а во втором источник полностью отключается от сети, что имеет место при механизированной сварке. Заданную внешнюю характеристику источника питания обеспечивают сварочные преобразователи постоянного тока, выпрямители и трансформаторы переменного тока.

Преобразователи постоянного тока состоят из генератора и приводного электродвигателя или двигателя внутреннего сгорания. В корпусе генератора расположены обмотки возбуждения. Применяются генераторы нескольких типов: с независимым возбуждением с размагничивающей последовательной обмоткой, самовозбуждением с размагничивающей последовательной обмоткой и расцепленными полюсами.

На рис. 3.5 приведена принципиальная электрическая схема двухполюсного генератора ГСО-500 независимого возбуждения с размагничивающей последовательной обмоткой. Генератор имеет дополнительные полюсы, не показанные на рисунке. Обмотка независимого возбуждения  $w_b$  питается от сети через стабилизатор напряжения  $CH$ , регулирующий последнее в пределах  $+3 \%$ , и выпрямительный блок  $V$ . Поток намагничивающей обмотки  $\Phi_b = w_b I_b$  направлен против потока последовательной размагничивающей обмотки  $\Phi_p = w_p I$ . Результирующий поток обеспечивает получение

падающей внешней характеристики генератора. По такой схеме работают генераторы ГСО-120, ГСО-500 и др. Преобразователи для этих генераторов ПСО-120, ПСО-500 и др. Исполнение преобразователей однокорпусное на колесах.

Принципиальная схема двухполюсного генератора ГСО-300 с самовозбуждением с размагничивающей последовательной обмоткой показана на рис. 3.6. Генератор ГСО-300 входит в состав преобразователя ПСО-300. Кроме генератора ГСО-300 с самовозбуждением, выпускается генератор СГП-3, работающий по аналогичной схеме, обеспечивающей падающую внешнюю характеристику и входящий в состав сварочных агрегатов АСДП-500 с приводом от дизеля и в ПАС-500 с приводом от бензинового двигателя.

В генераторах с расщепленными полюсами падающая внешняя характеристика получается в результате размагничивающего действия магнитного потока обмотки якоря (реакция якоря). Принципиальная электрическая схема генератора приведена на рис. 3.7, а, схема магнитных силовых линий — на рис. 3.7, б. Генератор Г имеет четыре основных магнитных полюса  $N_1, N_2, S_1, S_2$  и три группы щеток  $a, b, c$  на коллекторе. Одноименные полюсы расположены рядом, поэтому считаются расщепленными на два. Вертикальные полюсы называются поперечными, горизонтальные — главными и имеют вырезы для уменьшения площади поперечного сечения, что обеспечивает их магнитное насыщение. Обмотки  $H\Gamma$  и  $H\Pi$  создают магнитные потоки  $\Phi_\Gamma$  и  $\Phi_\Pi$ , направленные от север-

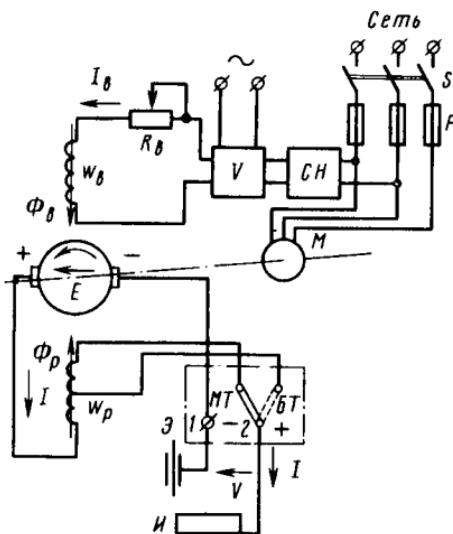


Рис. 3.5. Принципиальная электрическая схема генератора ГСО-500 независимого возбуждения с размагничивающей последовательной обмоткой

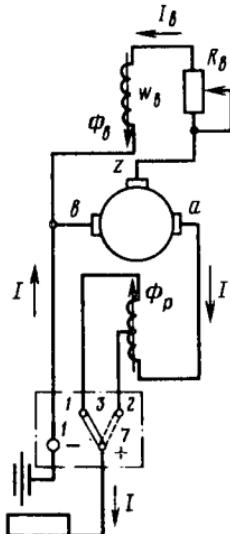


Рис. 3.6. Принципиальная схема генератора ГСО-300 с самовозбуждением и размагничивающей последовательной обмоткой

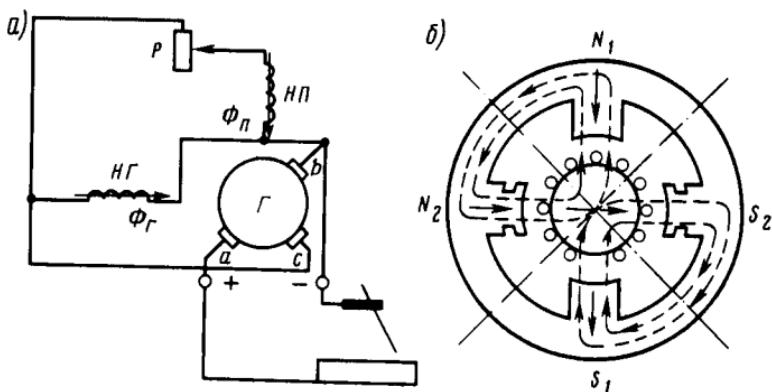


Рис. 3.7. Принципиальная электрическая схема генератора с расщепленными полюсами (а) и схема магнитных силовых полей (б)

ного полюса  $N_2$  к южному  $S_2$  и от северного  $N_1$  к южному  $S_1$ , пересекаемые проводниками якоря. Главные полюсы всегда работают при полном магнитном насыщении, а поперечные только снижают поток главных полюсов. Их суммирующая электродвижущая сила обеспечивает падающую характеристику генератора. Расщепленные полюсы имеют генераторы СГ-300М, СГ-300М-1 и СГ-300Т, которые установлены соответственно на преобразователях ПС-300М, ПС-300М-1 и ПС-300Т.

Для автоматической и полуавтоматической сварки в защитных газах необходимы генераторы с жесткой или возрастающей внешней характеристикой. Для этой цели выпускаются генераторы ГСГ-350 и ГСГ-500, входящие соответственно в состав преобразователей ПСГ-350 и ПСГ-500-1, каждый в однокорпусном исполнении. В генераторах этих преобразователей предусмотрены две обмотки возбуждения: одна независимая, другая последовательная, подмагничивающая. Для ручной дуговой сварки и сварки в среде углекислого газа разработаны универсальные преобразователи типа ПСУ, генератор которого имеет как падающие, так и жесткие внешние характеристики. Внешние характеристики генератора создаются с помощью триода, включенного в цепь обмотки возбуждения и сварочную цепь. Сварочная цепь и цепь обмотки возбуждения связаны между собой стабилизирующим трансформатором, обеспечивающим необходимые динамические свойства генератора.

Для сварки используются универсальные преобразователи ПСУ-300 и ПСУ-500. Технические характеристики преобразователей различных конструкций приведены в табл. 3.1...3.6.

Преобразователи различных конструкций могут быть использованы для сварки в широком интервале силы тока, которая регулируется при помощи балластного реостата, состоящего из нескольких элементов сопротивления, изготовленных из константановой проволоки с высоким омическим сопротивлением и включенных в

Таблица 3.1. Технические характеристики преобразователей

Параметр	ПСО-120	ПСО-500	ПСО-300
Марка генератора	ГСО-120	ГСО-500	ГСО-300
Номинальное напряжение, В	25	40	30
Напряжение холостого хода, В	48...65	55...90	55...80
Номинальный сварочный ток (при ПР = 65 %), А	120	500	300
Пределы регулирования, А	30...120	120...600	75...320
Марка электродвигателя	АВ-42-2	А-71-2	АВ-62-4
Мощность электродвигателя, кВт	4	28	14
Напряжение питающей сети, В	220/380	220/380	220/380
К. п. д. преобразователя	46	59	52
Коэффициент мощности ( $\cos \phi$ )	0,88	0,9	0,88
Исполнение	Однокорпусный на колесах		
Масса, кг	155	540	400

Таблица 3.2. Основные технические данные универсальных преобразователей

Показатель	Преобразователь (марка и тип внешней характеристики)					
	ПСУ-300		ПСУ-500		ГД-304	
	Падающая	Жесткая	Падаю- щая	Жесткая	Падаю- щая	Жесткая
Номинальный сварочный ток, А	200	300	350	500	315	300
Пределы регулирования сварочного тока, А	40...200	50...300	50...300	100...500	15...350	80...300
Пределы регулирования напряжения, В	—	17...35	25..40	15...40	16...45	16...45
Коэффициент мощности ( $\cos \phi$ )	0,62	0,72	0,63	0,75	0,62	0,75
Напряжение питающей сети, В	380/220	380/220	380/220	380/220	380/220	380/220
Масса, кг	315		540		260	

ПСГ-350	ПСГ-500	ПС-300М	ПС-300Т	ПС-1000
ГСГ-350 30 15...35 350	ГСГ-500 35 15...40 500	СГ-200М — 50...76 340	СГ-300Т — 50...70 300	45 1000
50...350 АВ-61/2 14 220/380 68 0,88	50...500 АВ-71/2 28 220/380 65 0,86	80...380 А-64-2 14 — — —	75...340 АТ-62-4Т 14 — — —	300...1000 55 380 — — —
Однокорпусный на колесах				Однокорпусный, стационарный
400	500	600	—	—

Таблица 3.3. Сварочные выпрямители

Марка выпрямителя	Напряжение дуги, В		Пределы регулирования сварочного тока, А	Потребляемая мощность, кВ·А
	при холостом ходе	при сварке		
ВС-300	20...40	20...40	30...300	21,5
ВС-500	21...53	16...40	50...500	31,0
ВСС-120-4	57...63	25	15...130	8,6
ВСС-300-3	58...65	30	40...320	21,5
ВКС-500-1	65...78	40	80...550	37,0
ВД-102	55...60	25	20...125	9,0
ВД-302	50...60	32	40...320	21,0
ВСУ-300	53...65	17...35	40...330	22,5
ВДУ-504	72...78	18...50	70...500	40,0
ВДГ-301	16...32	30	40...315	21,0

Таблица 3.4. Технические характеристики сварочных трансформаторов

Параметр	СТЭ-24У	СТЭ-34У	СТН-350	ТСК-300
Номинальный режим работы, % ПР	65	65	65	65
Напряжение холостого хода, В	65	60	70	63
Номинальное напряжение, В	30	30	30	30
Номинальная мощность, кВт	23	30	25	20
Пределы регулирования сварочного тока, А	100...500	150...700	80...450	110...385
Напряжение питающей сети, В	220/380	220/380	220/380	220/380
К.п.д.	83	86	83	84
Коэффициент мощности ( $\cos\varphi$ )	0,5	0,53	0,5	0,73
Габаритные размеры трансформатора, мм:				
длина	690	690	695	760
ширина	370	370	398	520
высота	660	660	700	970
Габаритные размеры дросселя, мм:				
длина	594	594	—	—
ширина	320	320	—	—
высота	545	545	—	—
Масса, кг:				
трансформатора	130	160	220	215
регулятора	92	100	—	—

Таблица 3.5. Технико-экономические показатели сварочных аппаратов

Показатель	Сварочный аппарат	
	постоянного тока	переменного тока
Удельный расход электроэнергии на 1 кг наплавленного металла, кВт·ч	4,6	3,5...4
Относительная стоимость энергии, %	100	50...60
Стоимость оборудования, %	100	20...30
Стоимость ухода и обслуживания, % от стоимости оборудования	6	3
Мощность холостого хода, кВт	2...3	0,2
Средний к.п.д.	0,3...0,6	0,8...0,85
"    коэффициент мощности	0,6...0,7	0,3...0,4
"    "    использования	0,4...0,8	0,4...0,8
оборудования		
Площадь одного поста, м <sup>2</sup>	4,5...4,6	1,5

ТСК-500	ТС-300	ТС-500	ТСД-500	СТШ-500	ТД-500
65	65	65	60	60	60
60	63	60	80	60	60...76
30	30	30	45	30	30
32	20	32	42	32	32
165...650	110...385	165...650	200...600	145...650	85...720
220/380	220/380	220/380	220/380	220/380	220/380
84	84	85	87	90	Нет сведений
0,65	0,51	0,53	0,62	0,53	То же
840	760	840	950	670	"
575	520	575	818	666	"
1060	975	1060	1215	753	"
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
280	185	250	445	220	210
-	-	-	-	-	-

сварочную цепь с помощью рубильника. Наиболее широко применяется балластный реостат РБ-300 (рис. 3.8), позволяющий регулировать сварочный ток в пределах от 15 до 300 А. Если для сварки требуется ток более 300 А, то включаются параллельно два балластных реостата. При этом сила тока увеличивается в 2 раза, следовательно, для двух реостатов РБ-300 максимальный ток будет

Таблица 3.6. Апараты для автоматической наплавки

Аппарат	Диаметр проволоки, мм	Ток, А	ПВ, %	Скорость подачи проволоки, м/ч	Источник питания
А580М	1,0...3,0	400...1000	65	48...408	ПСО-500
А1408	1,6...3,0	500	100	50...500	ВДУ-504
А1409	1,6...3,0	300	100	50...500	ВДУ-504

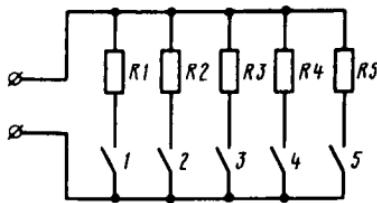


Рис. 3.8. Схема балластного реостата РБ-300

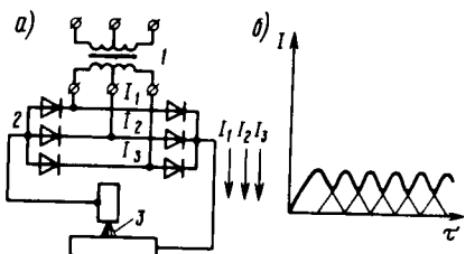


Рис. 3.9. Схема трехфазного выпрямителя

равен 600 А. Балластный реостат РБ-300 имеет пять рубильников и пять сопротивлений.

Вместо сварочных преобразователей нередко для сварки используются выпрямители тока (рис. 3.9, а), состоящие из понижающего трансформатора 1 и блока селеновых или кремниевых выпрямителей 2. Выпрямленный сварочный ток (рис. 3.9, б) подается к сварочной дуге 3. Крутопадающая внешняя характеристика выпрямителя и регулирование сварочного тока обеспечиваются дросселем насыщения, включенным между трансформатором и выпрямительным блоком. Сварочный ток регулируется изменением тока намагничивания дросселя насыщения, причем большему току намагничивания соответствует больший сварочный ток и наоборот. В сварочных выпрямителях в большинстве случаев используется трехфазный ток, преимущества которого заключаются в большом числе пульсаций напряжения и более равномерной загрузке трехфазной сети. Достоинством сварочных выпрямителей перед преобразователями являются отсутствие вращающихся частей, простота в обслуживании, лучшие энергетические, динамические, массовые показатели, более высокий к. п. д. В зависимости от внешних характеристик сварочные выпрямители (см. табл. 3.3) бывают с крутопадающими характеристиками (ВСС-300-3, ВСС-120-4 и др.), жесткими или пологопадающими характеристиками (ВС-200, ВС-300, ВС-600 и др.) и универсальные (ВСУ-300, ВСУ-500). Универсальные выпрямители позволяют получение как жестких, так и падающих внешних характеристик. Последняя цифра в марке выпрямителя означает номинальный ток при ПР = 60...65 %. Масса сварочных выпрямителей колеблется в пределах 160...385 кг. К. п. д. 68...82 % в зависимости от конструкции и потребляемой мощности. Выпрямители ВС-300, ВС-500, ВДГ-301 питаются от сети напряжением 380 В, остальные — 220 или 380 В.

Для сварки переменным током используются сварочные аппараты с отдельным дросселем, встроенным дросселем, подвижным магнитным шунтом, а также магнитным рассеянием и подвижной обмоткой, отличающиеся по конструкции и электрической схеме. Каждый сварочный аппарат состоит из понижающего трансформатора и устройства для создания падающей внешней характеристики-

ки — дросселя (регулятора тока), подвижного магнитного шунта или подвижной обмотки. Трансформатор обеспечивает питание дуги переменным током напряжением 60...70 В.

Сварочный аппарат с отдельным дросселям (рис. 3.10) имеет трансформатор  $Tp$  с сердечником (магнитопроводом) 2 из пластин, отштампованных из тонкой трансформаторной стали толщиной 0,5 мм. На сердечнике расположены обмотки — первичная 1 из изолированной проволоки, подключаемой в сеть напряжением 220 (380) В, и вторичная 3 из медной шины, индуцирующая напряжение 60...70 В. Последовательно с вторичной обмоткой соединяется дроссель  $Dp$  с обмоткой 4 из неизолированной медной шины с asbestosовыми прокладками, пропитанными лаком. Сердечник дросселя изготовлен из тонкой трансформаторной стали и состоит из двух частей: неподвижной 5 и подвижной 6. Вращением рукоятки подвижной части 7 можно менять расстояние между двумя частями сердечника и регулировать электромагнитную индукцию, направляя ее против ЭДС трансформатора, и тем самым — сварочный ток. По такой схеме работают трансформаторы СТЭ-24-У и СТЭ-34-У.

В сварочном аппарате с встроенным дросселям (рис. 3.11) магнитопровод трансформатора имеет основной сердечник 1 с первичной 2 и вторичной 6 обмотками и добавочный сердечник 4 с обмоткой 5 дросселя. Добавочный магнитопровод расположен над основным и состоит из исподвижной и подвижной частей, позволяющей при помощи винта 3 заменять воздушный зазор  $a$  и тем самым регулировать сварочный ток. Встроенные дроссели имеют сварочные аппараты СТН-350, СТН-500 и др., позволяющие регулировать сварочный ток соответственно в пределах 80...450 и 150...700 А. Масса аппарата СТН-350 220 кг, СТН-500 260 кг.

Электромагнитная схема сварочных аппаратов с увеличенным магнитным рассеянием и подвижным магнитным шунтом приведена на рис. 3.12. Реактивная 1, первичная 4 и вторичная 3 обмотки расположены на одном замкнутом магнитопроводе. Между обмотками находится шунт 2, замыкающий магнитные потоки, создаваемые первичной и реактивной обмотками. При этом образуются магнитные потоки рассеяния, которые создают значительные индуктивные сопротивления, обеспечивающие падающую внешнюю характеристику трансформатора. Регулирование сварного тока производится перемещением магнитного шунта вдоль направления

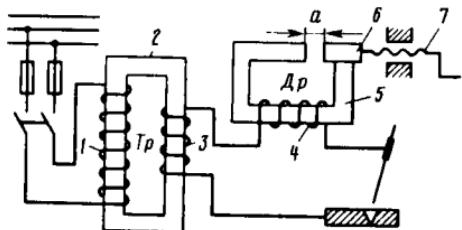


Рис. 3.10. Сварочный аппарат с отдельным дросселям

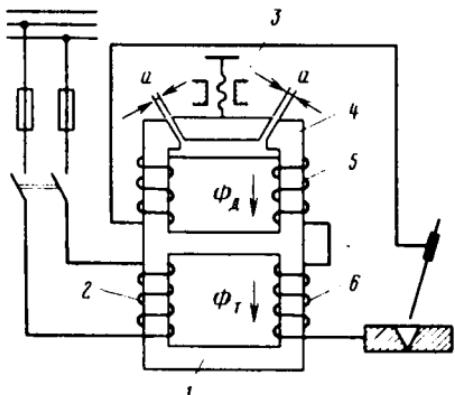


Рис. 3.11. Сварочный аппарат с встроенным дросселем

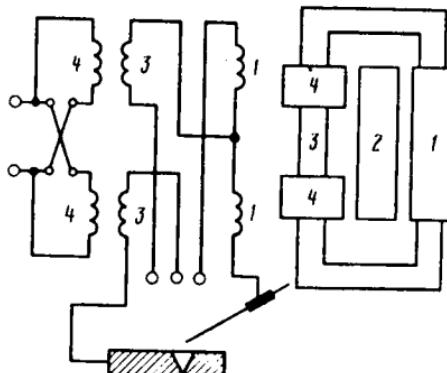


Рис. 3.12. Электромагнитная схема сварочного аппарата с увеличенным рассеянием и подвижным магнитным шунтом

магнитного потока — при выдвижении шунта рассеяние магнитных потоков первичной и реактивной обмоток уменьшается, уменьшается индуктивное сопротивление, и сварочный ток возрастает. По такому же принципу работают аппараты типов СТАН и СТН.

В сварочных аппаратах с увеличенным магнитным рассеянием и подвижной обмоткой (ТС, ТСК, ТД) трансформатор снабжен магнитопроводом, на обоих стержнях которого расположены по две катушки. Одна катушка имеет первичную обмотку, прикрепленную неподвижно к нижней части сердечника, другая — вторичную обмотку, перемещающуюся по стержню с помощью винтовой пары. Сварочный ток регулируется изменением расстояния между первичными и вторичными обмотками. Трансформаторы типа ТД позволяют варить большими токами при параллельном соединении первичных и вторичных обмоток и малыми токами при последовательном их соединении. Технические характеристики сварочных трансформаторов приведены в табл. 3.4.

Как отмечалось выше, сварка постоянным током обеспечивает более устойчивое горение дуги. Однако при сварке переменным током также можно получить хорошие результаты, используя компоненты электродного покрытия, стабилизирующие дугу. Сравнение технико-экономических показателей говорит в пользу сварочных аппаратов переменного тока (см. табл. 3.5).

### 3.3. Оборудование для автоматической наплавки под флюсом

Наплавка изношенных поверхностей при ремонте или нанесение слоев с определенными свойствами на новые детали осуществляется обычными сварочными или специализированными аппаратами. При восстановлении изношенных деталей задача заключает-

ся в получении широкого слоя за один проход, выполняя наращивание "гребенкой" — нанесением параллельно расположенного наплавленного металла. Схема электродуговой наплавки приведена на рис. 3.13. Наплавляемая деталь 5 устанавливается в центрах станка и может вращаться с заданной частотой вращения. Наплавочная головка 1 станка может совершать поступательное движение вдоль восстановляемой детали со скоростью согласно установленному технологическому процессу. Подача наплавочной проволоки из кассеты 2 осуществляется автоматически также в соответствии с технологией наплавки. В сварочную дугу, где происходит плавление проволоки 4, подается флюс из бункера 3. Горение дуги и наплавка таким образом осуществляются под флюсом. Наплавка деталей осуществляется при обратной полярности: деталь соединяется с отрицательным полюсом источника тока, наплавочный материал — с положительным. Для наплавки используются сварочные головки А-384, А-409, АВС, аппараты типов А580М, А1408, А1409 и др. (см. табл. 3.6).

Масса аппарата А580М 84 кг, А1408 170 кг, А1409 230 кг. С использованием аппаратов А1408 и А1409 изготовлены наплавочные станки (табл. 3.7).

Аппарат А580М устанавливается на суппорте любого токарного станка, соответствующего габаритам восстанавливаемых деталей и снабженного редуктором для понижения частоты их вращения. Продольное перемещение головки осуществляется при помощи суппорта станка. В институте электросварки им. Е. О. Патона созданы специальные наплавочные станки У-465, У-427 и У-425, соответственно используемые для наплавки шлицевых и цилиндрических поверхностей, шеек коленчатых валов (табл. 3.8).

Кроме аппаратов для механизированной наплавки плавлением, в авторемонтном производстве используется и вибродуговая наплавка при помощи автоматических головок, приведенных в табл. 3.9. В качестве источника тока используются преобразователи типа ПСО-500 и др. Для устойчивости горения дуги в сварочную цепь включается стабилизирующий дроссель СТЭ-24.

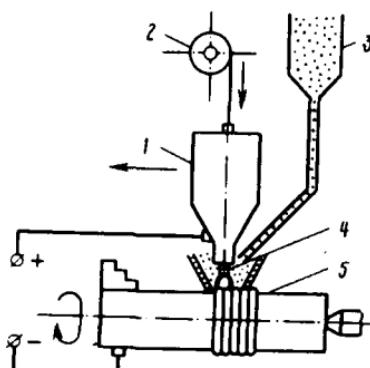


Рис. 3.13. Схема автоматической наплавки под флюсом

Таблица 3.7. Техническая характеристика наплавочных станков из унифицированных узлов

Характеристика	У651	У652
Наплавочный аппарат	A1408	A1409
Наплавляемая поверхность	Наружные поверхности валов, шлицы	Коренные и шатунные шейки с галтельми коленчатых валов
Параметры наплавляемой детали:		
диаметр, мм	20...150 (500)*	100
длина, мм	1300	1300
масса, кг	150	150
Диаметр проволоки для наплавки, мм:		
под флюсом	—	1...2
порошковой	2...3	2...2,5
без внешней защиты сплошной в СО <sub>2</sub>	1...2	—
Габаритные размеры станка, мм	2720x1800x2050	2720x1800x2900
Масса станка, кг	1580	1630

\* При массе детали не более 150 кг.

Наиболее прогрессивным процессом является применение для сварки промышленных роботов, представляющих собой автоматические устройства с программным управлением, быстро переналаживаемые для выполнения различных операций. Обычно рабочим органом робота является ручка с тремя—шестью степенями свободы, что позволяет совершать необходимое количество допускаемых

Таблица 3.8. Наплавочные стеки

Параметр	У-465	У-427
Диаметр наплавляемой детали, мм	25...100	40...100
Длина наплавляемой детали, мм	2000	1800
Диаметр наплавляемой проволоки под слоем флюса, мм	1,6...2,0	1,6...2,0
Диаметр порошковой проволоки, мм	2,0...2,8	2,0...2,8
Сварочный ток, А	До 600	До 600
Скорость подачи электрода, м/ч	24...240	24...240
Скорость сварки, м/ч	20...80	20...80
Шаг наплавки, мм/оборот	2,0...12,0	2,0...12,0
Габаритные размеры, мм	2330x520x1120	3000x1330x2980
Масса, кг	880	1783

Таблица 3.9. Автоматические вибродуговые головки

Параметр	УАНЖ-5	ЧТЗ	КУМА-5
Диаметр электродной проволоки, мм	1,2...2	До 2,2	0,5...2,5
Скорость подачи электродной проволоки, мм/с	12,5...22	12,5...22	3,3...5
Изменение скорости подачи электродной проволоки	Сменой ведущих роликов (7 шт.)	Сменой ведущих роликов (5 шт.)	Сменными шестернями (14 ступеней)
Принцип действия вибратора		Электромагнитный	Круговое движение конца электрода

независимых перемещений (продольное, поперечное, вращательное, угловое и т. п.). Являясь универсальным устройством, робот-манипулятор может использоваться в различных производственных линиях, тогда как традиционные автоматические манипуляторы разрабатывают и изготавливают применительно к одной конкретной производственной установке. В сварочном производстве нашли применение преимущественно роботы, перемещающие сварочные клещи для контактной точечной сварки, поскольку требования к перемещению клещей между точками при контактной сварке менее сложны по сравнению с перемещением электрододержателей или горелки в процессе дуговой сварки; при электродуговой сварке требуется осуществлять непрерывное движение электрода при регулируемых значениях перемещения, скорости и ускорения, вследствие этого нужен робот сложной конструкции со значительным объемом памяти программирующих устройств. Пример такого робота, используемого в качестве носителя сварочных клещей для контактной сварки в автомобильной промышленности, приведен в разд. 3.7.

Несмотря на отмеченные выше трудности, созданы некоторые виды роботов и для дуговой сварки. Например, робот для дуговой сварки, изображенный на рис. 3.14, имеет пульт управления 1 позиционера 2, сварочную головку 3, подающий механизм 4 с кассетой для проволоки, устройство управления 5, источник питания 6 и манипулятор 7. В отличие от обычного оборудования, используемого при автоматической и полуавтоматической дуговой сварке, оборудование робота для дуговой сварки должно иметь следующие дополнительные качества: повышенную стойкость быстроизнашивающихся элементов, простоту и быстроту замены указанных элементов или узлов, содержащих такие элементы; повышенную стабильность положения конца электродной или присадочной проволоки относительно оси сварочного инструмента; автоматизацию

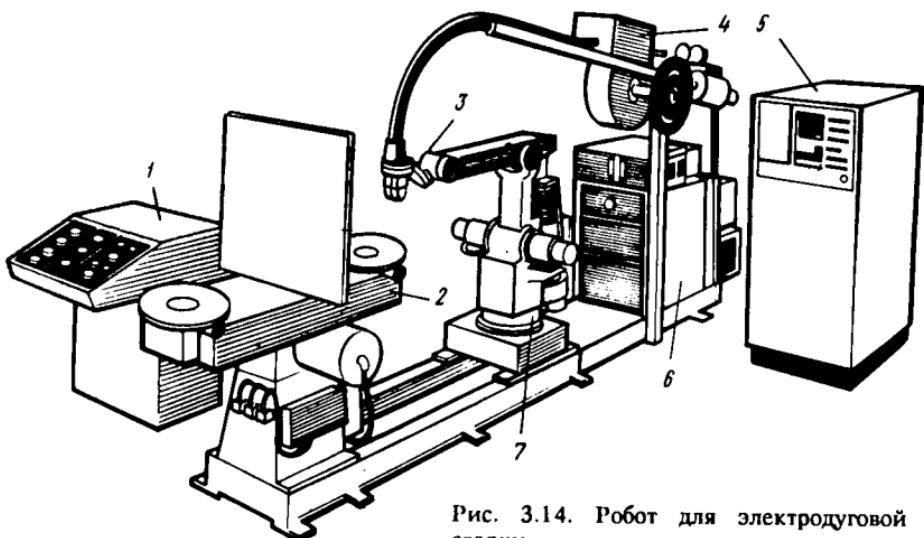


Рис. 3.14. Робот для электродуговой сварки

очистки сварочного инструмента от налипших брызг металла. Робот для дуговой сварки обеспечивает перемещение сварочной горелки во всем диапазоне скорости для данного вида сварки. Управление робота можно осуществить как в автоматическом режиме, так и в режиме обучения. Максимальная абсолютная погрешность позиционирования составляет не более 0,5 мм. Число одновременно управляемых движений подвижности составляет от трех до семи. Режимы сварки соответствуют режимам обычной автоматической и полуавтоматической сварки.

Наряду с многими достоинствами роботы имеют и существенный недостаток — необходимость высокой точности сборки свариваемых деталей и их расположения в рабочем пространстве робота. Этот недостаток в настоящее время преодолевается.

### 3.4. Оборудование для сварки в защитных газах

В качестве защитных газов при ремонте деталей сваркой используются преимущественно углекислый газ и аргон. В случае сварки в защитном газе с плавящимся электродом при помощи роликов электродная проволока подается к детали. Через наконечник горелки ток подводится к сварочной проволоке. Через сопло горелки в дуговое пространство поступает защитный газ, который окружает электрическую дугу и предохраняет сварной шов от воздействия воздуха. Сварку и наплавку плавящимся электродом производят постоянным током обратной полярности. Сварка неплавящимся электродом может быть выполнена как постоянным, так и переменным токами.

Аппараты для сварки и наплавки в защитных газах обеспечивают выполнение следующих операций: зажигание дуги в начале сварки или наплавки, подачу плавящегося электрода в дуговое пространство по мере его расходования, регулирование заданных параметров дуги, передвижение электрической дуги по поверхности детали по мере плавления присадочного материала, прекращение процесса сварки или наплавки.

Схема установки для сварки и наплавки в углекислом газе представлена на рис. 3.15. Один полюс источника постоянного тока 1 через аппарат управления 13 соединяется со сварочной горелкой 11, а другой полюс — со свариваемым или наплавляемым изделием 12. Газ из баллона 2 через подогреватель 3, глушитель 4, редуктор 5, ротаметр 6, газовый клапан 7 поступает в горелку. Углекислый газ в баллоне находится в жидком состоянии и при открытии вентиля сильно расширяется, что приводит к значительному охлаждению  $\text{CO}_2$ , поэтому подогреватель 3 является обязательным элементом установки (8 — сварочная проволока; 9 — ролики; 10 — наконечник горелки). Баллон вмещает 25 кг жидкой углекислоты, а при испарении ее обеспечивает отбор 20...25  $\text{dm}^3/\text{мин}$  газа для сварки. Перед подачей газа в горелку необходимо его осушить пропусканием через силикагель, регенерированный при температуре  $\sim 300^\circ\text{C}$ . Высокое давление газа в системе снижается до рабочего при помощи редуктора типов РК-53, РДК-8 и др.

Для сварки в ремонтных предприятиях деталей толщиной 1...3 мм, а также приварки тонких листов к толстым деталям применяется проволока диаметром 0,5...1,0 мм, подаваемая в дуговое пространство полуавтоматами А-537, А-547А, А-825, ПДПГ-500 и др. Источником питания дуги служит выпрямитель ВС-300. Полуавтомат ПДПГ-500 снабжен преобразователем ПСГ-500-1.

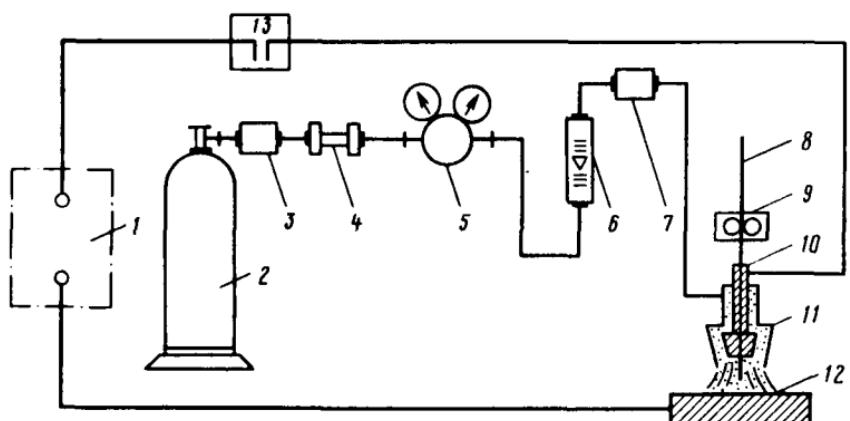


Рис. 3.15. Схема установки для сварки и наплавки в углекислом газе

## Техническая характеристика полуавтомата ПДПГ-500

Напряжение питающей сети, В .....	220 или 380
Частота тока, Гц .....	50
Толщина свариваемых изделий, мм .....	0,8...2,0
Механизм подачи электродной проволоки .....	МПЭ-3
Система подачи электродной проволоки .....	не зависит от напряжения дуги
Скорость подачи электродной проволоки, м/мин .....	2,5...12,0
Пределы регулирования сварочного тока, А .....	до 500
Мощность, потребляемая сварочным преобразователем, кВт .....	28
Сварочная головка:	
для электродной проволоки диаметрами 0,8; 1,0 и 1,2 мм .....	ГДП-5
для электродной проволоки диаметрами 1,6 и 2,0 мм .....	ГДП-6
Расход защитного газа, дм <sup>3</sup> /ч .....	600...1500
Расход охлаждающей воды, дм <sup>3</sup> /ч .....	250...300

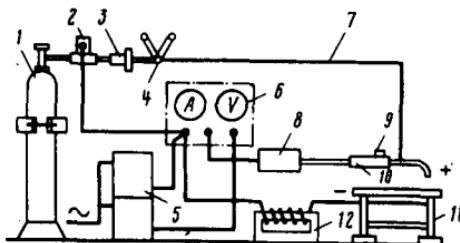
Полуавтомат ПДПГ-500 имеет две сварочные головки, механизм подачи проволоки, шкаф управления, сварочный преобразователь, кислородный редуктор, осушитель и подогреватель газа. В комплект полуавтомата входит также баллон с редуктором и манометром. Механизм, подающий присадочную проволоку в зону электродной дуги, установлен на изолированном основании. На нем же расположены редуктор со съемным барабаном для электродной проволоки и переходная колодка для подключения сварочной головки. Охлаждение сварочной головки ГДП-5 и сварочной проволоки осуществляется защитным газом, а головки ГДП-6 — защитным газом и водой. Подогреватель, питающийся переменным током напряжением 36 В, нагревает защитный газ, поступающий из баллона в редуктор и, таким образом, предохраняет последний от замерзания. Осушитель газа наполняется медным купоросом или силикагелем марки ШСМ, прокаленным при температуре 300 °С в течение 2 ч. Следует отметить, что силикагель является более сильным осушителем, чем медный купорос, и обеспечивает точку росы газа, пропущенного через него, до —40 °С. Редуктор РК-53 понижает давление газа, поступающего из баллона (5,0...5,5 МПа), до рабочего давления 0,1...0,4 МПа. Углекислый газ в баллоне находится в жидком состоянии под давлением 5,0...5,5 МПа. После сварки производится зачистка швов шлифовальным кругом 3125 или пневматическими шлифовальными машинами, технические характеристики которых приведены в табл. 3.10.

Таблица 3.10. Техническая характеристика пневматических шлифовальных машин

Параметр	ПШМ-08	ПШМ-08-90	ПШМ-150	И-44
Частота вращения вала на холостом ходу, мин <sup>-1</sup>	12 500	8000	5000	4500
Мощность на шпинделе, кВт	0,42	0,78	0,83	0,19
Рабочее давление в сети, МПа	0,5	0,5	0,5	0,5
Максимальный диаметр шлифовального круга, мм	60	90	150	125
Габаритные размеры, мм	440x80x70	510x110x100	515x170x160	
Масса, кг	1,7	2,7	4,5	5,0

Рис. 3.16. Схема установки НИИАТ для наплавки в углекислом газе:

1 — баллон с углекислым газом; 2 — предредукторный электрический подогреватель; 3 — осушитель газа с силикагелем; 4 — редуктор-расходомер; 5 — селеновый выпрямитель; 6 — пульт управления; 7 — шланг для подачи газа; 8 — механизм подачи электродной проволоки; 9 — кнопка включения; 10 — газоэлектрическая горелка; 11 — стол сварщика; 12 — регулятор индуктивности (РСТЭ-34)



На рис. 3.16 приведена схема установки НИИАТ для полуавтоматической сварки кузовов, кабин и оперения автомобиля.

Для механизированной наплавки и сварки деталей рекомендуется также оборудование, приведенное в табл. 3.11.

Горелки для сварки в углекислом газе имеют различные схемы (рис. 3.17). Часто используют стандартные горелки типа ГПА (табл. 3.12).

В качестве защитного газа при ремонте сваркой деталей из алюминиевых сплавов используется аргон. Аргонно-дуговая сварка может быть выполнена с использованием постоянного или переменного тока неплавящимся вольфрамовым электродом ручным или автоматическим способом.

Сварка постоянным током производится при прямой полярности (плюс на изделии, минус на электроде). При этом создаются лучшие условия для термоэлектронной эмиссии, повышается стойкость вольфрамового электрода и увеличивается предельно допускаемый сварочный ток. При диаметре электрода 3 мм допускаемый ток составляет: при прямой полярности около 280 А, при обратной полярности 160 А. Дуга при прямой полярности легко зажигается и горит устойчиво при напряжении 10...15 В в широком диапазоне плотности тока. Напряжение дуги при обратной полярности возрастает, стойкость электрода резко уменьшается, расход и нагрев

Рис. 3.17.  
Горелки для  
сварки в уг-  
лекислом га-  
зе:

*a* — с кольце-  
вым подводом;  
*b* — с отра-  
жателем; *в* —  
с успокоитель-  
ными камера-  
ми; 1 — от-  
ражатель газа;  
2 — успокои-  
тельный камера

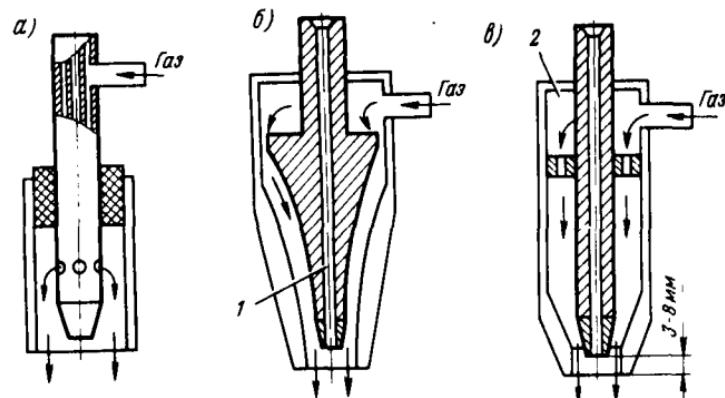


Таблица 3.11. Оборудование для полуавтоматической и автоматической дуговой сварки и наплавки в среде углекислого газа

Параметр	Модель			
	3441212107	3441212005* <sup>1</sup>	3441221212* <sup>2</sup>	3441221292* <sup>3</sup>
Тип	Автомат		Полуавтомат	
Назначение	Низкоуглеродистая и низколегированная сталь	Низкоуглеродистая сталь		Низкоуглеродистая и низколегированная сталь
Напряжение, В	380	300	220 или 380	220 или 380
Номинальный сварочный ток при ПР-60 %, А	630	500	315	315
Диаметр электродной проволоки, мм	1,2...3,0	1,2...2,0	1,2; 1,4; 1,6	1,0...1,4
Скорость подачи электродной проволоки, м/ч	120...960	120...720	120...960	75...960
Габаритные размеры, мм	700x450x600	845x365x670	765x525x865	340x205x x425* <sup>4</sup> 12,5* <sup>4</sup>
Масса, кг	60	58* <sup>5</sup>	65* <sup>5</sup>	

\*<sup>1</sup> Комплектуется выпрямителем ВДУ-504.

\*<sup>2</sup> С дымососом ВДГ-302.

\*<sup>3</sup> С дымососом ВДГ-303. Режим работы Повторно-кратковременный.

\*<sup>4</sup> Подающий механизм.

\*<sup>5</sup> Без источника питания.

Таблица 3.12. Технические характеристики горелок типа ГПА для автоматической дуговой сварки плавящимся электродом в среде защитных газов

Обозначение горелки	Номинальный сварочный ток, А	Диаметр электродной проволоки, мм	Охлаждение	Масса, кг
ГПА160-100	160	0,6...1,6	Воздушное	0,365
ГПА160-140	160	0,6...1,6	"	0,415
ГПА160-180	160	0,6...1,6	"	0,455
ГПА315-180	315	1,6...3	Водяное	0,540
ГПА315-220	315	1,6...3	"	0,625

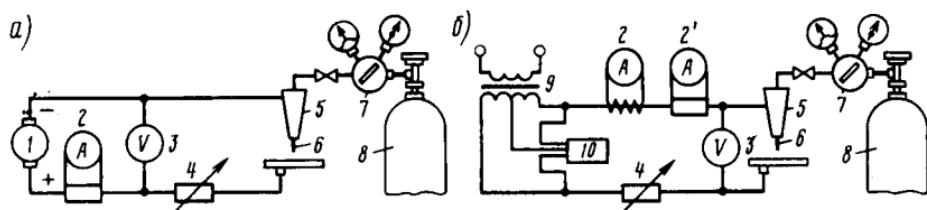


Рис. 3.18. Схемы сварки в аргоне:

*a* — сварка постоянным током прямой полярности неплавящимся электродом; *б* — то же переменным током; 1 — сварочный преобразователь; 2 — амперметр; 3 — вольтметр; 4 — балластный реостат; 5 — горелка; 6 — вольфрамовый электрод; 7 — редуктор-расходомер защитного газа; 8 — баллон с аргоном; 9 — сварочный трансформатор; 10 — осциллятор, обеспечивающий стабильность горения дуги

электрода повышаются. Указанные обстоятельства делают непригодными дугу обратной полярности непосредственно для сварки. Вместе с тем дуга обратной полярности имеет важное технологическое свойство. При действии дуги обратной полярности с поверхности свариваемой детали удаляются окислы и загрязнения, вследствие того что поверхность металла бомбардируется тяжелыми положительными ионами аргона, которые, перемещаясь под действием электрического поля от плюса (электрод) к минусу (изделие), разрушают окисные пленки на детали. При этом выходящие с катода (поверхности свариваемого участка) электроны способствуют удалению разрушенных окисных пленок (катодное распыление). Такое свойство дуги обратной полярности — катодное распыление — целесообразно использовать для сварки металлов с очень стойкими окислами (Al, Mg и др.). Учитывая низкую стойкость электрода при обратной полярности, для сварки используют переменный ток, когда при изменении полярности реализуется катодное распыление. В результате при сварке переменным током неплавящимся

Таблица 3.13. Установки для аргоно-дуговой сварки

Параметр	УДГ-301	УДГ-501
Потребляемая мощность, кВт	23	38
Номинальное напряжение, В	300 или 200	
Сварочный ток	Переменный	
Номинальная частота, Гц	50	50
Напряжение холостого хода, В	70	70
Напряжение дуги, В	8...20	8...20
Номинальный сварочный ток, А	300	500
Номинальный режим работы, % ПВ	60	60
Длительность цикла сварки, мин	10	10
Пределы регулирования сварочного тока, А	15...300	40...500
Диаметр применяемых электродов, мм	0,8...6,0	2...10
Расход аргона, дм <sup>3</sup> /мин	0,5...10,0	4...15

электродом используются преимущества как прямой, так и обратной полярности, т. е. при этом обеспечивается и устойчивость электрода, и разрушение окисных пленок. Схемы сварки в аргоне приведены на рис. 3.18.

Восстановление деталей аргонно-дуговой сваркой осуществляется на установках типов УДАР и УДГ. Наиболее совершенны установки УДГ301 и -501 (табл. 3.13). Аргонно-дуговую сварку алюминиевых деталей осуществляют вольфрамовым электродом ТУ-48-19-39-79 или торированным вольфрамовым электродом ВТ15 ТУ-11-77 Яео. 021.056. Диаметр присадочного прутка определяется по толщине свариваемого материала. Для аргонно-дуговой сварки используются горелки ГРАД-200 и ГРАД-400 с водным охлаждением. Первая применяется для сварки при токе до 200 А, вторая (большая) — при токе до 400 А. При малом токе (до 200 А) используются также горелки с естественным охлаждением АР-3 и АР-10.

### 3.5. Аппараты для электронно-лучевой и лазерной сварки

При *электронно-лучевой сварке* поток электронов, возникающий в результате термоэлектронной эмиссии с раскаленного катода "электронной пушки", разгоняется напряжением 20...220 кВ до скоростей, составляющих 5...70 % от скорости света. Этот поток электронов может фокусироваться, отклоняться и подаваться к свариваемому месту, где тормозится в течение  $10^{-9}...10^{-11}$  с. При этом температура материала поднимается до 10 000...50 000 °С. Особенностью электронного пучка является то, что прогрев металла идет не с поверхности, а непосредственно в объеме обрабатываемого материала. Это объясняется тем, что торможение электрона происходит в результате взаимодействия с частицами материала на длине тормозного пути:

$$\delta = 2,1 \cdot 10^{-12} U_{\text{уск}} \cdot \rho,$$

где  $\delta$  — тормозной путь, см;  $U_{\text{уск}}$  — ускоряющее напряжение, В;  $\rho$  — плотность металла.

Обработка электронным лучом ведется обычно в вакууме  $10^{-4}...10^{-5}$  мм рт. ст., что обеспечивает исключительную стерильность околосшовного пространства и эффективное освобождение от газов расплавленного металла (для сравнения: аргон высшей чистоты марки А содержит до 0,01 % примесей, в то время как при вакууме  $10^{-4}$  мм рт. ст. — 0,000013 %). Возможность точной фокусировки электронного пучка позволяет вести прецизионные работы на участках с площадью нагрева  $10^{-7}$  см<sup>2</sup>, что в  $10^3$  раз превышает плотность энергии, создаваемую сварочной дугой, и в  $10^4$  раз —

газовой горелкой. Существенным достоинством электронно-лучевой сварки является высокая глубина проплавления; если при дуговой сварке отношение глубины шва к ширине разделки составляет от 0,5 до 0,2, то электронный луч позволяет получить это отношение до 10...40, т. е. производить стыковку металла толщиной около 50 мм без разделки кромок. Вместе с тем очень быстрый нагрев весьма тонких слоев металла позволяет получить зоны термического влияния толщиной от долей до нескольких миллиметров (обычно эта толщина составляет 1,0...0,2 % глубины шва), и, следовательно, практически полностью сохранить исходную структуру металла. Это позволяет производить сварку термически упрочненных деталей,

не требующую повторной термообработки. Зона шва тоже получает повышенную прочность в силу того, что область термического влияния упрочняется наклепом за счет явления "термических микровзрывов", с большой частотой повторяющихся в сварочной ванне. В результате сверхбыстрого нагрева происходит локальное накопление энергии, приводящее к практическому мгновенному ( $10^{-8}$  с) образованию пузырька металлического пара. Этот пузырек создает в окружающем металле импульсные давления около  $10^4$  МПа, что и является непосредственной причиной наклепа. Вследствие очень быстрой кристаллизации наплавляемый шов оказывается на 50...100 % прочнее шва, получаемого дуговой сваркой.

Благодаря особенностям, отмеченным выше, электронно-лучевая сварка находит применение для соединения тугоплавких металлов, упрочненных материалов, не допускающих последующей термообработки, точной размерной обработки сверхтвердых и хрупких материалов и т. п. В автомобильной технике электронно-лучевая сварка используется для восстановления блоков зубчатых колес и в ряде других случаев.

Установки для электронно-лучевой сварки состоят из следующих основных узлов: вакуумной камеры с откачной системой, сварочной электронной пушки, сварочного стола и системы перемещения деталей, источника силового питания электронной пушки, системы управления установкой. Схема установки для электронно-лучевой сварки приведены на рис. 3.19. Источник сварочной теплоты, электронная пушка, имеет: катод 3 — излучатель потока электронов; анод 5 — электрод с отверстием в середине для пропускания луча к изделию; фокусирующий прикатодный

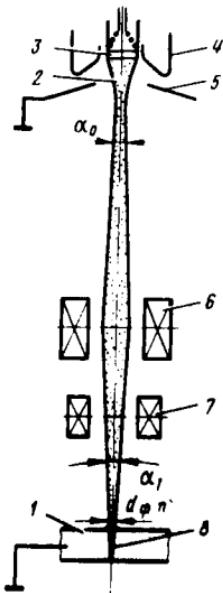


Рис. 3.19. Схема электронно-лучевой сварки

электрод 4, регулирующий силу тока в луче; фокусирующую прикатодную линзу 6; отклоняющую магнитную систему 7. Изделие 1 сваривается электронным лучом 2, фокусирующимся на его соединяемых кромках 8. На рисунке обозначены:  $\alpha_0$  – половинный угол расхождения луча,  $a_1$  – диаметр луча в фокусе.

В табл. 3.14 даны характеристики сварочных электронных пушек.

Одним из важных узлов установки является вакуумная камера. Установки для сварки крупногабаритных деталей отличаются наличием дорогостоящих вакуумных камер большого объема, куда детали помещаются целиком. Часто электронные пушки, которые имеют гораздо меньшие размеры, чем изделия, размещаются внутри камеры.

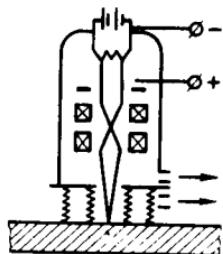
Создание вакуума является одной из наиболее сложных проблем электронно-лучевой сварки; без вакуума не может работать электронная пушка, без него происходит сильное рассеяние и торможение электронного пучка. В настоящее время созданы камеры вместимостью в десятки кубометров: диаметром 4,5 и длиной 1,2 м (США), диаметром 1,2 и длиной 12 м (Германия) и др.

Вместе с тем разрабатываются и пути, позволяющие не прибегать к вакуумированию изделия целиком. Одним из вариантов является применение накидных крышек, которые устанавливаются на соответствующем участке изделия, уплотняются по контуру, создавая вакуумируемый объем; в другом варианте применяется "шагающая" вакуумная камера (рис. 3.20), позволяющая вести сварку непрерывно. В этом случае вакуумируемый объем создается двумя коаксиальными (концентрическими) сильфонами, кромки

Таблица 3.14. Характеристики сварочных электронных пушек

Класс пушек	Марка пушки	Уско-ряющее напряже-ние, кВ	Сила макси-мального тока луча, мА	Минимальный диаметр луча, мм	Назначение
Низковольт-ные (до 30 кВ)	У-250А У-530М	30 30	450 50	0,8...1,0 0,2 (ток до 50 мА) 0,6 (ток 500 мА)	Установки универсальные и специализи-рованные с неподвиж-ной и перемещаемой пушками
Средне-вольтные (40...80 кВ)	ЭП-60	—	—	0,7...0,8	Специализированные универсальные уста-новки с одной или не-сколькими неподвиж-ными пушками; рабо-та в импульсном режи-ме не предусмотрена
	ЭП-60М	60	35...40	—	
	ЭП-60/2,5	—	—	—	
	ЭП-60/10М	60	170	0,8...1,2	
Высоковольт-ные (свыше 100 кВ)	У-670 У-670М	60/120 —	1000/500 —	0,5 —	Установки для сварки металлов больших толщин

Рис. 3.20. Схема электронно-лучевой сварки с "шагающей" вакуумной камерой



которых уплотняются на поверхности изделия. В то время как под внутренним сильфоном идет сварка, наружный разуплотняется и передвигается вперед на расстояние разности диаметров сильфонов. Уплотнив наружный сильфон, создают под ним вакуум, после чего передвигают вперед внутренний и т. д.

Скорость сварки во всех случаях на линейных, круговых и спиральных швах достигает 60...220 м/ч.

В последнее время появились конструкции, в которых удалось вывести электронный луч в атмосферу. С этой целью на выходе из вакуумной камеры ставят 3...6 последовательных конусных сопел (широкой горловиной в сторону пушки), и пространство за каждым из них откачивается своим вакуум-насосом. Благодаря этому в области пушки сохраняется необходимое разрежение, несмотря на непрерывное натекание атмосферы через вход в сопла. Зона сварки защищается от окисления обычно аргоном. Расстояние, на которое удается вывести электронный луч, составляет 4—7 мм при сварке металла толщиной до 12 мм и 10...15 мм — толщиной до 5 мм.

Экономические расчеты показывают, что стоимость сварки пучком электронов (с учетом стоимости оборудования, энергии, металлов, обслуживания) в условиях серийного производства сопоставима со стоимостью сварки в среде углекислого газа.

В заключение следует особо отметить, что для работы на электронно-сварочной установке характерен ряд профессионально опасных факторов: торможение электронов, являющееся причиной появления жесткого и мягкого рентгеновского излучения (радиационная опасность по группе Б); высокое напряжение (до 220 кВ); высокочастотные электрические поля; очень яркие вспышки света при плавлении металла; в ряде случаев — интенсивное тепловое излучение. В связи с этим обслуживающий персонал должен пройти строгий профитбор, спецподготовку и регулярные технические и медицинские проверки.

*Сварка оптическим лучом, или лазерная сварка, может быть выполнена несколькими способами: сфокусированным излучением солнца, излучением мощных газоразрядных, дуговых и перекальных ламп и т. д., источниками монохроматического света на атомных пучках, а также лазерными излучателями. Солнечная сварка (гелиосварка) в настоящее время практического значения не имеет и по экономическим, и по техническим соображениям.*

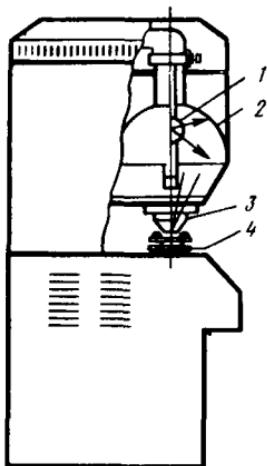


Рис. 3.21. Схема установки для лучевой сварки:

1 — дуговая лампа; 2 — отражатель; 3 — экранирующая насадка; 4 — стол для закрепления свариваемого изделия

Излучение различных ламп находит некоторое, ограниченное, применение в радиоэлектронной и приборостроительной промышленности. Действующие установки создают в фокальном пятне плотность энергии до  $1500\ldots2000 \text{ Вт}/\text{см}^2$ , достаточную для сварки металлов средней тугоплавкости.

Источники на атомных пучках работают по следующему принципу: струя паров какого-либо металла (струя атомов) подвергается интенсивной бомбардировке потоком быстрых электронов. Возбужденное электронами световое излучение атомов отличается от обычного излучения большой интенсивностью и в сотни раз более высо-

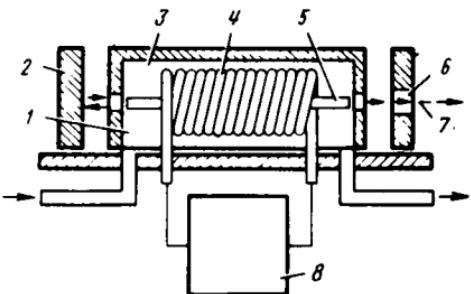
кой монохроматичностью, что позволяет получать исключительно резкую фокусировку и высокую плотность энергии. Однако и этот метод сварки в настоящее время еще не стал промышленно значимым.

Реально лучевая сварка в промышленности осуществляется на лазерных источниках. Нашли применение два типа лазеров — кристаллические и газовые. Излучение лазера, как и обычный свет, может преломляться, отражаться и фокусироваться с помощью оптических систем. Световой импульс, делящийся  $10^{-8}\ldots10^{-10}$  с, создает на свариваемом объекте плотность энергии  $10^9\ldots10^{12} \text{ Вт}/\text{см}^2$  на площадке  $2,5 \text{ мкм}^2$ . В установках для лучевой сварки источником света служат либо мощная дуговая лампа высокого давления, либо квантовый генератор (лазер). С помощью зеркала и оптических линз свет фокусируется на свариваемом изделии в пятно диаметром от 2...3 мм до 20...50 мкм.

На рис. 3.21 приведена схема установки с дуговой лампой мощностью 5...10 кВт. Для фокусировки света на детали используется отражательная техника, которая обеспечивает меньшее поглощение света, чем линзовая техника. Такие установки позволяют нагревать свариваемые детали без контакта с нагревателем, а также спаривать неметаллические материалы, не проводящие тепло. В лазерной установке генерирование световой энергии происходит в рубиновом монокристалле ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) с примесью 0,03...0,07 % Сr, который облучается мощной импульсной дуговой лампой.

Типовые установки для лазерной сварки, кроме квантового генератора с источником питания, содержат еще замкнутую систему охлаждения, оптическую систему фокусировки лазерного луча, оптическую систему наблюдения за процессом, координатный сварочный

Рис. 3.22. Схема твердотельной (кристиаллической) лазерной сварки



ный стол и систему подачи инертного газа для защиты свариваемого изделия от окисления.

На рис. 3.22 приведена схема твердотельной (кристиаллической) лазерной установки. В установке рубиновый стержень 5 облучается импульсной лампой 4, установленной в охлаждаемом объеме 1 и питаемой конденсаторной батареей 8. Отражатель 3 и заднее зеркало 2 направляют луч 7 к свариваемому изделию через полуопрозрачное зеркало 6.

Для сварки применяются также газовые лазеры с рабочим телом, состоящим из смеси газов. Такие лазеры возбуждаются электрическим разрядом. Газы размещаются в трубке, ограниченной с двух сторон строго параллельными зеркалами (непрозрачным и полуопрозрачным).

Схема газового генератора для лазерной сварки приведена на рис. 3.23. В результате электрического разряда между введенными в трубку электродами возникают быстрые электроны, которые переводят газовые молекулы на возбужденные уровни. Возвращаясь в основное состояние, эти молекулы образуют кванты света совершенно так же, как в твердотельном лазере.

Технические характеристики лазеров, применяемых при сварке, приведены в табл. 3.15.

Достоинства лазерной сварки: исключительная мобильность светового луча, который может быть направлен в самые труднодоступные места изделия; очень малое тепловложение в обрабатываемый материал, что практически устраняет образование зоны термического влияния; возможность производить сверхпрецisionную обработку. Лазерная сварка находит в ряде случаев применение и в автомобильных технологиях, например при изготовлении карданных валов, восстановлении корпуса масляного фильтра и т. п.

Необходимость использования лазерной сварки для изготовления карданного вала автомобиля вызвана целым рядом преимуществ этого прогрессивного технологического процесса над традиционной технологией электродуговой сварки в среде уг-

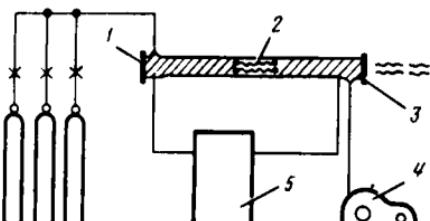


Рис. 3.23. Схема газового генератора для лазерной сварки:

1 — заднее зеркало; 2 — разрядная трубка; 3 — полупрозрачное зеркало; 4 — вакуумный насос; 5 — источник питания

Таблица 3.15. Технические характеристики лазеров, применяемых при сварке

Материал лазера	Режим работы	Длина волн, мкм	Максимальная частота следования импульсов, Гц	Длительность импульса, мс	Пиковая выходная мощность, кВт	Энергия кванта излучения, эВ
Рубин	Импульсный	0,694	2	0,8...10	1,5...19	1,8
Неодимовое стекло	"	1,06	0,5	0,8...10	1,0...75	1,17
Алюмоиттриевый гранат с неодимом	Импульсный	1,06	60	0,3...1,0	5...17	1,17
CO <sub>2</sub> He	Непрерывный	1,06	—	—	0,3	1,17
	Импульсный	10,6	5000	0,2...1000	3,0	0,117
	Непрерывный	10,6	—	—	1,0	0,117

лекислого газа, в первую очередь наличием минимальных остаточных деформаций, обусловленных локальностью тепловложения, обеспечивающих увеличение ресурса карданной передачи. Так, деформация вилки кардана при дуговой сварке в атмосфере CO<sub>2</sub> доходит до 0,1 мм, а при сварке лазером — 0,01 мм. Отработка технологии лазерной сварки осуществляется на лазере типа ЛТ1-2, представляющем собой электроразрядный CO<sub>2</sub>-лазер с поперечной прокачкой рабочей смеси и максимальной выходной мощностью 5 кВт. Были проведены испытания на склонность используемых в карданном вале сталей к образованию холодных и горячих трещин по методике МГТУ. Полученные результаты позволили оптимизировать скорость сварки в диапазоне 80...100 м/ч. Особое внимание уделялось вопросам защиты зоны сварки от влияния атмосферы. Найдены условия защиты сварного шва недефицитным газом CO<sub>2</sub>. Разработана конструкция специального сопла для подвода защитного газа в зону сварки. Указанные условия позволили определить режимы сварки, обеспечивающие высокое качество сварных соединений. Партия образцов карданных валов, сваренных лучом лазера, прошла стендовые испытания на усталостную прочность и показала результаты на уровне прочности карданных валов, изготовленных традиционной технологией.

### 3.6. Оборудование для газовой сварки и наплавки

Для газовой сварки и наплавки служат ацетиленовые генераторы, газовые баллоны, редукторы, сварочные горелки, а также различные слесарно-механические и измерительные инструменты.

Ацетиленовые генераторы предназначены для получения ацетилена в результате химического взаимодействия карбида кальция и воды. Согласно ГОСТ 1460—76 норма выхода ацетилена (объем ацетилена, образующегося при разложении 1 кг карбида кальция) зависит от сорта последнего и размера его гранул (табл. 3.16).

Таблица 3.16. Нормы выхода ацетилена из карбида кальция

Размеры кусков, мм	Выход ацетилена, дм <sup>3</sup> /кг, из карбида кальция	
	первого сорта	второго сорта
25/80	285	265
15/25	275	255
8/15	265	245
2/8	255	235
До 2	Не регламентируется	
Различные	275	265

Таблица 3.17. Ацетиленовые генераторы

Марка генератора	Производитель- ность, м <sup>3</sup> /ч	Рабочее давление, МПа	Еди- ко- времен- ная за- грузка, кг
УСН-20-30	10	0,03...0,07	25
АСК-1	5	0,015...0,030	12...16
АНВ-1,25	1,25	До 0,0012	4...6
АСВ-1,25	1,25	0,01...0,07	3

Ацетиленовые генераторы классифицируют: по давлению образующегося газа, характеру взаимодействия карбида с водой и способу применения. По давлению газа различают генераторы низкого (до 0,01 МПа), среднего (0,01...0,07 МПа) и высокого (0,07...0,15 МПа) давления. По способу получения газа генераторы бывают "карбид в воду" (КВ) и "вода в карбид" (ВК). По способу применения существуют генераторы передвижные производительностью до 3 м<sup>3</sup>/ч ацетилена и стационарные — выше 3 м<sup>3</sup>/ч. Характеристики генераторов небольшой производительности, которые могут быть использованы в ремонтном производстве, приведены в табл. 3.17. Грануляция карбида кальция 25...80 мм.

Неотъемлемой частью каждого генератора являются предохранительные устройства, предотвращающие проникновение в генератор горячей ацетилено-кислородной смеси (такой процесс называется обратным ударом). В качестве таких устройств используется водяной затвор (рис. 3.24), где при обратном ударе закрывается газоподводящий клапан 1, и взрывчатая смесь выбрасывается в атмосферу через разрывающуюся фольгу 2 в атмосферу 3. На рис. 3.24, а показана нормальная работа водяного затвора, на рис. 3.24, б — в момент обратного удара. Ацетиленовые генераторы применяются на ремонтных предприятиях, расположенных в отдаленных местностях.

В большинстве случаев для сварки используется ацетилен в баллонах, окрашенных в белый цвет, с надписью красными буквами

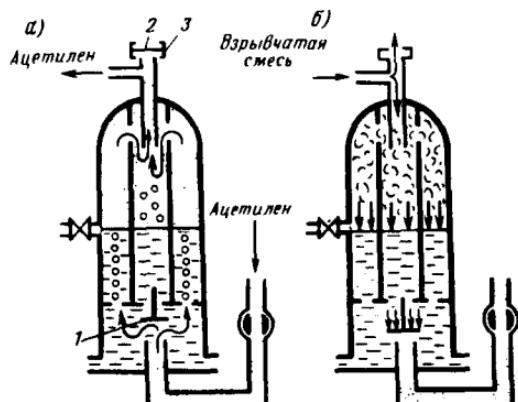


Рис. 3.24. Водяной затвор

ми "Ацетилен". По конструкции и размерам ацетиленовые баллоны не отличаются от кислородных.

Кислородный баллон состоит из корпуса с выпуклым днищем и сферической верхней части. На нижнюю часть каждого баллона для увеличения его устойчивости в вертикальном положении насыживается в горячем состоянии башмак. В отверстие горловины, снабженное конической резьбой, ввертывается вентиль. С наружной стороны на горловину плотно насыживается кольцо, на которое навертывается предохранительный колпак, защищающий вентиль от повреждения. Наибольшее распространение имеют баллоны вместимостью 40 л. Такой баллон при давлении 15 МПа вмещает 6 м<sup>3</sup> кислорода. Масса баллона 67 кг. Кислородные баллоны имеют голубой цвет и надпись черными буквами "Кислород".

Для снижения давления газа в баллоне до рабочего служат газовые редукторы. По конструкции они делятся на несколько видов. В зависимости от рода газа, для которого они предназначены, редукторы бывают кислородные, ацетиленовые, пропан-бутановые и др. Накидные гайки, при помощи которых редукторы навинчиваются на штуцеры вентилей, имеют различную резьбу: для кислорода и углекислого газа правую, для других газов левую. Диаметр резьбы редуктора 21,8 мм (кроме кислородных редукторов, имеющих диаметр резьбы 26,17 мм). В табл. 3.18 приведены основные параметры баллонных одноступенчатых редукторов для газовой сварки. Кроме указанных редукторов, для кислородного баллона используется редуктор БКО-3 (ГОСТ 6268—78), баллонов с пропан-бутановой смесью — БПО-5, БАО-5 (ГОСТ 9356—75) и др.

Непосредственно для смешивания горючего газа с кислородом в определенной пропорции и образования устойчивого сварочного пламени служат горелки. Существуют горелки инжекторного и безынжекторного типов. В безынжекторных горелках кислород и ацетилен по двум трубопроводам подводятся в смесительную камеру, откуда после перемешивания выходят через мундштук горелки. Для работы безынжекторных горелок давление ацетилена должно быть равно давлению кислорода (0,15...0,35 МПа). Для этого ацетилен должен подаваться или из баллона, или из генератора высокого давления. Повышение давления увеличивает взрывоопасность ацетилена.

Таблица 3.18. Редукторы для газовой сварки

Тип редуктора	Редуцирующий газ	Давление, МПа		Произво- дительность м <sup>3</sup> /ч
		рабочее	максимальное на входе	
ДКП-1-65	Кислород	0,1...1,5	20	7,5...60
ДКД-8-65	"	0,05...0,8	20	3...25
ДАП-1-65	Ацетилен	0,01...0,12	3	3...5
ДПП-1-65	Пропан-бутан	0,01...0,3	25	3...5

Таблица 3.19. Наконечники горелок для ручной сварки

№ горел- ки	Толщина сваривае- мой стали, мм	Расход, лм <sup>3</sup> /ч		Предельное давление кислорода, кПа
		ацетилена	кислорода	
<i>Горелка ГС-53</i>				
1	0,5...1,5	50...125	50...135	100...400
2	1...2,5	125...240	130...260	150...400
3	2,5...4,0	250...400	260...420	200...400
4	4...7	400...700	430...730	200...400
5	7...11	700...1100	740...1200	200...400
6	10...18	1050...1750	1150...1950	200...400
7	17...30	1700...2800	1900...3150	200...400
<i>Горелка ГСМ-53</i>				
0	0,2...0,7	20...65	22...70	500...400
1	0,5...1,5	50...125	50...135	100...400
3	2,5...4,0	240...400	260...420	200...400

В инжекторную горелку кислород поступает по центральной трубке, а ацетилен, имеющий более низкое давление, засасывается из трубы через кольцевой канал инжектора (сопла) кислородом. Далее газы через мундштук подаются для сварки. Группа деталей горелки, состоящая из смесительной трубы с накидной гайкой и мундштука, называется наконечником. Горелки снабжаются комплектом наконечников для сварки сталей различных толщин (табл. 3.19).

Кислородно-ацетиленовая сварка низкоуглеродистых сталей производится без флюса. При сварке легированных сталей и других материалов применяются различные флюсы.

Вместо ацетилена при выполнении сварочных работ во многих случаях можно использовать пропан-бутан и другие горючие газы. Для этих газов характерна малая скорость сгорания, что обеспечивает меньшую опасность их применения при сварке, так как снижается возможность возникновения обратных ударов. Достоинством пропан-бутана и других горючих газов является и незначительный диапазон взрывоопасности в смеси с воздухом. В отличие от ацетилена пропан-бутан дает невысокую температуру пламени — 2043 °С (ацетилено-кислородное пламя имеет температуру 3150 °С). Поэтому для сварки пропан-бутаном применяются специальные горелки (ГЗУ, ГЗМ), имеющие подогрев газа с целью поднятия температуры пламени. Однако, как показали исследования НПО ВНИИАvtогенмаш, подогревательное устройство не обеспечивает существенного поднятия температуры пламени. В то же время дополнительный подогрев вызывает излишний расход про-

пан-бутана и кислорода и повышенное потребление тонколистового материала, из которого изготавляются свариваемые изделия (кузов, оперение автомобиля). НПО ВНИИАвтогенмаш предлагает для сварки пропан-бутаном обычные ацетиленовые горелки с рас-сверловкой мундштуков (№ 3 — до 2,2, № 4 — до 2,5, № 5 — до 2,5 мм) и инжекторов (№ 3 — до 0,7, № 4 — до 0,95, № 5 — до 1,5 мм). Для повышения устойчивости пламени производится раз-зенковка отверстия в мундштуке зенкером диаметром 3,5...5,0 мм на глубину 3,5...5,0 мм в зависимости от номера наконечника. Пропано-бутано-кислородная смесь применяется также для восста-новления наплавкой многих деталей автомобиля специальной гор-релкой, снабженной бункером для порошковых присадочных мате-риалов.

К оборудованию для газопламенной обработки относится кисло-родно-ацетиленовый резак, применяемый для отделения металлов. Газовая резка основана на горении в струе кислорода металла, на-гретого до высокой температуры. Для нагрева металла использует-ся пламя ацетилено-кислородной смеси, поступающей через кольцевую щель мундштука. Кислород, сжигающий металл, посту-пает по дополнительной трубке. Давление сжижающего кислорода составляет обычно 0,2...0,8 МПа. Давление кислорода и ацетилена в смеси, нагревающей металл до температуры его горения, обыч-ное, как при сварке. Для кислородно-ацетиленовой резки исполь-зуются резаки "Маяк", "Факел" и другие конструкции. При ис-пользовании малокалорийных газов резка производится резаками РУЗ-70 и РУА-70, имеющими увеличенные каналы для горючей смеси.

### 3.7. Оборудование для контактной сварки и наплавки

Контактная сварка осуществляется путем нагревания деталей в месте их соединения до начала оплавления или пластического со-стояния. Нагревание происходит за счет тепла, выделяющегося при прохождении электрического тока через свариваемые детали и контакт между ними. Процесс контактной сварки сопровождается воздействием усилий, сжимающих свариваемые детали в местах их соединения.

Количество тепла, необходимого для осуществления контактной сварки, зависит от температуры нагрева деталей, их теплопровод-ности, массы. Тепло, выделяющееся при прохождении тока через место контакта, определяется по формуле

$$Q = 0,24I^2Rt.$$

Сопротивление  $R$  зависит от рода металла свариваемых дета-лей, их размеров, площади контакта в месте сварки и при равных

условиях имеет сравнительно небольшие значения. Время прохождения тока  $t$  должно быть небольшим. Чем оно меньше, тем меньше потери тепла в окружающую среду, выше производительность сварки и ниже температура нагрева участков, прилегающих к месту сварки. Выдержка под током ( $I$  — сила тока) при сварке высоколегированных сталей, алюминия и его сплавов по этим соображениям должна быть кратковременной. Такой режим сварки называется "жестким". При сварке металлов, менее чувствительных к нагреву, например малоуглеродистых сталей, можно применять "мягкий" режим — более длительный постепенный нагрев, а следовательно, и меньшую силу тока. Сила тока при контактной сварке изменяется в широких пределах. Вследствие малых значений электрического сопротивления и времени сварки сила тока при контактной сварке всегда бывает большой. Практически она выражается тысячами и десятками тысяч ампер.

В зависимости от характера соединения контактную сварку подразделяют на точечную, роликовую (шовную) и стыковую. Точечная и роликовая сварка обычно применяется для соединения деталей, изготовленных из листов, а стыковая — для соединения деталей из стержней различного сечения и труб. В авторемонтном производстве применяется преимущественно точечная сварка.

Оборудование для контактной сварки в зависимости от их назначения отличается большим разнообразием. Основными элементами каждого комплекта оборудования являются: сварочный трансформатор; устройства для регулирования сварочного тока; механизм перемещения электродов и передачи свариваемым деталям сжимающих усилий; токопрерыватель; станина, на которой монтируются все части машины.

Трансформатор контактной машины понижающий, обычно с первичным напряжением 380 или 220 В. Первичная обмотка трансформатора состоит из одной или нескольких катушек. Вторичная обмотка трансформатора имеет один виток или шину. На рис. 3.25 показана электрическая схема такого трансформатора. Отношение первичного напряжения  $V_1$  к вторичному  $V_2$  приблизительно равно отношению числа витков первичной обмотки  $w_1$  к числу витков вторичной обмотки  $w_2$ :

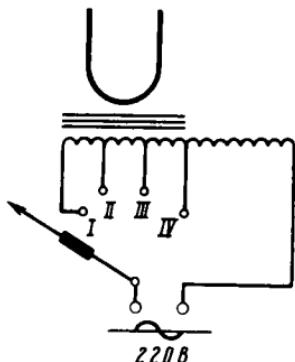
$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{w_1}{w_2},$$

откуда

$$V_2 = V_1 \cdot \frac{w_1}{w_2}.$$

Так как у сварочных трансформаторов контактных машин  $w_2 = 1$ , то  $V_2 = V_1/w_2$ , т. е. напряжение на зажимах вторичной обмотки равно напряжению сети, деленному на число витков первичной обмотки.

Рис. 3.25. Электрическая схема трансформатора



Трансформатор имеет ряд отводов для того, чтобы с помощью переключателя изменять число витков в первичной обмотке (см. рис. 3.25) и тем самым регулировать напряжение в сварочной цепи. При положении ручки переключателя на контакте *I* в сеть включаются все витки первичной обмотки. При постепенном переводе ручки по ступеням *II*, *III* и *IV* число витков в первичной обмотке уменьшается и, следовательно, напряжение во вторичной обмотке будет увеличиваться. Токи в обмотке трансформатора обратно пропорциональны напряжениям на их зажимах:  $\frac{I_1}{I_2} = \frac{V_1}{V_2}$ , откуда

$$I_2 = I_1 \cdot \frac{V_2}{V_1}.$$

Заменяя отношение напряжений отношением числа витков и учитывая, что  $w_1 = 1$ , получим

$$I_2 = I_1 w_2.$$

При использовании этой формулы следует иметь в виду, что с уменьшением числа витков первичной обмотки  $w_1$  уменьшается ее сопротивление, вследствие чего возрастает  $I_1$ , причем возрастает в большей степени, чем уменьшается число витков. Таким образом, при уменьшении числа витков первичной обмотки повышается напряжение и увеличивается сила тока во вторичной обмотке (в сварочной цепи). Для определения силы тока в сварочной цепи необходимо измерить с помощью амперметра силу тока в первичной обмотке и умножить ее на число включенных витков.

Перемещение электродов контактных машин и передача свариваемым деталям сжимающих усилий могут осуществляться в них посредством системы рычагов, управляемых при помощи педали, электрического мотора, гидравлического или пневматического устройства. Токопрерыватель контактных машин служит для включения тока после нагрева свариваемого места в течение заданного времени. Регулирование продолжительности нагрева особенно важ-

но для металлов, чувствительных к изменению температуры. В качестве токопрерывателей могут служить электромагнитные реле времени, рычажные или винтовые выключатели.

В машине для точечной сварки заготовки или элементы ремонтируемой детали помещаются между электродами, которые плотно прижимают их друг к другу. После этого через электроды и свариваемые элементы в течение короткого времени пропускается электрический ток вторичной обмотки трансформатора с первичной обмоткой, включенной в сеть. Текущий, образованный при прохождении тока, концентрируется главным образом в местах контакта соединяемых элементов, и металл здесь до нужной температуры нагревается раньше, чем в других местах. Сам электрод нагревается незначительно вследствие высокой теплопроводности материала, из которого он сделан. Кроме того, электрод охлаждается водой. Электрический ток выключается в тот момент, когда достигается нужная для сварки температура нагрева детали. При этом происходит сварка на незначительном участке детали, называемом сварочной точкой.

Машина для роликовой (шовной) сварки служит для получения сплошных швов. Сварка осуществляется за счет использования тепла, образующегося при прохождении электрического тока через вращающиеся ролики и соединяемые детали. Ролики используются также для сжатия элементов и детали во время сварки. Ток к роликам подводится через вторичную обмотку трансформатора. Первичная обмотка трансформатора соединяется с электрической сетью. Машины для роликовой сварки имеют большое сходство с машинами для точечной сварки. Особенностью машин для роликовой сварки являются механизмы для передачи вращения роликам и сжатия свариваемых листов между ними.

В машине для стыковой сварки соединяемые элементы детали устанавливаются между медными губками, к которым подводится ток через вторичную обмотку трансформатора, первичная обмотка которого подключается в сеть.

Характеристики машин для контактной сварки приведены в табл. 3.20...3.23.

На рис. 3.26 приведена схема робота для контактной сварки в автомобильной промышленности. Робот имеет корпус I, руку II с запястьем III и может совершать вытягивание-втягивание (I), подъем-опускание (II), поворот (III), изгиб (IV) и вращение (V). Программу вводят в запоминающее устройство робота. Само программирование выполняется вручную оператором, который на первом экземпляре изделия с помощью пульта управления осуществляет необходимую последовательность перемещения сварочных клещей и выполняет сварку всех точек. В программе фиксируется положение каждой сварочной точки на рабочем пути. После этого производятся необходимые манипуляции в соответствии с заложенной программой.

В ремонтной практике нашла применение контактная наплавка (контактная приварка), когда на поверхность детали навивается проволока или лента, одновременно нагреваемая электрическим током. Для электроконтактной наплавки могут быть использованы установки УКН-8М, УКН-9М и других конструкций. Установка

Таблица 3.20. Машины для точечной сварки

Параметр	МТ-601	МТ-1206, МТ-1207	МТ-1606	МТПР-25	МТПР-50	МТПР-75
Номинальная толщина свариваемых листов, мм	2 + 2	—	—	1,5 + 1,5	2 + 2	2,5 + 2,5
Максимальная толщина свариваемых деталей на машине с асинхронным контактором, мм	—	2,5 + 2,5	4 + 4	—	—	—
Максимальная толщина деталей, свариваемых на машине с синхронным прерывателем, мм:						
из углеродистой стали	—	2+ 2	2,2 + 2,2	—	—	—
из коррозионностойкой стали	—	1 + 1	1,2 + 1,2	—	—	—
из алюминиевых сплавов	—	0,6 + 0,6	0,8 + 0,8	—	—	—
Производительность, точка/мин	10	70	70	70	60	50
Продолжительность сварки, с:						
с асинхронным контактором типа КИА	—	0,03...1,35 и 0,3...6,75	0,03...1,35 и 0,3...6,75	0,04...6,75	0,04...6,75	0,04...6,75
с синхронным прерывателем тока типа НИТ	—	0,02...0,38	0,02...0,38	—	—	—
Напряжение питающей сети (однофазной), В	220 или 380	220 или 380	220 или 380	220 или 380	220 или 380	220 или 380
Номинальная мощность машины при ПВ=20 %, кВ·А	10	75	100	25	50	75
Сила номинального сварочного тока, А	4000	12 500	16 000	8000	12 500	16 000
Число ступеней регулирования вторичного напряжения сварочного трансформатора	8	8	16	8	8	8
Пределы регулирования вторичного напряжения, В	1,5...2,9	2,95...5,9	3,2...6,4	2,7...3,4	2,37...4,75	3,12...6,24

Таблица 3.21. Подвесные машины для точечной сварки

Параметр	МТПП-75	МТП-1203	МТП-806	КТ-801	К-264
Номинальный сварочный ток, кА	8	12,5	8	8	6,3
Номинальная мощность, кВт	75	170	80	30	25
Наибольшая толщина свариваемых деталей, мм	1,5	4	1,5	2	1,2
Максимальное усилие сжатия электродов, Н	3200	5000	2500	2500	600
Максимальная производительность, точка/мин	120	130	120	170	40
Масса, кг	350	480	270	27	16

Таблица 3.22. Машины для шовной сварки

Характеристика	МШМ-25М-1	МШП-50-1	МШП-100
Номинальная мощность, кВ·А	25	50	100
Максимальная толщина листов свариваемой малоуглеродистой стали, мм	1+1	2+2	1,5+1,5
Скорость сварки, м/мин	0,75...3,0	0,8...4,7	0,8...4,4
Полезный вылет электрода, мм	400	400	800
Привод механизма сжатия	Педальный	От двигателя	—
Максимальное усилие на электродах, Н	2000	4000	8000
Сила максимального сварочного тока, А	10 000	12 500	16 000
Тип прерывателя	Механический	Контакторный	—
Габариты (без прерывателя), мм:			
длина	605	720	1000
ширина	1075	1152	2200
высота	1340	1235	2200
Масса (без предварителя), кг	375	650	1900

Таблица 3.23. Машины для контактнойстыковой сварки

Параметр	MC-501	MC-801	MC-301	MCP-100	MCMU-150
Номинальное сечение свариваемых деталей из углеродистой стали, мм	60	300	—	1000	1000...2000
Диаметр свариваемой стальной проволоки, мм	—	—	3...8	—	—
Производительность, сварка/ч	100	110	180	30	80
Напряжение питающей сети, В	220 или 380	220 или 380	220 или 380	220 или 380	—
Номинальная мощность машины, кВ·А	5 (при ПВ=20 %)	25 (при ПВ=20 %)	10 (при ПВ=8 %)	100 (при ПВ=20 %)	150 (при ПВ=20 %)
Номинальный сварочный ток, А	3200	8000	4000	16 000	20 000
Число ступеней регулирования	4	8	8	12	16

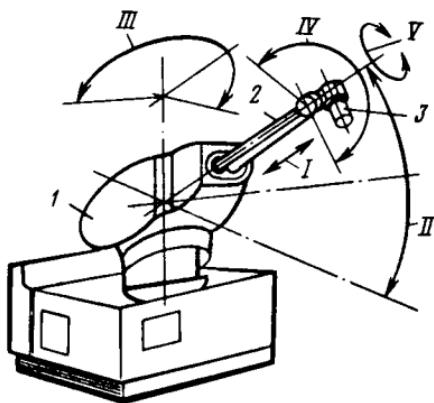


Рис. 3.26. Схема робота для контактной сварки

УКН-8М применяется для наплавки деталей простой формы (валов, осей), которые включают в цепь тока наплавки установкой их в контактном патроне.

#### Техническая характеристика установки УКН-8М

Максимальный диаметр наплавляемой детали, мм .....	300
Минимальный диаметр наплавляемой детали, мм .....	10
Максимальная толщина наплавляемого слоя металла, мм .....	2,0
Максимальная производительность при наплавке слоя толщиной 1,5 мм, см <sup>2</sup> /мин .....	250
Максимальная потребляемая мощность, кВт .....	75

Установка УКН-9 предназначена для наплавки деталей, существенный нагрев которых недопустим. Установка имеет оснастку для наплавки коленчатых валов. Наплавка деталей простой формы производится при помощи контактного патрона.

#### Техническая характеристика установки УКН-9

Высота центров базового станка (передняя и задняя бабки подняты), мм .....	700
Межцентровое расстояние, мм .....	1000
Толщина наплавляемого слоя металла, мм .....	0,2...2,0
Максимальная производительность при наплавке слоя металла толщиной 1 мм, см <sup>2</sup> /мин .....	250
Максимальная потребляемая мощность, кВт .....	75

### 3.8. Оборудование для пайки

Современное оборудование для пайки металлов включает паяльники, паяльные лампы, газовые и керосинокислородные горелки, инфракрасные излучатели, установки для механизированной газопламенной пайки, установки для пайки печатных плат, ванны с расплавленными припоеем и флюсом, электроконтактные машины, высокочастотные роторные автоматы, вакуумные печи, высокопроизводительные конвейерные печи с восстановительной атмосферой и др. Многие компоненты из этого оборудования используются для изготовления деталей радиоэлектронной техники, изделий массового потребления (например, бытовых холодильников), теплообменников, элементов летательных аппаратов и т. д. В автремонтном производстве пайка пока нашла сравнительно ограниченное применение и осуществляется при помощи паяльников, газовых и керосинокислородных горелок и, в отдельных случаях, при помощи механизированных установок для газопламенной пайки, а также контактных машин при пайке твердосплавного инструмента.

Паяльник представляет собой заостренный стержень прямоугольного или круглого сечения, прикрепленный к стальной державке с деревянной рукояткой. Паяльники применяются для нагревания припоя и деталей при пайке низкотемпературными припоями. Стержень ("щеки") паяльника должен обладать высокой теплопроводностью, чтобы тепло его быстро передавалось нагреваемому месту. По этой причине его изготавливают из красной меди (преимущественно из меди марки М1, содержащей не более 0,1 % примесей). Нагрев паяльника производится периодически или непрерывно. Для периодического нагрева паяльника используются пламенные или электрические печи, горны, паяльная лампа, ацетилено-кислородная горелка и т. д. Непрерывный нагрев паяльника осуществляется пламенем горелки, прикрепленной к паяльнику, или электрическим током. В горелку поступает кислородно-ацетиленовая смесь, которая на выходе из нее поджигается. Образовавшееся при этом пламя нагревает рабочую часть паяльника. Температура рабочей части паяльника регулируется расходом газа.

Существуют также паяльники непрерывного действия, обогреваемые горючей жидкостью, например бензином. Бензиновые паяльники имеют резервуар с горелкой. Через кран в горелку поступает воздух, который создает в нем повышенное давление. При открытии запорного крана распыленный бензин через форсунку выходит из горелки, где он поджигается. Образовавшееся пламя нагревает рабочую часть паяльника. В конструкции бензинового паяльника предусмотрены также насос, заливная горловина и чашечка для бензина, при сгорании которого происходит испарение бензина, выходящего через форсунку. Расход бензина при пайке бензиновым паяльником составляет 0,16...0,20 дм<sup>3</sup>/ч.

Паяльники с непрерывным нагревом применяют для громоздких деталей, где при пайке требуется значительный подвод тепла. Электрические паяльники применяются преимущественно для монтажных работ и ремонта распаявшихся соединений электропроводов электрорадиоаппаратуры. Нагревательный элемент электрического паяльника представляет собой никромовую проволоку, намотанную на медный стержень последнего. Обмотка нагревательного элемента изолирована от медного стержня слоем асбеста, слюды или стеклоткани. Иногда никромовая спираль наматывается на керамическую катушку, надеваемую на стержень. Паяльник соединяется с источником питания шнуром длиной 1,5...2,0 м. Шнур снабжается штепсельной вилкой. Для обеспечения интенсивного подвода тепла к месту пайки паяльник должен иметь достаточно мощный нагревательный элемент и массу стержня. Мощность паяльника выбирается в зависимости от температуры плавления припоя и размеров паяемых деталей. Обычно применяют паяльники мощностью 10, 15, 40, 60, 80, 120, 220 Вт и выше. Например, при пайке проводов диаметром до 1 мм применяют паяльники мощностью 60...80 Вт с диаметром стержня 10...12 мм. Пайка толстых проводов диаметром 5...7 мм, а также крупногабаритных деталей производится паяльниками мощностью 300...400 Вт с массивным стержнем. Питание нагревательных элементов паяльников током производится от осветительной сети или понижающего трансформатора. В производственных условиях следует избегать питания паяльника от осветительной сети, так как в случае пробоя изоляции между нагревателем и стержнем рабочий может попасть под опасное для жизни напряжение. Применение понижающего трансформатора напряжением 18...36 В обеспечивает безотказную работу соответствующего паяльника.

Пайка деталей из алюминия и его сплавов низкотемпературными припоями производится ультразвуковыми паяльниками. Ультразвуковая пайка основана на явлении кавитации жидкости при возникновении в ней ультразвуковых колебаний. Ультразвуковой паяльник (рис. 3.27) принципиально отличается от обычного электрического паяльника наличием магнитострикционного излучателя 1 ультразвуковых колебаний, прикрепленного к головке паяльника

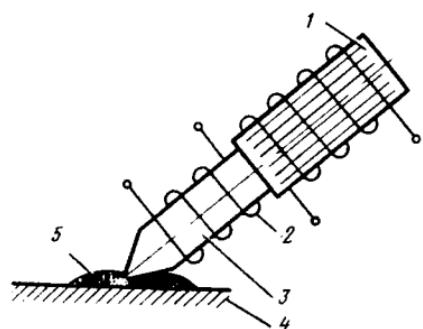


Рис. 3.27. Ультразвуковой паяльник

Таблица 3.24. Ультразвуковые паяльники

Параметр	УП-21	УП-42
Рабочая частота, кГц	20	23...26
Мощность, Вт:		
генератора	40	30
нагревателя	100	170
Напряжение, В	220	220
Габаритные размеры, мм:		
генератора	330x310x250	250x265x180
паяльника	300x170x50	260x150x45

3. Излучатель представляет пакет никелевых пластин с обмоткой, которая питается от генератора ультразвуковой частоты. Головка паяльника нагревается от источника тока через обмотку 2. При включении генератора в магнитостриктере возникают ультразвуковые колебания частотой 20...30 кГц, передаваемые головке паяльника, рабочая часть которого погружена в расплавленный припой 4 на поверхности паяемой детали 5. Под действием ультразвуковых колебаний в расплавленном припое возникают кавитационные пузырьки, которые располагаются обычно на границах между припосом и твердым металлом. При захлопывании кавитационных пузырьков возникают импульсные давления, разрушающие окисную плёнку металла. Прочность основного металла при температурах пайки низкотемпературными припоями 200...300 °С значительно выше прочности окисной пленки. Поэтому при частотах колебаний, применяемых в ультразвуковых паяльниках, основной металл не претерпевает каких-либо изменений. Однако при повышении температуры в тех участках, где разрушается окисная пленка, происходит растворение основного металла в припое. Следует отметить, что эффективность магнитостриктора медленно уменьшается по мере повышения ее температуры. Вследствие этого максимальная температура применения вибропреобразователей не превышает 400 °С. Промышленность выпускает ультразвуковые паяльники УП-21 и УП-42, которые работают на частоте 20...26 кГц от ультразвукового генератора (табл. 3.24).

Высокотемпературная пайка деталей обычно производится пламенем кислородно-ацетиленовой горелки или горелки, где используются газы — заменители ацетилена. Используется также для пайки керосинокислородная горелка. Для пайки могут быть использованы обычные сварочные горелки. Однако более эффективны горелки с многоглавленным мундштуком, обеспечивающим равномерный нагрев детали (рис. 3.28). Мундштук, ввертываемый в наконечник горелки, имеет множество выходных отверстий, создающих многоглавленный эффект. При использовании в качестве горючего керосина в горелку керосин поступает из бачка. Одновре-

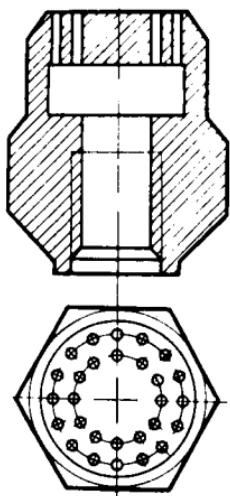


Рис. 3.28. Многопламенный мундштук сварочной горелки

вичком горелки, при вращении которого кислородная трубка перемещается, изменяя зазор между торцами инжектора и седлом смесительной камеры. Пламя керосинокислородной горелки по строению и форме ничем существенным не отличается от ацетиленокислородного. Для получения нормального для пайки пламени на 1 кг керосина требуется  $1,5 \text{ м}^3$  кислорода. Максимальная температура пламени  $2300^\circ\text{C}$ . Применение кислородно-керосиновой горелки с многопламенным мундштуком обеспечивает равномерный и интенсивный нагрев деталей при пайке.

Для газопламенной пайки в условиях ремонта широко используется паяльная лампа. Тепло, необходимое для пайки, в паяльных лампах получается за счет сгорания смеси воздуха с парами горючих жидкостей. Паяльная лампа состоит из резервуара для горючего, насоса для накачивания воздуха в резервуар, заливной горловины, горелки и чашечки, расположенной под горелкой для заливки горючего при разжигании лампы. В качестве горючего в паяльных лампах используют керосин и иногда бензин. Бензин взрывоопаснее керосина. Поэтому бензиновые лампы имеют более массивный корпус, рассчитанный на повышенное давление, и короткую горелку с коротким змеевиком. Паяльная лампа может быть использована для пайки припоям с температурой плавления  $900\ldots 1000^\circ\text{C}$ .

При работе с паяльной лампой требуются особая осторожность и соблюдение правил безопасной работы.

1. Для заправки паяльной лампы горючим рекомендуется ставить ее в ванночку, чтобы предотвратить обливание пола или рабочего стола горючим.
2. Перед заправкой горючее следует профильтровать.
3. Керосин в лампу нужно заливать на  $3/4$  емкости ее резервуара, после чего в резервуар накачивать воздух. Для обеспечения нормальной работы лампы резервуар

менно из баллона через редуктор подается кислород. Шланги служат для подачи кислорода и керосина в горелку. Сопло горелки служит для подогрева и испарения керосина в смесителе. На выходе из горелки смесь паров керосина с кислородом сжигается, и образовавшееся при этом пламя используется для пайки. Бачок для керосина представляет собой стальной резервуар с насосом и манометром. При накачивании насоса в бачке создается давление  $0,3\ldots 0,7 \text{ МПа}$ , под действием которого керосин поступает в горелку. Дозировка подачи горючего осуществляется махови-

ее не должен иметь утечку воздуха или керосина в прокладке заливной горловины, в насосе или ниппельных соединениях, а также в запорном кране. При утечке воздуха образуются пузырьки или слышится легкое шипение. Иногда для определения утечки воздуха места, где возможна утечка, смазывают мыльной водой. Утечку воздуха устраниют сменой прокладки заливной горловины, заменой манжеты насоса новой, предварительно размоченной в керосине и смазанной вазелином, а также подтяжкой гаек ниппельного соединения и сальника запорного крана.

4. Разжигать паяльную лампу следует в специально отведенном месте.

5. Нельзя допускать перегрева паяльной лампы, так как в этом случае повышается давление в резервуаре, что может привести к взрыву. Перегрев лампы происходит при длительной работе. Для охлаждения перегретой лампы ее ставят в сосуд с холодной водой, которую меняют по мере нагревания.

6. При объятии лампы пламенем нужно быстро вынуть воздушный винт и снять давление в резервуаре. После этого погасить пламя, накрыв лампу брезентом или при помощи других подручных средств.

Газопламенные горелки дают пламя, которое нагревают значительный участок паяемой детали (60...80 мм). Во многих случаях это нежелательно, особенно при пайке металлов, чувствительных к температурному воздействию. С другой стороны, при пайке массивных деталей из материалов с большой теплопроводностью, например алюминиевых головок цилиндров, требуется длительное время до плавления припоя. В таких случаях целесообразно нагревать всю деталь в печи или использовать инфракрасные излучатели, позволяющие сравнительно быстро достичь нужную температуру. Инфракрасные излучатели изготавливаются из оgneупорных неметаллических материалов, содержащих компоненты, обладающие каталитическими свойствами. Поэтому горение в них происходит более интенсивно, без пламени, но с инфракрасным излучением. Для ускорения процесса пайки иногда производят предварительный нагрев массивной детали несколькими газовыми горелками, образующими специальный сектор нагрева.

Процесс пайки может быть успешно механизирован применительно к условиям авторемонтного производства. На рис. 3.29 приведена роторная установка для восстановления пайкой деталей системы охлаждения двигателя автомобиля. Установка представляет собой комбинированное оборудование, в состав которого входят: поворотный стол 2 с шестью рабочими зонами 5; газовые горелки или инфракрасные излучатели 1, унифицированные согласно ТУ 51-02-136-78; универсальные кассеты для крепления деталей;

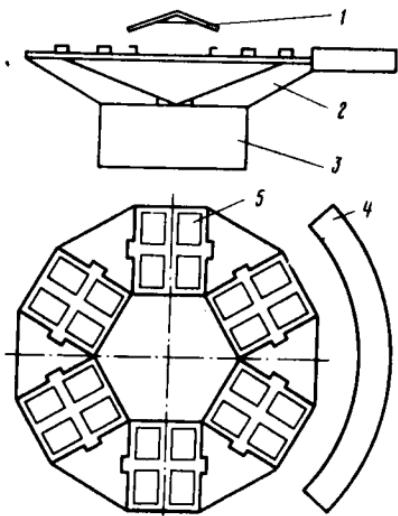


Рис. 3.29. Роторная установка для восстановления пайкой деталей системы охлаждения

электропривод 3 поворотного стола и зона предварительного нагрева 4 массивных деталей. В рабочих зонах оператор осуществляет сборку кассет с паяемыми деталями. Для каждого вида деталей предназначена своя кассета, что позволяет делать установку универсальной путем замены кассет с соответствующими деталями, включая головку блока цилиндров. Подготовленные для пайки детали проходят зону 5 предварительного нагрева (для головок блока цилиндров), далее детали поступают в зону пайки. Скорость поворота стола регламентирует время предварительного нагрева и пайки. После пайки кассета снимается и на ее место устанавливается новая кассета с паяемыми деталями. Максимальная производительность установки для механизированной пайки 40 деталей в час.

## Г л а в а 4. ДЕФЕКТЫ, УСТРАНЯЕМЫЕ СВАРКОЙ, НАПЛАВКОЙ И ПАЙКОЙ

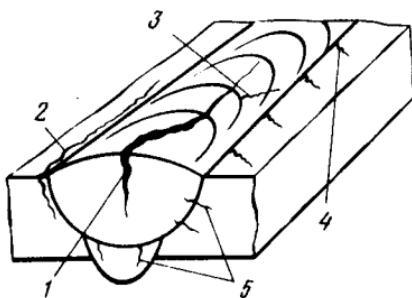
### 4.1. Типичные дефекты сварных швов

В зависимости от причины возникновения дефекты сварных швов можно разделить на две группы: дефекты, вызванные металлургическими, термическими и гидродинамическими явлениями, происходящими в процессе образования шва; дефекты, образуемые при формировании шва. К первой группе относятся горячие (криSTALLИЗАЦИОННЫЕ) и холодные трещины в металле шва и околошовной зоне, поры, шлаковые включения, флокены, зона несплавления, отклонения от необходимых прочностных и пластических свойств металла шва и сварного соединения, а также неблагоприятные изменения свойств металла околошовной зоны. Ко второй группе дефектов относятся непровары, подрезы, наплывы, прожоги, кратеры, несимметричность расположения угловых швов, уменьшение размеров швов и др.

*Горячие трещины* в сварных швах возникают, когда металл находится в твердожидком состоянии и при высоких температурах в твердом состоянии на этапе преимущественного развития вязкопластической деформации. Топография горячих трещин в сварных соединениях приведена на рис. 4.1. Возникновение горячих трещин связано с охрупчиванием металла при высокотемпературном нагреве. Температурный интервал хрупкости (ТИХ) зависит от режима сварки (рис. 4.2). На рис. 4.2, а приведена схема растяжения образца в процессе сварки, на рис. 4.2, б — график для определения нижней и верхней границ температурного интервала хрупкости по длине трещины и распределению температуры  $T$  по длине шва;  $\delta$  — огибающая концов трещин, описывающая распределение пластичности по длине шва;  $\Delta_{\min}$  — минимальная глубина

Рис. 4.1. Горячие трещины в сварных соединениях:

1, 2 — продольные трещины в шве и околошовной зоне; 3, 4 — поперечные трещины в шве и околошовной зоне; 5 — поперечные трещины по толщине свариваемого металла



трещины;  $T_n$  и  $T_v$  — соответственно нижняя и верхняя температурные точки начала и конца образования трещин, определяющие температурный интервал хрупкости. Выше  $T_v$  металл находится в жидкотвердом состоянии и имеет весьма высокую пластичность в результате циркуляции жидкой фазы между кристаллами; прочность металла здесь близка к нулю. Ниже  $T_v$  в шве кристаллы образуют каркас, и прочность шва повышается, а пластичность понижается. Это приводит к закаливанию кристаллов при деформировании в процессе охлаждения и хрупкому разрушению металла по тонким жидким пленкам при охлаждении до  $T_n$ . Горячие трещины возникают часто при наличии в металле шва примеси серы. Сера образует с железом эвтектику с температурой плавления  $1200^{\circ}\text{C}$ . Поскольку кристаллизация металла шва начинается с дна сварочной ванны, жидккая фаза по мере образования кристаллитов перегоняется к поверхности. Деформация свариваемого изделия при охлаждении до температуры около  $1200^{\circ}\text{C}$  приводит к образованию трещин.

Возможно возникновение горячих трещин в твердом состоянии в однофазных сплавах с высокой диффузионной подвижностью атомов основы. После затвердевания в них начинается процесс миграции границ зерен из зон срастания столбчатых кристаллитов в более равновесные положения, что приводит к образованию новой, обогащенной примесями сетки границ зерен, пересекающих объемы кристаллитов. Продолжающаяся пластическая деформация металла приводит к выходу дислокаций на границы зерен и за-

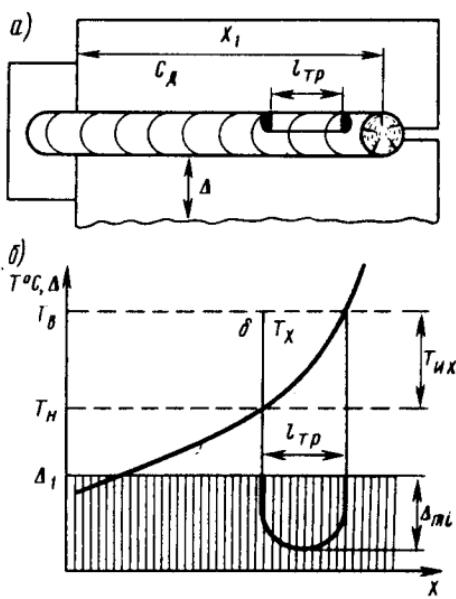


Рис. 4.2. Схема определения границ температурного интервала хрупкости (ТИХ)

рождению трещин на этих границах. Указанные процессы способствуют снижению пластичности, появлению температурного интервала хрупкости ниже температуры солидуса. По экспериментальным данным такие трещины возникают при температурах (0,6...0,7)  $T_{пл}$ , где  $T_{пл}$  — температура плавления металла шва. Ниже этой температуры снижается диффузионная подвижность вакансий и прекращается развитие микрополостей на границах.

Возможность появления горячих трещин определяется экспериментальными методами или приближенно расчетом вычисления углеродного эквивалента по химическому составу металла шва. Горячие трещины иногда возникают в окколошовной зоне при температурах ниже точки плавления основного металла, когда на границах зерен собираются поверхностно-активные элементы, в том числе и вредные примеси. При этом на межзеренных границах образуются легкоплавкие включения и прослойки, которые являются очагами возникновения трещин. Под воздействием процесса сварки неметаллические включения основного металла также претерпевают существенные изменения, сопровождающиеся образованием опасных в отношении возникновения горячих трещин пленкообразных включений сульфидов и фосфидов. Снижение опасности образования горячих трещин может быть достигнуто рациональным легированием стали, использованием способов и режимов сварки с минимальным выделением тепла.

*Холодные трещины* — локальное разрушение металла в процессе межкристаллитных и структурных превращений в твердом состоянии. Формально холодные трещины отличаются от горячих тем, что они обнаруживаются при визуальном наблюдении, как правило, после полного охлаждения сварного соединения блестящим изломом без следов высокотемпературного охлаждения. Они могут появиться в металле шва или окколошовной зоне при сварке перлитных или мартенситных сталей вследствие мартенситного превращения аустенита, насыщения водородом, скопления неметаллических включений и в ряде других случаев. К холодным трещинам относятся также "отколы" и "отрывы".

Холодные трещины образуются непосредственно после окончания сварки при охлаждении ниже 200...100 °С или в послесварочный период в течение нескольких суток, а также если металл претерпевает в одной из зон закалку. Минимальная доля мартенсита в структуре перлитных сталей, при которой возможно возникновение холодных трещин, ориентировано составляет 25...35 %. Холодные трещины состоят из очагов разрушения и участка развития трещин. На участке очага разрушение происходит по границам зерен, а на участке развития трещины имеют часто смешанный характер — проходят как по границам, так и по телу зерен и сопровождаются заметной пластической деформацией окружающего металла. Возникновение очагов трещин по границам зерен является следст-

вием высокой концентрации дефектов кристаллической решетки и скопления атомов примесей, в том числе углерода и водорода.

Оценка сопротивляемости стали к образованию холодных трещин при сварке производится косвенными и прямыми методами. Косвенный метод основан на расчете эквивалента углерода  $C_3$  по химическому составу или по химическому составу и жесткости соединения. Стали с  $C_3 < 0,45$  не склонны к холодным трещинам при сварке. При  $C_3 > 0,45$  возможно образование трещин в определенных условиях. Учет жесткости соединения производится по методике Международного института сварки (МИС) путем наплавки сварочных материалов на образцы установленных размеров. Прямой метод оценки склонности сталей к образованию холодных трещин включает сварку лабораторных технологических проб, испытания сварных образцов на замедленное разрушение, сопоставление действительного показателя сопротивляемости стали трещинам с допустимым для конструкции данной категории.

Для повышения сопротивляемости сталей образованию холодных трещин существуют различные способы.

1. Влияние на структуру металла сварных соединений тепловым воздействием — предварительным подогревом, сопутствующим подогревом и последующим отпуском.

2. Предварительная термическая обработка стали для получения в исходной структуре устойчивых коагулированных структур легированного цементита и специальных карбидов. Такой термической обработкой является отжиг на зернистый перлит при  $T = A_{\text{ci}} - 25$  в течение 4...16 ч в зависимости от содержания углерода и карбиообразующих элементов.

3. Применение при сварке материалов с более низкой температурой кристаллизации металла шва. Рекомендуется выбирать  $T = T_{\text{л. о. м}} - T_{\text{с. м. ш}} = 30$  °C, где  $T_{\text{л. о. м}}$  и  $T_{\text{с. м. ш}}$  — температуры ликвидуса основного металла и солидуса металла шва соответственно. При таком соотношении отрицательное действие перегрева не проявляется и обеспечивается высокая сопротивляемость околосшовной зоны трещинам.

4. Снижение содержания водорода в направленном металле прокалкой электродов при 450...600 °C и флюсов при 500...600 °C в течение не менее 3 ч, осушением защитных газов, тщательной очисткой свариваемых кромок и присадочной проволоки от жиров, ржавчины, конденсированной влаги, замедлением охлаждения сварного соединения сопутствующим подогревом и последующим отпуском при 200...300 °C.

5. Снижение уровня сварочных напряжений прокаткой, опрессовкой шва и наплавленного металла и другими технологическими способами.

Холодные и горячие трещины при ремонте сваркой автомобильных конструкций, изготовленных из низко- и среднеуглеродистых сталей, появляются редко. Более склонны к трещинообразованию детали, восстанавливаемые наплавкой материалов сложного химического состава. Поэтому в таких случаях следует особенно строго соблюдать установленный технологический режим.

Поры в сварных швах возникают при первичной кристаллизации расплавленного металла в результате выделения газов и имеют округлую, вытянутую или более сложную форму и располагаются по оси шва или по его сечению или вблизи от границы сплав-

лсения. Поры могут выходить (свищи) или не выходить на поверхность шва. Основными газами, образующими поры, являются водород, азот и окись углерода. Если образование этих газов происходит, когда металл в сварочной ванне находится в жидком состоянии, то они успевают выделиться из него в виде пузырьков. Поры появляются в тех случаях, когда металл начинает кристаллизоваться, и газы остаются внутри сварного шва.

Окись углерода образуется при сварке вследствие недостаточной раскисленности металла сварочной ванны. Растворенные в жидкой стали углерод и кислород вступают в реакцию, и выделившаяся при этом окись углерода может давать начало зародышам газовой фазы или присоединяться к пузырькам других газов. Для зарождения пузырьков окиси углерода необходим определенный избыток углерода и кислорода.

Водород в дуговое пространство, а затем в сварной шов попадает из ржавчины, влаги и других загрязнений свариваемых кромок основного материала и присадочной проволоки, а также из электродных покрытий или из защитно-восстановительных газов. Уменьшение водорода достигается хорошей подготовкой детали к сварке, прокаливанием электрода, введением в состав флюсов или электродных покрытий фторсодержащих компонентов, образующих фтористый водород, и другими методами. Уменьшение растворенного водорода в металле достигается другими технологическими способами: применением постоянного тока, соответствующих сварочных материалов, увеличением времени удаления водорода из металлической ванны (снижение скорости сварки).

Азот в шов может попасть из окружающей атмосферы. Его связывают введением в шов стойких нитридообразующих металлов.

Пористость металла шва в реальных условиях обычно вызывается совместным действием нескольких газов.

Заметное влияние на качество сварных швов оказывают *неметаллические включения* — оксидные, сульфидные, фосфорсодержащие, нитридные и шлаковые.

Оксидные включения могут содержать до 0,1 % кислорода в зависимости от химического состава металла шва. При малом содержании кремния и марганца в шве преобладает закись железа, а при повышении содержания последних — окись кремния и закись марганца, причем чем больше кремния, тем больше и его окисла. При введении в качестве раскислителя алюминия, восстанавливавшего окислы кремния и марганца, общее количество оксидов уменьшается и появляется герцинит  $\text{FeO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ . В дальнейшем может образоваться глинозем  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , если увеличивается количество вводимого в шов алюминия. При сварке и наплавке среднеуглеродистых сталей хромосодержащими присадочными материалами в шве возможно образование включения хромита  $\text{FeO}\cdot\text{Cr}_2\text{O}_3$ .

При сварке под флюсом, содержащим кремний и марганец, включения содержат преимущественно кремнистые и железомар-

ганцовистые силикаты, представляющие собой округлые прозрачные оксиды размером 0,002...0,020 мм с множеством силикатных пленок, расположенных между кристаллами металла шва. При сварке в безмарганцовистых высококремнистых флюсах наблюдаются округлые бесцветные выделения стекловидного кремнезема и межкристаллитные силикатные пленки. В сварных швах, полученных с использованием низкокремнистых и бескремнистых флюсов, основную массу включений составляют алюмосиликаты и шпинели. При сварке в защитных газах вид и состав оксидных пленок зависят от степени очистки газа от примесей кислорода и влаги, а также химического состава металла шва. В углеродистых и низколегированных стальях оксидные включения и силикатные пленки снижают ударную вязкость и хладостойкость сварного соединения.

Сульфидные включения в металле шва могут образоваться при содержании в нем серы 0,02...0,40 %. Размер включений возрастает от границы сплавления металла шва с основным металлом к середине шва. Как указывалось раньше, сульфидные включения являются одной из причин образования горячих трещин в шве.

Фосфорсодержащие включения в виде фосфидов, фосфидных эвтектик и фосфатов образуются в аустенитной структуре вследствие низкой растворимости фосфора в аустените. В швах низкоуглеродистых и низколегированных сталей фосфор в основном находится в виде твердого раствора, а не в виде включений. Фосфор наряду с образованием холодных трещин ухудшает механические свойства швов при нормальной и низких температурах.

Нитридные включения в металле шва могут возникнуть лишь при присутствии в сварочной ванне сильных нитридообразующих элементов (титана, циркония), поэтому в авторсмонтном производстве практически не встречаются.

В пустотах в металле шва, например в непроварах, могут образоваться шлаковые включения, имеющие округлые или вытянутые формы и расположенные на границе сплавления металла шва с основным металлом. Для каждого вида продукции устанавливается допустимое значение шлаковых включений. При превышении этого значения участки шва с шлаковыми включениями вырубаются и завариваются заново.

При дуговой сварке иногда образуется зона, характеризуемая отсутствием сплавления между основным металлом и металлом сварочной ванны. *Несплавление* обычно имеет место при повышенных скоростях сварки. Несплавление наблюдается, как правило, по всему периметру шва при оплавлении кромок основного металла и достаточном объеме металла сварочной ванны и тесно связано с формированием сварочной ванны. Начальной стадией дефекта являются глубокие подрезы по границе шва, конечной — отсутствие сплавления практически по всему периметру шва. Формирование сварочной ванны связано с образованием канавки в основном металле с последующим заполнением ее металлом сварочной ванны.

Если пленка расплавленного металла на поверхности канавки к моменту заполнения жидким металлом успела затвердеть, а запас тепла расплавленного металла ванны недостаточен для повторного расплавления поверхности свариваемой кромки основного металла, то образуется зона несплавления.

Следует отличать несплавление от *непровара*. Непровар является местным отсутствием сплавления между свариваемыми кромками или между металлом шва и основным металлом. При этом основной металл в отдельных местах может и не расплавляться или металл сварочной ванны может не вступать в контакт с основным из-за плохой очистки. Непровар может возникнуть также вследствие неправильного выбора режима сварки (уменьшения силы тока, когда тепловой энергии недостаточно для осуществления достаточной глубины проплавления); неточного направления конца электрода по месту сопряжения кромок; неправильного возбуждения дуги после ее перерыва, вызванного сменой электродов и сварочной проволоки; наклона изделия, приводящего к стеканию жидкого металла до обеспечения сплавления его с холодным основным металлом, и в ряде других случаев.

При сварке под флюсом на больших скоростях могут возникнуть так называемые *утяжины*, представляющие собой расположенные друг от друга на расстояниях (примерно равных длине сварочной ванны) усадочные рыхлости или трещины, распределяющие на 2...3 мм в глубь шва и на 5...6 мм вдоль его оси. Такие швы следует вырубить и повторить сварку.

Нередко при сварке возникают подрезы, наплавы, прожоги швов. *Подрезы* — местные уменьшения толщины основного металла у границы шва, приводящие к резкой концентрации напряжений, особенно в тех случаях, когда они расположены перпендикулярно к направлению главных напряжений, действующих на сварное соединение. Наиболее часто подрезы возникают при сварке угловых швов. Подрез, как правило, является следствием недостаточно точного ведения электрода по оси соединения, когда проплавление электродом обеих кромок происходит неравномерно. Подрезы глубиной более 1...2 мм следует заваривать. Подрезы менее 1 мм можно сглаживать механической обработкой.

*Наплывы* — натекание металла шва на поверхность основного металла без сплавления с ним — наблюдаются преимущественно при стыковой сварке без разделки кромок. Они могут возникнуть при неправильном выборе режима сварки или наличии на свариваемых кромках толстого слоя окалины. Наплывы могут служить концентраторами напряжений и очагом коррозионных разрушений вследствие возможности скопления конденсированной влаги. Наплывы, хотя и являются наружными дефектами, трудно обнаруживаются простым внешним осмотром сварного шва.

*Прожоги* — полости в шве, образуемые в результате вытекания расплавленного металла сварной ванны и возникающие при избы-

точной силе тока, увеличении зазора между свариваемыми кромками или наклоне электрода. Это недопустимый дефект сварного шва и подлежит заварке после зачистки.

В отличие от прожогов ожоги — небольшие участки основного металла, подвергавшиеся расплавлению вне сварного шва. Обычно ожоги возникают в результате возбуждения дуги с целью освобождения конца электрода от обмазки, при случайном контакте электрода с поверхностью, находящейся под напряжением. Участки с ожогами обладают пониженной пластичностью.

## 4.2. Влияние технологических дефектов на качество сварных соединений

Технологические дефекты — несплавления, непровары, поры, подрезы и т. д. — существенно снижают работоспособность сварных соединений. Эти дефекты часто становятся очагами хрупких трещин, возникающих при низких уровнях рабочих напряжений ( $\sigma_{разр} < \sigma_t$ ), снижают предел выносливости сварных соединений. Считается, что дефекты ослабляют рабочее сечение шва и вызывают концентрацию напряжений, а механические свойства в зоне дефектов изменяются незначительно. Однако влияния технологических дефектов сильно сказываются при низких температурах. Если в бездефектном шве охрупчивание, следовательно, появление трещин возможно при температурах, близких к  $-90^{\circ}\text{C}$ , то шов, имеющий даже незначительные дефекты, разрушается при температурах  $-(25\dots30)^{\circ}\text{C}$ .

На охрупчивание сварного шва оказывает влияние подготовка, а также способ выполнения процесса сварки, например прокаливание электрода, сварка напроход или секционная (обратноступенчатая) при наличии в полученном шве непровара. Сталь, сваренная прокаленным электродом УОНИ-13/55 и имеющая непровар, при температурах  $-(30\dots70)^{\circ}\text{C}$  имеет предел текучести не ниже 500 МПа. При сварке непрокаленным электродом резкое снижение  $\sigma_t$  начинается уже при температурах  $-(10\dots15)^{\circ}\text{C}$ . Такое снижение прочности связано с насыщением шва водородом вследствие разложения паров воды, содержащихся в непрокаленном электродном покрытии. При сварке длинных швов в листовом материале для снижения деформации изделия, как рекомендовалось ранее, целесообразно применение обратноступенчатой сварки (см. рис. 1.7). При этом шов не должен иметь непроваров.

Концентрация напряжений в сварных соединениях при наличии непроваров, надрезов и других дефектов значительно снижает их усталостную прочность. При этом чем больше размер дефекта, например глубины непровара, тем ниже предел выносливости. Составляя всего 10 % толщины сечения, непровар может понизить усталостную прочность соединения наполовину, а при глубоких не-

проварах, занимающих 40...50 % толщины шва, предел выносливости для стали может снизиться со 150 до 60 МПа. Степень влияния подрезов влияет на усталостную прочность сварного шва, зависит от их глубины и вида соединения. При стыковых соединениях под влиянием изменения глубины подреза с 1,0...1,5 мм до 2,0...2,5 мм предел выносливости снижается дополнительно на 15 %. Поры становятся очагами усталостных разрушений чаще всего в угловых и стыковых соединениях, а также в поперечных стыках на участках высоких растягивающих остаточных напряжений. Размеры пор меньше влияют, чем место их нахождения, — более опасны внутренние поры, чем выходящие на поверхность. Поры в сварных швах не являются столь серьезным дефектом, как трещины. Тем не менее наличие пор при всех условиях нежелательно. Особенно не допускаются поры при восстановлении изношенных поверхностей наплавкой.

#### 4.3. Дефекты паяных соединений

Основными дефектами паяных соединений являются: плохое смачивание паяемого металла припоеем, плохое затекание его в зазор между паяемыми поверхностями, шлаковые включения в шве, пористость шва, отсутствие галтели у кромок паяных деталей, наплыты припоя, трещины в шве, перегрев соединения и структурные изменения материалов.

При плохом смачивании основного металла припоеем последний свертывается в шарик и не растекается вследствие наличия окисной пленки на поверхности спая из-за плохой зачистки перед пайкой, недостаточной активности флюса или несоблюдения установленного режима технологического процесса (низкая температура пайки, мал нагрев). Плохое смачивание не дает паяного шва или дает шов с весьма низкой прочностью. Плохое затекание расплавленного припоя в зазор между паяемыми кромками при хорошем смачивании припоеем основного металла происходит, главным образом, при плохой подготовке деталей к пайке: поверхности не защищены от окислов, зазор между паяемыми деталями слишком мал или слишком велик или сборка выполнена с перекосом. Когда в отверстии паяемой трубчатой детали с одной стороны образуется малый, а с другой очень большой зазор, это приводит к нарушению условий капиллярности.

Шлаковые включения в шве образуются, если припой плавится раньше флюса, который не вытесняется из зазора расплавленным припоеем. Оставшийся в шве флюс снижает прочность соединения и может служить источником коррозии. Поры в шве образуются при пайке вследствие растворения газов расплавленным припоеем или при пайке припоями, содержащими легкоиспаряемые компоненты. Пористость снижает прочность паяного соединения. Отсутствие

галтели в кромках соединений, паянных внахлестку, происходит из-за излишне высокой температуры и при продолжительном нагреве или недостаточном количестве припоя. При высокой температуре пайки и длительном нагреве припой растекается по поверхности изделия, уменьшая галтели, воспринимающие часть нагрузки, действующей на конструкцию, поэтому отсутствие их снижает прочность соединения. Наплывы припоя на внешней стороне паяемых поверхностей возникают при неравномерном нагреве шва. Если одна из паяемых деталей перегрета, то припой будет растекаться по ней раньше, чем заполнит зазор и образует галтели. Наплывы также снижают качество шва.

Трешины в паяном шве появляются при быстром охлаждении после пайки, значительной разнице в коэффициентах теплового расширения основного металла и припоя и недостаточной пластичности шва. Паяное соединение с трещиной бракуется. При завышении температуры пайки и длительном нагреве изменяется структура материала изделия и химический состав припоя, если последний содержит легкоиспаряемые компоненты, такие, как, например, цинк. Так, при пайке медью стали незначительно удлинение выдержки при температуре пайки (1100...1200 °C) приводит к заметному структурному изменению паяемого материала, что может оказаться на прочность детали. При пайке медно-цинковыми припоями, содержащими цинк, при температурах 900...1000 °C происходит интенсивное выгорание цинка. Продолжительный нагрев при этой температуре увеличивает выгорание цинка, входящего в состав припоя. Таким образом, перегрев детали при пайке также снижает ее прочность.

Дефекты паяных соединений во многих случаях могут быть исправлены. Для этого следует нагреть шов до температуры плавления припоя и распаять, а затем, устранив причины, вызвавшие брак, спаять его вновь.

#### 4.4. Дефекты деталей, устранимые сваркой, наплавкой и пайкой

Сварка, наплавка и пайка являются наиболее распространенными процессами, используемыми при ремонте деталей автомобиля. Ниже приводятся часто встречающиеся дефекты элементов автомобиля, устранимые сваркой, наплавкой и пайкой. Способ устранения этих дефектов в каждом конкретном случае рассматривается в дальнейшем в соответствующих главах.

**Блок цилиндров** (рис. 4.3): трещины 1; обломы 2; пробоины 3; износ верхнего посадочного отверстия под гильзу 4; износ нижнего посадочного отверстия 5; износ гнезд вкладышей коренных подшипников 6; износ поверхности первой коренной опоры 7.

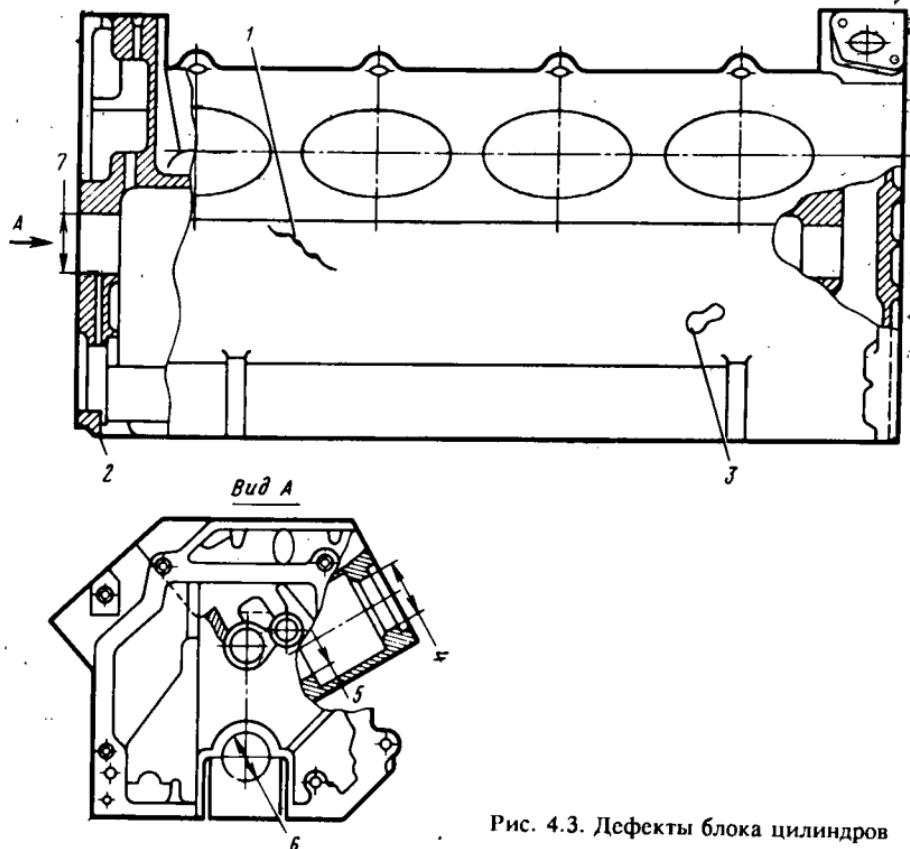


Рис. 4.3. Дефекты блока цилиндров

**Головка блока цилиндров** (рис. 4.4): пробоины, прогар и трещины 1 на стенках камеры сгорания; разрушение перемычки между гнездами на рубашке охлаждения; трещины 2 на рубашке охлаждения; трещины и коробление поверхности прилегания с блоком цилиндров; коррозионно-эрзационные повреждения впускных-выпускных каналов системы охлаждения на привалочной плоскости головки блока (КамАЗ-740).

**Коленчатый вал** (рис. 4.5): износ наружной поверхности и биение торцовой поверхности фланца 1; износ отверстия под подшипник 2; износ коренных и шатунных шеек 3; износ шейки под шестерню и ступицу шкива 4; износ шпоночной канавки по ширине 5.

**Шатун:** износ торцов кривошипной головки.

**Распределительный вал:** износ опорных шеек и кулачков.

**Гильза цилиндров:** износ зеркала цилиндров; изменение формы и взаимного расположения верхнего и нижнего установочных поясков относительно оси цилиндра.

**Картер сцепления** (рис. 4.6): трещины 1 и обломы, не захватывающие отверстия втулки вала вилки, а также не проходящие бо-

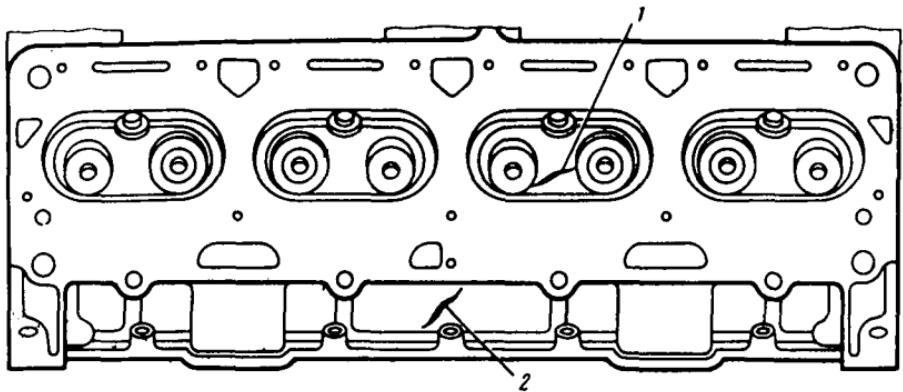


Рис. 4.4. Дефекты головки блока цилиндров

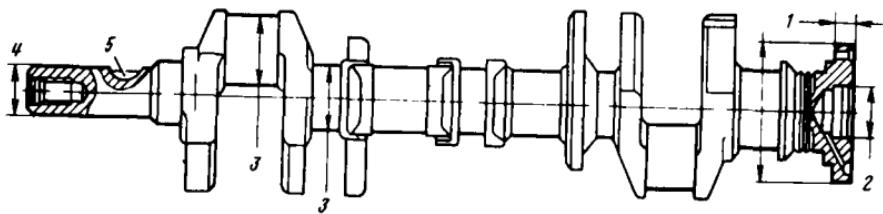


Рис. 4.5. Дефекты коленчатого вала

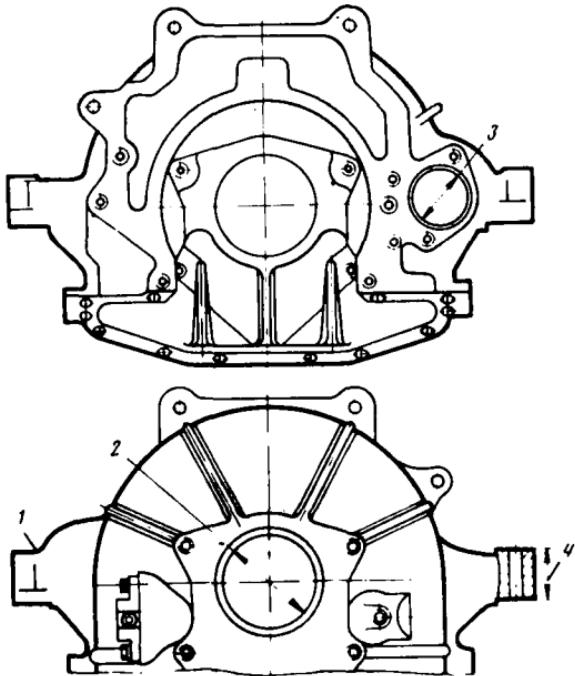


Рис. 4.6. Дефекты картера сцепления

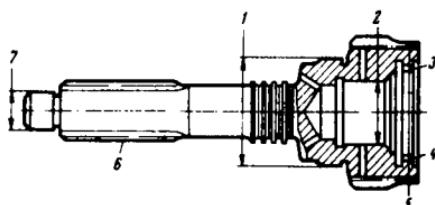


Рис. 4.7. Дефекты ведущего вала коробки передач

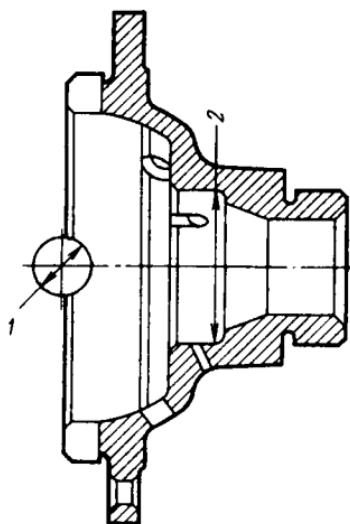


Рис. 4.8. Дефекты чашки коробки дифференциала

лее чем через одно отверстие крепления коробки передач; износ центрирующего отверстия 2; износ установочных отверстий 3; износ опорных лап 4 по высоте.

*Картер коробки передач:* обломы и трещины в картере коробки передач; обломы ушка крепления картера коробки передач.

*Вал коробки передач* (рис. 4.7): износ шейки под передний шариковый подшипник 1; износ отверстия 2 под роликовый подшипник; износ зубьев 3 внутреннего зацепления; износ зубьев по толщине 4; износ конусной поверхности 5 под кольцо синхронизатора; износ шлицев 6 первичного вала; износ шейки 7 под задний подшипник; износ шейки под сальник ведомого вала; трещины длиной не более 20 мм на поверхности крышки заднего подшипника промежуточного вала; износ шеек под передний и задний подшипники промежуточного вала; износ отверстия крышки заднего подшипника промежуточного вала.

*Мосты:* нарушение сварных швов; трещины длиной менее 200 мм, не захватывающие отверстия под кожух полуосей картера ведущего моста; обломы и трещины, не захватывающие посадочные отверстия в картере редуктора ведущего моста; износ отверстия 1 под шейку шестерен полуоси (рис. 4.8); износ шейки 2 под роликовый подшипник; обломы и трещины 1 (рис. 4.9); износы отверстия 2 под подшипник ведущей конической шестерни, отверстия 3 под гнезда подшипников ведущей цилиндрической шестерни, отверстия 4 для подшипника дифференциала; повреждение или износ резьбы 5 под гайку подшипника дифференциала картера редуктора заднего моста; износ шеек под внутренний 1 (рис. 4.10), наружный 2 подшипники ведущего моста; износ кольца 3 под сальник; износ отверстий под стремянки крепления рессор переднего неведущего моста; износ отверстия 1 (рис. 4.11) под кольцо наруж-

Рис. 4.9. Дефекты картера редуктора заднего моста

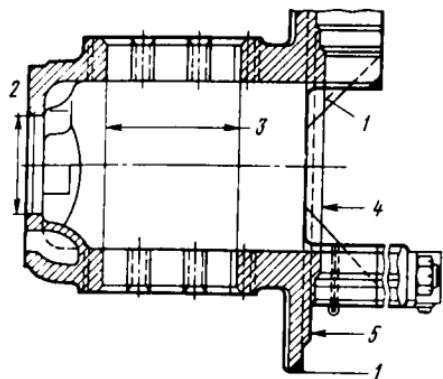
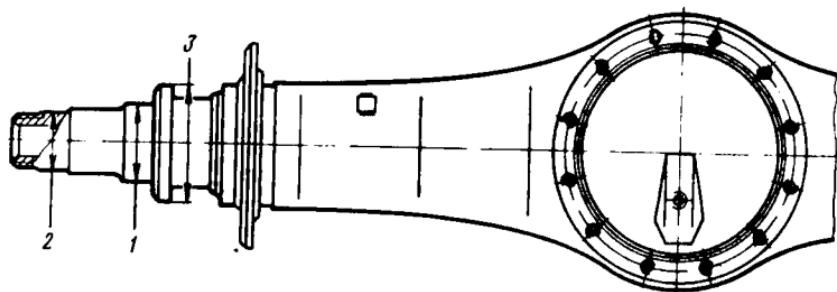


Рис. 4.10. Дефекты картера ведущего моста



ного подшипника ступицы заднего колеса; износ отверстия 2 под сальники; износ отверстия 3 под наружное кольцо внутреннего подшипника; повреждение резьбы под гайку поворотного кулака переднего моста.

**Рулевое управление:** обломы и трещины картера рулевого механизма; отколы фланцев корпуса углового редуктора; износ шеек вала рулевой сошки; отколы фланца крышки картера рулевого механизма; обломы и трещины крышки бокового картера рулевого механизма; трещины трубы колонки рулевого управления; износ конической поверхности рулевого вала; износ отверстий под подшипники фланца кардана; износ отверстия 1 в вилке карданного вала (рис. 4.12); изменение размера между щеками 2 вилки карданного вала; обломы и трещины вилки карданного вала; износ шипов крестовины (рис. 4.13) кардана по торцам и диаметру 2.

**Тормозная система:** трещины, обломы фланцев картера тормозного цилиндра; износ рабочей поверхности тормозного цилиндра; износ отверстий под шпильки крепления колеса в тормозном барабане; износ торца под упорный стержень тормозной колодки; обломы и трещины в трубопроводах пневмо- и гидросистем.

**Система охлаждения:** пробоины, вмятины или трещины 1 (рис. 4.14) на бачках радиатора; повреждения пластин 2 каркаса, охлаждающих пластин 3 трубок 4; нарушение герметичности 5 в местах пайки; трещины и обломы корпуса водяного насоса; механические повреждения трубопроводов.

Рис. 4.11. Дефекты ступицы заднего колеса

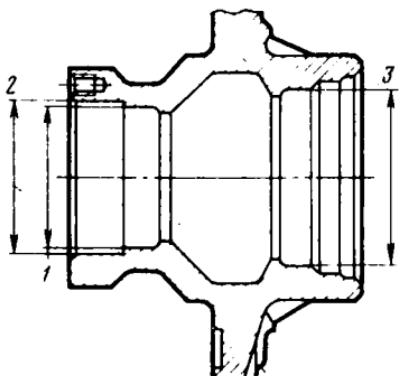
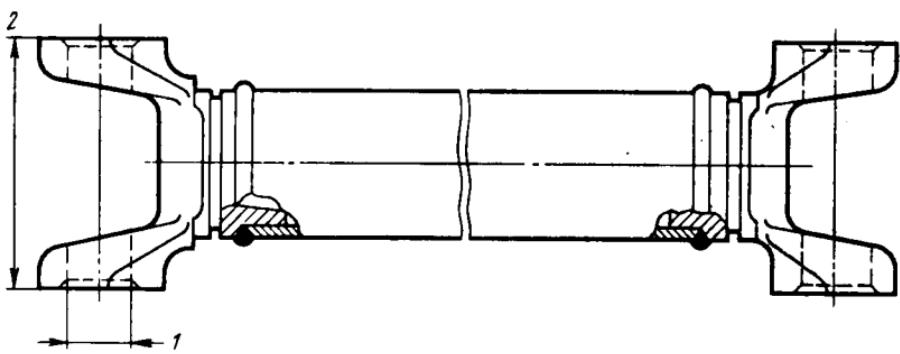


Рис. 4.12. Дефекты карданного вала



*Рама:* трещины 1 усталости (рис. 4.15); трещины 2, 3, 4, 5 по отверстиям под заклепки в продольной балке рамы; трещины 1, 2 (рис. 4.16) и износ отверстий 3, 4 на поперечине; трещины, возникшие в результате правки рамы перед сваркой и последнее.

*Кузов, платформа, оперение:* трещины и поломки отдельных элементов кузова; усталостные трещины; коррозия в деталях каркаса; вмятины, разрывы, коррозия с утратой целостности облицовки и оперения; механические повреждения элементов кузова, платформы и оперения.

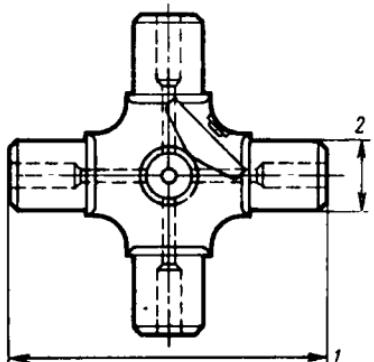


Рис. 4.13. Дефекты крестовины кардана

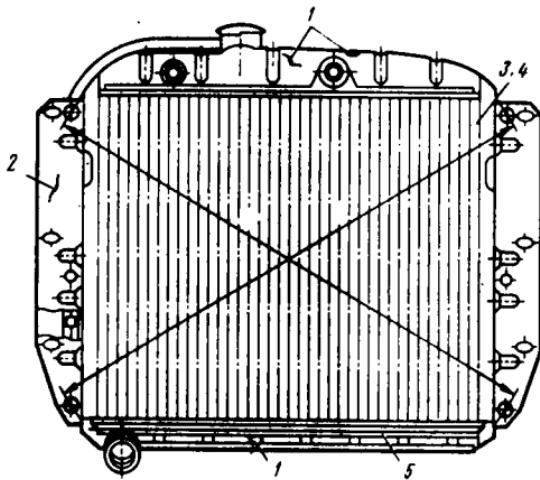


Рис. 4.14. Дефекты радиатора

*Кабина* [рис. 4.17 (а — вид спереди; б — вид сбоку сзади)]: трещина в нижней части боковой панели 1; разрушение сварных швов усилителей кронштейнов, скоб 2 и других деталей; обрыв в верхней панели передка в местах крепления кронштейна 3 капота; трещины в стойке проема для ветрового стекла 4 панели крышки 5; пробоины и разрывы на панели крыши 6; разрушение в местах соединения панелей крышки и задка 7; разрушения в местах соединения стоек крепления стенки сиденья с панелями задка 8; трещины в стойках крепления спинки сиденья 9; разрывы в стойках крепления спинки сиденья 10; трещины в местах крепления подставы сиденья к траверсе пола 11; разрывы в нижней части боковины и пороге двери 12; трещины в панели около порога двери и стенке порога 13; трещины в местах крепления подставы сиденья к полу кабины 14; разрыв петельной и притворной стоек проема двери 15.

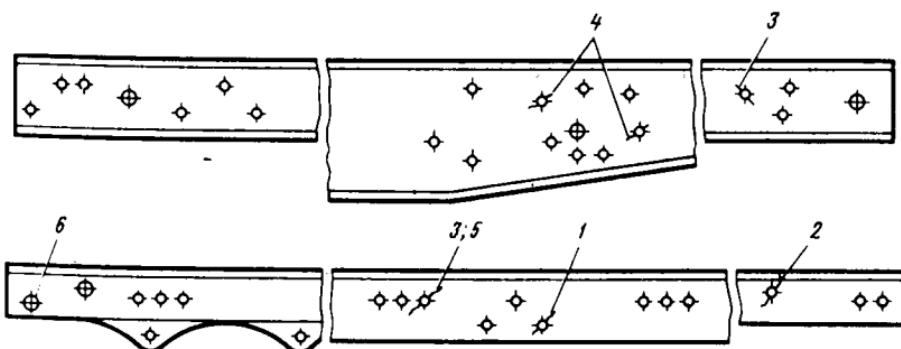


Рис. 4.15. Дефекты продольной балки рамы

Рис. 4.16. Дефекты поперечины рамы

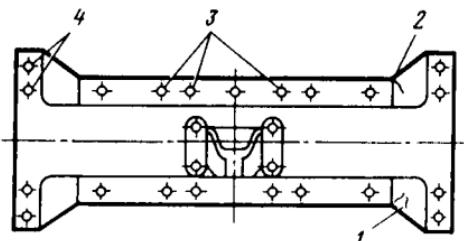
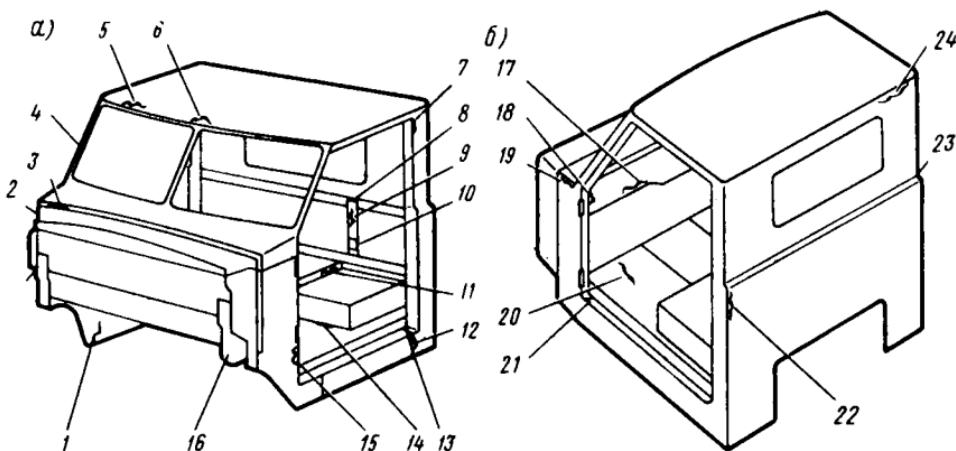
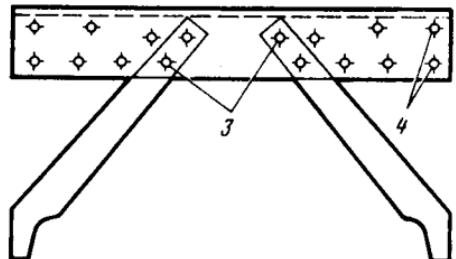


Рис. 4.17. Дефекты кабины



ри 15; разрыв в углах и нижней части боковой панели передка 16; разрывы в панели прибора 17; разрушения сварных швов в месте соединения панелей крыши с панелями передка 18; разрушение сварных швов в местах соединения верхней и боковой панелей передка 19; трещина в полу кабины 20; коррозионные разрушения в стойках петель дверей 21; коррозионные трещины в панели 22; пробоины и разрывы на панелях задка 23 и 24.

## Г л а в а 5. ДУГОВАЯ СВАРКА СТАЛИ

### 5.1. Свариваемость стали

Для получения высокого качества ремонтируемых деталей необходимо знать важное свойство материалов, из которого они изготовлены, — их свариваемость. Свариваемость — это совокупность технологических характеристик, от которых зависят изменения, происходящие при сварке, и обеспечиваются надежность и экономичность выполненного сварного соединения. Свариваемость зависит от физико-химических свойств сплава, способа и режима сварки, составов присадочного материала, флюса, покрытия электрода, защитного газа и условий эксплуатации изделия. Под хорошей свариваемостью для конструкций, работающих при статических нагрузках, понимают возможность при обычной технологии получить сварное соединение, равнопрочное с основным металлом, без трещин в металле шва и снижения пластичности околошовной зоны. При этом сварное соединение должно быть стойким против перехода в хрупкое состояние при изменении температуры, предусмотренной условиями эксплуатации. Для конструкций, испытывающих динамические нагрузки, металл, обладающий хорошей свариваемостью, должен иметь не только равнопрочный шов и высокую пластичность соединения, но и необходимый предел усталостной прочности, отвечающий условиям эксплуатации как по нагрузке, так и по температурным колебаниям. При этом не допускается возможность появления в шве и околошовной зоне трещин и других дефектов, снижающих качество изделия в целом. При наплавке деталей, работающих на истирание, особое значение приобретает высокая износстойкость при отсутствии пор и хрупкости восстановленного этим способом слоя.

Современная технология сварки обеспечивает необходимое качество сварного соединения всех материалов, используемых в технике при изготовлении сварных конструкций. Тем не менее часто употребляются понятия о хорошей, удовлетворительной, ограниченной или плохой свариваемости металлов и сплавов. Хорошую свариваемость имеют стали, не требующие специальной технологии сварки (применения дорогостоящего и дефицитного присадочного материала, предварительного подогрева, последующей термообработки, механического упрочнения и т. д.). Во многих случаях применение усложненной технологии сварки оказывается экономически нецелесообразным.

Учитывая, что свариваемость определяется многими показателями, не удается создать единую и бесспорную методику оценки свариваемости. Поэтому часто для оценки свариваемости применяют ряд испытаний, обусловленных назначением конструкции и

свойствами основного металла и шва. В комплекс оценки свариваемости входят определение механических свойств металла шва и околошовной зоны при различных температурах, испытания на стойкость против коррозии, выносливость, износостойкость и другие специальные характеристики, необходимые для обеспечения требуемых условий эксплуатации.

Для сталей толщиной до 5 мм простейшим способом оценки является проваривание на пластине размером 155x150 мм двух валиков длиной до 50 мм, один из которых без присадочного материала, другой с присадочным. После проварки каждого валика производится охлаждение резкое (водой), замедленное (на спокойном воздухе) и медленное (в печи или путем прогрева пламенем горелки всей пластины). При хорошей свариваемости стали после охлаждения водой у валиков не должно быть трещин. Если трещины появятся при охлаждении водой, но отсутствуют при охлаждении на спокойном воздухе, то сталь считается удовлетворительно сваривающейся. Ограниченно сваривающиеся стали не имеют трещин только при охлаждении в печи или подогреве пламенем. В плохо сваривающихся сталья трещины возникают даже при медленном охлаждении с подогревом.

Кроме специальных испытаний, нередко пользуются косвенной оценкой свариваемости. При этом учитывается, что на образование горячих и холодных трещин, возникновение условий для самозакаливания металла в околошовной зоне и другие дефекты существенное влияние оказывает содержание углерода в стали. Для учета влияния легирующих элементов и других факторов вводится понятие углеродного эквивалента, определяемого по формуле

$$C_e = C + \frac{1}{6} Mп + \frac{1}{5} (Cr + Mo + V) + \frac{1}{15} Ni. \quad (5.1)$$

В зависимости от углеродного эквивалента стали условно можно разделить на группы: хорошо, удовлетворительно и ограниченно сваривающиеся. В табл. 5.1 приведена классификация ряда углеродистых и низколегированных сталей по свариваемости.

Хорошую свариваемость имеют стали с  $C_e < 0,25\%$ , не имеющие закалочных структур и трещин в широком диапазоне режимов, толщин и конструктивных форм. Стали с  $C_e = (0,25...0,35)\%$  свариваются удовлетворительно, мало склонны к образованию трещин при правильном подборе режимов сварки и в ряде случаев с подогревом изделия перед сваркой. Ограничено сваривающиеся стали с  $C_e = (0,36...0,45)\%$  склонны к трещинообразованию и самозакалке металла околошовной зоны, требуют предварительного подогрева. Влияние на качество шва изменением режима сварки ограничено. После сварки следует вести термообработку.

Таблица 5.1. Классификация некоторых марок сталей по свариваемости

Группа свариваемости стали	Сталь	
	углеродистая	конструкционная легированная
Хорошая	Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, стали 08, 10, 15, 20, 25	15Г, 20Г, 15Х, 15ХА, 20Х, 15ХМ, 14ХТС, 10ХСНД, 10ХГСНД
Удовлетворительная	Ст5, стали 30, 35	12ХН2, 12ХН3А, 14Х2МР, 20ХН3А, 20ХН, 20ХГСА, 25ХГСА, 30Х, 30ХМ
Ограниченнaя	Ст6, стали 40, 45, 50	35Г, 40Г, 45Г, 40Г2, 35Х, 40Х, 45Х, 40ХН, 40ХМФА, 30ХГС, 30ХГСА, 30ХГСМ, 35ХМ, 20Х2Н4А, 4ХС

Для получения хорошего качества сварного соединения важное значение имеет правильный выбор параметров режима сварки, которые можно определить предварительно расчетным путем по приближенным формулам, полученным на основе обобщения результатов экспериментальных исследований [1].

## 5.2. Выходные характеристики процесса сварки

По экспериментальным данным или расчетным путем с их использованием определяют следующие выходные характеристики процесса сварки:

температуру  $T_{\max}$ , скорость охлаждения металла шва и околосшовной зоны и длительность выдержки шва в опасном интервале температур; долевое участие основного и присадочного металлов в формировании металла сварочной ванны; химический состав металла шва с указанием всех легирующих элементов; геометрические размеры шва — глубину проплавления  $H$ , ширину  $l$ , усилие  $h$ ; механические свойства металла шва.

По первым двум пунктам расчеты ведутся обычно для всех сталей. По остальным имеются приближенные расчетные формулы для конструкционных низкоуглеродистых и низколегированных сталей.

Математическое обоснование имеют расчетные формулы для определения скоростей нагрева и охлаждения сварного соединения. Параметры режима сварки могут быть определены по различным таблицам и номограммам, построенным на основании опытных данных. Однако эти таблицы не содержат сведений о размерах и механических характеристиках шва. В настоящее время исследование параметров, обеспечивающих получение высококачественного

сварного соединения, производится на основании закономерностей теории подобия или статистической обработки экспериментальных данных.

Для получения математической модели планируется проведение однофакторного или многофакторного эксперимента. В первом случае считается, что все показатели постоянны, кроме одного, исследуемого, а затем аналогичные эксперименты повторяются для других факторов и суммируются результаты однофакторных экспериментов. Такой эксперимент не позволяет учитывать одновременное совместное действие нескольких параметров. Кроме того, при большом количестве факторов требуется выполнение большого количества экспериментов. Поэтому для полной оценки процесса сварки целесообразно планирование многофакторного эксперимента.

Проведение такого эксперимента и статистическая обработка его результатов проводятся в следующей последовательности: определение факторов, влияющих на процесс сварки; определение параметров оптимизации или показателей, интересующих экспериментатора; экспертная оценка влияния различных факторов и нахождение наиболее важных параметров оптимизации (показателей процесса); составление плана эксперимента и его проведение; оценка однородности результатов эксперимента по критерию Кохрена; определение коэффициентов регрессии, статистическая обработка их и получение математической модели процесса; оптимизация полученной модели методом крутого восхождения; оценка полученных результатов с использованием функции желательности.

Проведение экспериментальных исследований и использование результатов ранее выполненных экспериментов позволяют получить ответы на задачи, поставленные ранее. Используя результаты проведенных экспериментальных исследований и необходимой математической обработки, можно провести расчет режимов сварки размеров шва при ручной дуговой сварке [1]. Режим сварки обуславливает совокупность основных характеристик сварочного процесса, размеры, формы и качество шва. При ручной сварке в понятие режим сварки входят диаметр электрода, сила сварочного тока, напряжение дуги, род тока, полярность и другие параметры сварочного процесса.

Диаметр электрода назначается в зависимости от толщины материала при сварке стыковых соединений и от катета шва при сварке угловых и тавровых соединений. При сварке встык листов толщиной 1,5...2,0 и 3 мм диаметр электродного стержня  $d_3$  должен быть соответственно 1,6...2,0 или 3 мм; сварка встык листов толщиной 4...8 мм производится электродом  $d_3 = 4$  мм. Для угловых и тавровых соединений при катете 4...5 мм требуется электрод  $d_3 = 4$  мм, а при катете 6...9 мм —  $d_3 = 5$  мм.

Площадь поперечного сечения,  $\text{мм}^2$ , шва при сварке стыковых соединений, обеспечивающая оптимальные условия для образования сварочной ванны, должна составлять  $F = (6...8)d_3$ .

Таблица 5.2. Допускаемая плотность тока при ручной сварке

Покрытие электрода	Плотность тока, А/мм <sup>2</sup> , при $d_3$ , мм		
	3	4	5
Рудно-кислое, рутиловое	14...20	11,5...16,0	10,0...13,5
Фтористо-кальциевое	13,0...18,5	10,0...14,5	9,0...12,5

Сила тока при ручной сварке определяется в зависимости от  $d_3$  и допустимой плотности тока  $j$ ,  $\frac{A}{\text{мм}^2}$ :

$$I_{\text{св}} = \frac{\pi d_3}{4} j.$$

Рекомендуемая плотность тока приведена в табл. 5.2.

Для приближенных расчетов могут быть использованы также следующие формулы, полученные опытным путем:

$$I_{\text{св}} = k d_3; I_{\text{св}} = k_1 d_3; I_{\text{св}} = (k_2 + \alpha d_3) d_3.$$

Величина  $k$  берется в зависимости от  $d_3 = 2; 3; 4; 5$ . Соответственно  $k = 25...30; 30...45; 35...50; 40...55$  мм. Коэффициенты:  $k_1 = 25...25; k_2 = 20; \alpha = 6$ .

При ручной дуговой сварке напряжение дуги изменяется в сравнительно узких пределах и устанавливается согласно паспорту на данную марку электрода. Обычно  $V = 18...30$  В.

Скорость сварки можно вычислить по формуле

$$V_{\text{св}} = \frac{\alpha_h I_{\text{св}}}{3600 \gamma F_h},$$

где  $\alpha_h$  — коэффициент наплавки, г/А·ч;  $\gamma$  — плотность наплавленного металла, г/см<sup>3</sup>;  $F_h$  — площадь поперечного сечения наплавленного металла, см<sup>2</sup>.

Отношение мощности дуги к скорости сварки называется погонной энергией  $q_h$  и может быть определено зависимостью от  $F_h$ , см<sup>2</sup>:

$$q_h = 14500 F_h.$$

Глубина провала при сварке  $H = (0,05...0,07)r$ , где  $r = 0,0112 \sqrt{q_h}$ .

### 5.3. Дуговая сварка низкоуглеродистых и низколегированных сталей

Сведения, приведенные выше, учитываются при сварке покрытыми электродами низкоуглеродистых и низколегированных сталей. Низкоуглеродистые стали имеют хорошую свариваемость, и дуговая сварка этих сталей осуществляется обычным способом, без применения специальных присадочных материалов, предварительного или сопутствующего подогрева. Технология сварки низкоуглеродистых сталей обеспечивает получение равнопрочного шва без трещин, непроваров, пор, подрезов и других дефектов. Выполнение по этой технологии сварное соединение должно быть стойким против перехода в хрупкое состояние; деформация конструкции должна быть в допустимых пределах, не снижающих ее работоспособность. Если свариваемому изделию предъявляют дополнительные требования по коррозионной стойкости и работоспособности в условиях вибрационных и ударных нагрузок, то они должны достигаться без осложнения процесса сварки.

Поскольку при сварке низкоуглеродистых сталей металл шва незначительно отличается по составу от основного металла, когда некоторое снижение углерода компенсируется введением марганца и кремния через присадочный материал, проблема обеспечения равнопрочности и других высоких характеристик затруднений не вызывает. В табл. 5.3 приводится средний состав металла шва, полученного сваркой стали Ст3 низкоуглеродистой сварочной проволокой различными способами.

Низколегированные стали во многих случаях имеют хорошую свариваемость и мало отличаются от низкоуглеродистой. В других случаях для обеспечения требуемой работоспособности конструкций из низколегированных сталей необходимо предусмотреть соответствующую технологию сварки, так как склонность к кристаллизационным трещинам низколегированных сталей несколько выше, чем низкоуглеродистых. Немаловажное значение при сварке сталей имеет правильный выбор присадочного материала (табл. 5.4).

Таблица 5.3. Средний состав металла при сварке низкоуглеродистой стали, %

Металл	C	Si	Mn	S	P
Основной – сталь Ст3	0,14...0,22	0,12	0,45...0,65	До 0,05	До 0,04
Шва при сварке покры- тыми электо- родами	0,08...0,13	0,20...0,25	До 0,90	" 0,03	" 0,03
Шва при сварке под флюсом	0,08...0,18	0,15...0,40	0,65...0,75	0,016...0,045	0,012... 0,04

Таблица 5.4. Электроды, применяемые при сварке низкоуглеродистых и низколегированных сталей

Назначение	Марка	Примечание
Сварка низкоуглеродистых сталей	ОММ-5, АНО-3, АНО-4, АНО-5, АНО-6, ЦМ-7, ОЗС-3, ОЗС-4, ОЗС-6, СМ-5, МР-1, РБУ-5, ЭРС-2, КПЗ-32Р	—
Сварка низкоуглеродистых и низколегированных сталей	АНО-1, ДСК-50, ВСП-1, ВСЦ-1, К-5А, УОНИ-13/45, УП-2/45, СМ-11, ОЗС-2, ОМА-2	Электроды ДСК-50 — для сталей низкоуглеродистых и 14ХГС, 15ХСНД. Электроды АНО-1 — для сталей низкоуглеродистых и 09Г2
Сварка ответственных конструкций из низкоуглеродистых сталей	МР-3, ЭРС-1	— 11
Сварка ответственных конструкций из низкоуглеродистых и низколегированных сталей	ОМА-2, УОНИ-13/55, УП-1/45, УП-1/55, УП-2/55, АН-7, Э-138/45Н, Э-138/50Н, ВСН-3, К-5А, ДСК-50, УОНИ-13/55У, ВН-48	Электроды УОНИ-13/65 — для сталей низкоуглеродистых и 14ХГС. Электроды Э-138/45Н, Э-138/50Н — для сталей низкоуглеродистых, свариваемых с низкоуглеродистыми и низколегированными сталью в судостроении. Электроды ВСН-3 — для трубопроводов из стали 10Г2

При сварке покрытыми электродами марка электродов должна соответствовать типу электродных проволок. Ниже приведена разбивка марок наиболее распространенных покрытий электродов по соответствующим типам электродов:

Э42: ОММ-5, СМ-5, ЦМ-7, КПЗ-32Р, АНО-1, АНО-5, АНО-6, ОМА-2, ВСП-1, ВСЦ-2;

Э42А: УОНИ-13/45, СМ-11, УП-1/45, УП-2/45, ОЗС-2;

Э46: АНО-3, АНО-4, МР-1, МР-3, ОЗС-3, ОЗС-4, ОЗС-6, ЭРС-1, ЭРС-2, РБУ-4, РБУ-5;

Э46А: Э-138/45Н;

Э50: ВСН-3;

Э-50А: УОНИ-13/55, УП-1/55, УП-2/55, ДСК-50, К-5А, Э-138/50Н.

При сварке ответственных конструкций рекомендуется применение электродов типа Э50 или Э50А, в остальных случаях — Э46. Электроды Э50А с покрытиями УОНИ-13/55 и других марок обес-

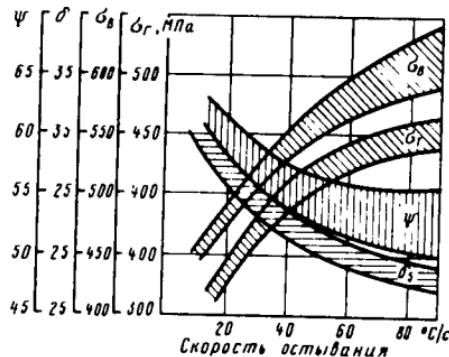


Рис. 5.1. Зависимость механических свойств металла шва от скорости остывания

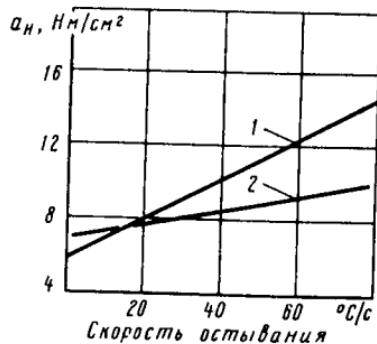


Рис. 5.2. Зависимость ударной вязкости металла шва от скорости остывания при температуре наименьшей устойчивости аустенита

печивают стойкость металла шва против образования кристаллизационных трещин при прочности и пластичности, равных показателям основного металла. Химический состав металла шва при сварке низколегированных сталей может несколько отличаться от химического состава основного металла, но это практически значения не имеет, поскольку выгорание одних элементов компенсируется увеличением концентрации других элементов, благоприятно влияющих на качество сварного соединения.

Механические свойства сварного соединения, как отмечалось ранее, зависят во многих случаях от скорости охлаждения (рис. 5.1 и 5.2). С увеличением скорости охлаждения повышаются предел прочности и предел текучести, снижаются относительные удлинение и сужение, причем диапазон изменения механических свойств с увеличением скорости охлаждения расширяется. Ударная вязкость стали зависит также от температуры наименьшей устойчивости аустенита. Например, при температурном градиенте наименьшей устойчивости аустенита  $12^{\circ}\text{C}/\text{с}$  ударная вязкость (рис. 5.2, линия 1) заметно увеличивается с уменьшением скорости охлаждения, чем при температуре наименьшей устойчивости аустенита  $35^{\circ}\text{C}/\text{с}$  (рис. 5.2, линия 2). Скорость охлаждения определяется толщиной основного металла, так как чем тоньше свариваемое изделие, тем быстрее оно остывает. Существенно влияние при этом оказывает предварительный или сопутствующий подогрев.

Некоторые сварочные работы при ремонте деталей автомобиля могут выполняться вручную покрытыми порошковыми электродами или с шихтой. Проволоки рутилорганического типа применяются для сварки низкоуглеродистых сталей. В состав шихты или покрытия входят рутиловый концентрат, алюмосиликаты (полевой шпат, гранит и др.), целлюлоза, крахмал и ферромарганец. При сварке образуются кислые шлаки системы  $\text{TiO}_2=\text{SiO}_2=\text{Al}_2\text{O}_3$  или

Таблица 5.5. Химический состав полученного сваркой порошковыми проволоками металла шва и содержащихся в нем газов, %

Марка проволоки	C	Mn	Si	H, см <sup>3</sup> 100г	N	O
ПП-АН1	0,06...0,10	0,6...0,8	0,07...0,15	20...30	0,4	0,06...0,10
ПП-АН3	0,07...0,12	0,7...1,3	0,20...0,45	4,5...7,0	0,3	0,04...0,06
ПП-АН7	0,08...0,13	0,9...1,5	0,20...0,50	5,5...8,0	0,3	0,04...0,06
ПП-АН11	0,09...0,14	0,9...1,5	0,25...0,50	4,0...5,5	0,25	0,03...0,04
ЭСП-15/2	0,08...0,12	0,6...0,8	0,07...0,15	5...8	0,025	0,03...0,04
ПП-2ДСК	0,09...0,13	0,6...1,1	0,13...0,40	6...10	0,3	0,03...0,04

$TiO_2=SiO_2=MgO$ . Химический состав металла шва приведен в табл. 5.5.

При расплавлении карбонатно-флюоритной проволоки шлаки недостаточно эффективно защищают сварочную ванну от попадания азота из воздуха, поэтому в сердечник проволоки вводят нитридообразующий элемент — Ti или Al. Это резко снижает пластические свойства металла шва. На рис. 5.3 приведена ударная вязкость металла швов, легированных титаном: 1 — 0,01 % Ti; 2 — 0,12 % Ti; 3 — 0,26 % Ti; 4 — 0,42 % Ti. Влияние на ударную вязкость Al показано на рис. 5.4, где номера кривых соответствуют его содержанию по массе: 1 — 0,05 %; 2 — 0,18; 3 — 0,57; 4 — 0,90 %. Увеличение нитридообразующих элементов, с одной стороны, снижает пластичность металла шва, с другой — повышает пористость сварного шва, поэтому содержание этих элементов необходимо строго контролировать.

Для повышения эффективности защиты шва от азота можно применять проволоку с двойной конструкцией. Проволоки с карбонатно-флюоритным сердечником при небрежном хранении могут впитывать влагу, что повышает количество водорода в дуговом пространстве, следовательно, и в металле шва. Для снижения со-

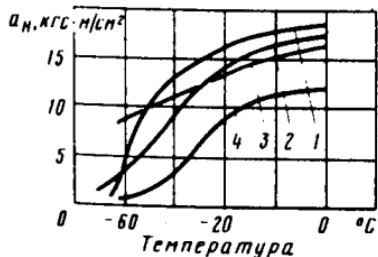


Рис. 5.3. Ударная вязкость металла швов, легированных титаном

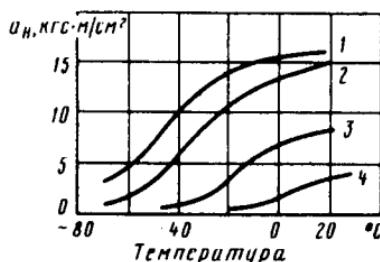


Рис. 5.4. Ударная вязкость металла швов, легированных алюминием

держания водорода в металле шва в состав сердечника вводят плавиковый шпат (фтористый кальций) и кремнефтористый натрий. Кроме того, перед употреблением проволоку прокаливают при температуре 250 °С. Улучшению качества сварного соединения способствует и очистка свариваемого металла от ржавчины и грязи. Сварку проволокой этого типа осуществляют постоянным током обратной полярности с жесткой внешней характеристикой. Механические свойства металла шва, выполненного карбонатно-флюритной проволокой, находятся на уровне механических свойств швов, полученных фтористо-кальциевыми электродами. Автоматическая сварка под флюсом при ремонте деталей автомобиля практически не применяется. Сварка коротких швов, которая часто встречается при ремонте, может быть выполнена полуавтоматической сваркой проволокой 1,2...2,0 мм. Высокие прочность и пластичность сварного соединения достигаются за счет выбора составов флюса, электродных проволок, режимов и техники сварки. Для сварки низкоуглеродистых сталей полуавтоматической сваркой, как правило, используются флюсы АН-348А и ОСЦ-45 с проволоками Св-08 и Св-08А, а также проволоки Св-08ГА при сварке ответственных деталей. Эти проволоки обеспечивают получение механических свойств сварного соединения на уровне механических свойств свариваемых низкоуглеродистых сталей. С использованием присадочных проволок Св-08ГА, Св-10ГА, Св-10Г2 и тех же флюсов можно получить необходимые механические свойства соединений при сварке низколегированных сталей. Сварка конструкций толщиной до 5 мм производится без разделки кромок при силе тока 260...280 А и напряжении дуги 28...30 В.

#### 5.4. Сварка низкоуглеродистых и низколегированных сталей в CO<sub>2</sub>

При ремонте автомобильных деталей успешно используется сварка в защитной среде — углекислым газом. В некоторых случаях может быть использована смесь до 20 % углекислого газа, до 30 % кислорода и до 50 % аргона. Кислород связывает в дуговом пространстве водород и тем самым снижает пористость шва. Аргон улучшает технологические свойства шва. Однако как дефицитный и дорогостоящий газ аргон при сварке стали применяется весьма редко. Сварка низколегированных и малоуглеродистых сталей преимущественно производится в сварочном углекислом газе плавящимся электродом полуавтоматическим или автоматическим способом, используя электродную проволоку диаметром обычно до 1,2 мм. При сварке в нижнем положении целесообразно использовать проволоку диаметром 1,2...3,0 мм. Для малоуглеродистых и низколегированных сталей в качестве присадочного материала используются проволоки Св-08ГС и Св-08Г2С, содержащие кремний

и марганец, присутствие которых, как указывалось выше, — обязательное условие осуществления сварки в углекислом газе. Напомним, что в процессе сварки в углекислом газе эти элементы дают закись MnO (основание) и окись SiO<sub>2</sub> (ангидрид), которые затем вступают в реакцию между собой, образуя тонкую шлаковую пленку MnSiO<sub>3</sub>, защищающую металл сварочной ванны от кислорода и азота воздуха. Марганец и кремний, попавшие в сварочную ванну, раскисляют металл, и тем самым обеспечивается высокое качество сварного соединения.

Следует отметить, что нередко в условиях авторемонтного производства малоуглеродистая кремнемарганцовистая проволока является дефицитом. Весьма полезной в таких случаях является технология двухскоростной сварки в углекислом газе, разработанная проф. В. В. Баженовым и А. Г. Трусовым. Сущность этого процесса состоит в том, что сварочная горелка имеет два мундштука, которые сварены под углом 34° друг к другу. Первый мундштук служит для подачи присадочной проволоки Св-08, а второй — порошка, изготовленного из ферромарганца и ферросилиция, под давлением сжатого углекислого газа со скоростью струи газа 10...50 м/с. Это сопло состоит из двух частей, расположенных концентрично. Центральная часть, куда поступает металлический порошок из бункера, служит для подачи его струей углекислого газа в сварочную дугу с указанной скоростью, а периферийная часть подает углекислый газ со скоростью 1...5 м/с для защиты дугового пространства. Такая технология имеет три достоинства:

обеспечивает сварку необходимым присадочным материалом практически любого состава; повышает производительность сварки, так как дополнительная масса металлических порошков обеспечивает быстрое формирование металла шва; позволяет выполнять сварку на открытом воздухе при ветреной погоде, когда при обычном способе углекислый газ сдувается с дугового пространства. При двухструйной сварке с повышенным давлением углекислого газа шов лучше защищается от воздействия ветра.

На свойства металла шва оказывает значительное влияние качество применяемого углекислого газа, степень очистки его от азота и влаги, которая является источником насыщения металла шва водородом. При сварке в углекислом газе не следует повышать напряжение выше допустимого, ибо это вызывает угар легирующих компонентов и приводит к снижению механических свойств шва. Повышенная сила тока снижает пластичность и ударную вязкость металла шва. Механические свойства швов, выполненных сваркой в углекислом газе, примерно соответствуют механическим свойствам швов, выполненных электродами типа Э50. Некоторые рекомендации по режимам сварки в углекислом газе приведены в табл. 5.6.

Сварка в углекислом газе кремнемарганцовистой малоуглеродистой стали наряду с множеством достоинств имеет и некоторые не-

К высокоуглеродистым сталям относятся стали, содержащие 0,46...0,75 % С. Их применяют для изготовления коленчатых валов автомобильных двигателей, полуосей некоторых марок легковых автомобилей, скользящих вилок карданного вала, разжимных кулаков колодок тормоза и других деталей, которые могут быть восстановлены наплавкой. Технология сварки этих сталей построена по тому же принципу, который применяется при восстановлении наплавкой деталей, изготовленных из высокоуглеродистых сталей.

Детали автомобиля из низколегированных сталей с повышенным содержанием углерода (35Х, 40Х, 40Г2, 30Г2, 30ХГТ, 30ХГСА и др.) в отличие от деталей из низколегированных малоуглеродистых сталей требуют специальной технологии сварки. Повышенное содержание углерода и наличие легирующих элементов способствуют резкому увеличению склонности этих сталей к закалке. Поэтому для снижения скорости охлаждения после сварки необходим также предварительный нагрев свариваемых деталей.

Самозакаливание низколегированных сталей с повышенным содержанием углерода можно оценить по кинетике распада аустенита при различных скоростях охлаждения. Как видно из диаграммы изотермического распада аустенита (рис. 5.5), максимальная скорость охлаждения, выраженная кривой 2 (первая критическая скорость охлаждения), приведет к частичной закалке стали. Кривая 3, характеризующая полную закалку (100 % мартенсита), соответствует второй критической скорости. Кривая 1 индицирует скорость охлаждения, при которой отсутствует закалка.

Химический состав стали, однородность аустенита и размер его зерна определяют характер кривых изотермического распада аустенита и их расположение. Почти все легирующие элементы стали увеличивают период распада аустенита. Температура, при которой наблюдается наименьшая устойчивость аустенита,  $T_{min}$  для различных сталей лежит в пределах 450...650 °С, причем для большинства из них  $T_{min} = 550$  °С. При  $T_{min}$  продолжительность инкубационного периода, времени до начала распада аустенита, минимальна.

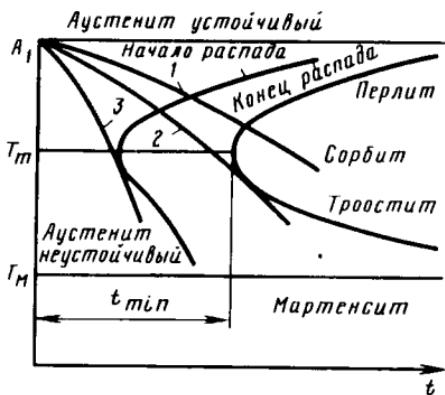


Рис. 5.5. Диаграмма изотермического распада аустенита

Таблица 5.7. Распределение структурных составляющих в сталях 45 и 40Х при сварке

	Марка стали						
	Сталь 45				Сталь 40Х		
	4	18	30	60	4	14	22
Скорость охлаждения при 500...600 °C, град/с							
Содержание структурной составляющей, % (по массе):							
Феррита	5	1	1	1	1	0	0
перлита и промежуточных структур	95	9	7	7	24	10	5
марцесита	0	90	92	92	75	90	95

Чем больше этот период, тем больше вероятность образования марцеситной структуры.

Сдвиг С-образной кривой на диаграмме в зависимости от химического состава стали увеличивает период его распада или способствует закалке стали.

Диаграмма изотермического распада аустенита позволяет установить скорость охлаждения, обеспечивающую наличие или отсутствие в металле тех или иных структурных составляющих. При непрерывном охлаждении температура наименьшей устойчивости аустенита  $T_{min}$  снижается в среднем на 55 °C. При этом длительность распада  $t_{min}$  увеличивается в 1,5 раза по сравнению с периодом, что наблюдается при изотермическом распаде. Если по кривой З осуществить минимальную скорость охлаждения  $v_{охл}$  с образованием полностью марцесита, то эта скорость приближенно может быть вычислена по формуле

$$v_{охл} = \frac{T_1 - (T_{min} - 550)}{3t_{min}},$$

где  $v_{охл}$  — скорость охлаждения, °C/с;  $T_1$  — температура, соответствующая точке  $A_{cl}$ , °C;  $t_{min}$  — минимальная продолжительность полного изотермического распада аустенита.

Коэффициент 3 учитывает поправку на непрерывность охлаждения и замедление распада аустенита из-за роста зерна, сопутствующего сварочному нагреву.

В табл. 5.7 приведено количество структурных составляющих сталей 45 и 40Х при различных скоростях охлаждения при сварке.

При разработке технологического процесса сварки целесообразно знать не только необходимую скорость охлаждения, но и рекомендуемую температуру подогрева детали. Если значение углеродного эквивалента стали  $C_3 < 0,45\%$ , то данная сталь может свариваться без предварительного подогрева. При  $C_3 > 0,45\%$  следует свариваемую деталь подогреть.

При определении углеродного эквивалента учитывается толщина или диаметр свариваемой или наплавляемой детали. Обычно поправка на это

$$C = 0,005dC_3. \quad (5.2)$$

Суммарный углеродный эквивалент

$$C_3 = C_3(1 + 0,005d). \quad (5.3)$$

Температура предварительного подогрева

$$T_p = 350 \sqrt{C_3 - 0,25}, {}^{\circ}\text{C}. \quad (5.4)$$

Кроме предварительного и последующего нагрева, при сварке деталей из низколегированных сталей обязательно осуществляются следующие технологические меры:

щательная подготовка свариваемых кромок с сохранением минимального зазора между ними;

правильный выбор присадочного материала, который должен содержать не более 0,15 % углерода, 0,5 % кремния, 1,5 % марганца, 1,5 % хрома, 2,5 % никеля, 0,5 % ванадия и 0,5 % ниобия;

уменьшение содержания водорода в сварном шве применением электродов с фтористо-кальциевыми покрытиями и основных флюсов, инертных газов с пониженной влажностью (электроды или флюсы перед сваркой необходимо прокалить); варить следует постоянным током обратной полярности;

если габариты детали позволяют, то после сварки следует немедленно провести термообработку — закалку с последующим высоким отпуском или нормализацией.

При ремонте низколегированных сталей с повышенным содержанием углерода применяют ручную дуговую сварку, сварку под флюсом и в инертной газовой среде.

## 5.6. Восстановление стальных деталей дуговой сваркой

### 5.6.1. Заварка трещин

К стальным деталям автомобиля, восстанавливаемым сваркой электрической дугой, относятся рама, элементы коробки передач, рулевого управления, передних и задних мостов, кузова, кабины и др. Основные дефекты: трещины различного происхождения, изломы, пробоины, вмятины и др. Наиболее часто встречающийся дефект — трещины, возникающие в элементах автомобиля и имеющие различный характер: кристаллизационные, усталостные, хрупкие. Нередко трещины появляются вследствие механического повреждения.

Для устранения дефектов стальных элементов автомобиля, связанных с трещинами заваркой, следует знать характер трещины и материал, из которого изготовлена деталь. Согласно этим данным следует разработать технологию заварки трещин. При этом необходимо:

обозначить керном концы трещины. Если трудно точно установить, где заканчивается трещина, то накернить поверхность на расстоянии 50 мм от предполагаемых концов трещины в направлении ее распространения;

чтобы трещина дальше не распространялась — просверлить концы трещины или отмеченные керном места сверлом диаметром 3 мм;

обработать поврежденный участок вдоль трещины, чтобы вместо трещины получить прорез шириной 1...2 мм при толщине материала менее 3 мм и V-образную сквозную канавку при толщине более 3 мм. Зазор между завариваемыми кромками по дну канавки должен быть около 1 мм. Иногда в технической литературе рекомендуется заваривать трещины без обработки, если толщина материала не превышает 3 мм. Такая рекомендация не учитывает возможность образования ржавчины на поверхности кромок поврежденного участка. Возможно также забивание трещин грязью. Поэтому хороший шов получится только тогда, когда поврежденное место хорошо обрабатывается и очищается.

Хорошо подготовленный участок сваривается электродом с покрытием, порошковой проволокой, полуавтоматической сваркой под флюсом или в углекислом газе. Марка электрода и присадочной проволоки выбирается в зависимости от свариваемого материала согласно положениям, приведенным ранее. Режимы сварки, разработанные с учетом соображений, указанных в предыдущем параграфе, и уточненные экспериментальным путем, приведены в табл. 5.8...5.11.

Таблица 5.8. Значения токов при сварке низкоуглеродистых и низколегированных сталей электродами различных марок и диаметров

Марка электрода	Диаметр электрода, мм	Сила сварочного тока, А, при положении шва в пространстве		
		нижнем	вертикальном	потолочном
АНО-3	3	100...140	90...110	100...120
	4	170...200	140...160	140...170
АНО-4	5	200...270	150...170	—
	3	80...110	70...100	70...100
УОНН-13/45	4	120...150	100...130	100...130
	5	160...190	140...170	—
СМ-11	3	100...130	90...110	90...110
	4	160...200	140...180	140...180
ДСК-50	5	200...240	160...200	—

Таблица 5.9. Оптимальные режимы сварки порошковыми проволоками для стыкового шва (нижнее положение)

Марка проволоки	Диаметр проволоки, мм	Сила тока, А	Напряжение дуги, В	Скорость подачи проволоки м/ч
ПП-1ДСК	1,8	200...350	25...30	Нет сведений
ПП-2ДСК	2,3	400...450	25...31	382
ПП-АН3	3,2	450...525	26...32	265
ПП-АН4	2,3	500...600	28...29	382
ЭПС-15/2	2,2	320...360	29...32	337

Таблица 5.10. Режимы полуавтоматической сварки под флюсом

Диаметр электрода, мм	Сила тока, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч
2	260...280	28...30	28...30
3	500...530	30...30	44...46

Таблица 5.11. Типовые режимы полуавтоматической и автоматической сварки в углекислом газе

Толщина металла, мм	Диаметр проволоки, мм	Сила тока, А	Напряжение, В	Скорость сварки, м/ч	Расход газа, дм <sup>3</sup> /мин
0,6...1,0	0,5...0,8	50...60	18...20	20...30	6...7
1,2...2,0	0,8...1,0	70...120	18...21	18...25	10...12
3...5	1,4...2,0	180...320	22...30	20...25	14...16

Диаметр электрода выбирается в зависимости от толщины свариваемого материала. Напряжение дуги устанавливается в пределах 20...30 В. При сварке электродами других марок силу тока следует выбирать, ориентируясь на показатели приведенных электродов.

При заварке трещин в низколегированных сталях необходимо ремонтируемый участок предварительно нагреть газовой горелкой до температуры 150...200 °C. Заварку трещин в деталях, изготовленных из среднесуглеродистых сталей, следует вести электродами марки УОН-13/55 с предварительным нагревом свариваемого участка до температуры 150...200 °C. Это снижает вероятность образования в свариваемой детали новых трещин.

После завершения сварочных работ и остывания сварного соединения следует зачистить шов и окколошовную зону стальной щеткой и убедиться, что нет новых трещин, возникших в результате сварки. В зависимости от условия работы отремонтированной детали можно удалить валик шва наждачным кругом. Для защиты от коррозии отремонтированный участок следует окрасить по установленной технологии.

#### 5.6.2. Подготовка к восстановлению элементов автомобиля, имеющих пробоины, изломы, коррозионные очаги и другие дефекты

Такие дефекты устраняются приваркой дополнительных ремонтных деталей в виде вкладышей, накладок или бужей в зависимости от конструкции и работы ремонтируемых элементов. Удаление поврежденного участка осуществляется кислородно-ацетиленовым резаком или пневматическими рубильными молотками моделей 57КМП-4, 57КМП-5, 57КМП-6 с резцами из быстрорежущей стали Р9 или Р18 или подшипниковой стали ШХ-15.

Для накладок и заготовок ремонтных деталей применяют электроножницы типа С-515, имеющие следующие технические характеристики:

Наибольшая толщина разрезаемого листа, мм.....	2
Количество двойных ходов в минуту	600
Производительность, м/мин.....	0,3
Габаритные размеры, мм .....	204x63x117
Масса (без кабеля), кг .....	2,3

Ножницы снабжены электродвигателем мощностью 120 Вт, работающим от сети переменного тока частотой 50 Гц и напряжением 220 В. Сила тока 1,12 А.

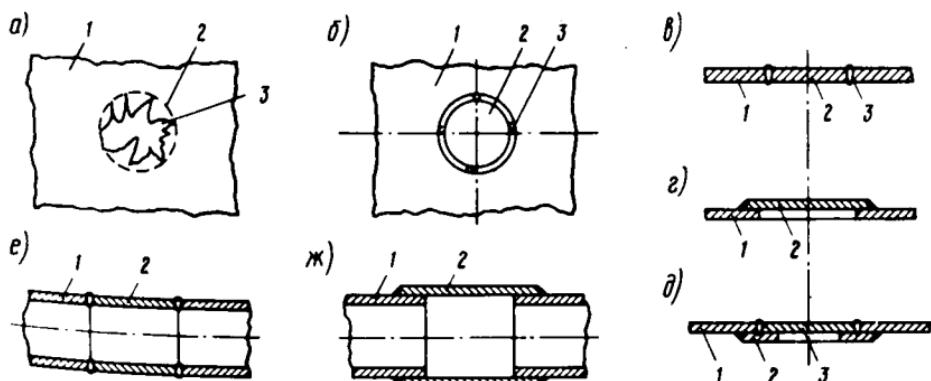


Рис. 5.6. Подготовка поврежденных участков к ремонту и способ сварки дополнительных ремонтных деталей

Поврежденные части автомобиля, изготовленные из листовой стали, — облицовка кабины, кузова и др. — ремонтируются в следующем порядке (рис. 5.6):

на поверхности панели 1 (рис. 5.6, а) наметить мелом контуры вырезаемой части 2 с учетом характера повреждения 3; зачистить кромки панели после удаления поврежденной части. Контуры вырезаемой части могут иметь круглую или другую форму, но должны быть без острых углов;

по контуру отверстия панели 1 (рис. 5.6, б) вырезать вставку (вкладыш) 2; зачистить и прихватить в точках 3 кромки вкладыша. Зазор между кромками отверстия и вкладыша должен быть не более 1 мм;

установить вкладыш в отверстие панели и прихватить свариваемые кромки, используя горелку для полуавтоматической сварки в углекислом газе или электрод с покрытием. Шаг между точками 80...120 мм;

приварить вкладыш к панели (рис. 5.6, в).

Материал вкладыша по составу и толщине должен соответствовать материалу ремонтируемой панели. Режим сварки выбирается согласно табл. 5.9...5.12. Если облицовка имеет кривизну (этим отличаются кузова легковых автомобилей, крылья и другие элементы), то вкладышу следует придать требуемую форму выкладкой по болванке, соответствующей форме ремонтируемого участка. Если от ремонтируемой панели (пол легкового автомобиля) не требуется декоративности, вместо вкладыша можно приварить к панели 1 (рис. 5.6, г) накладку 2. В тех случаях, когда деталь позволяет вести двустороннюю сварку, целесообразно сначала приварить к панели 1 (рис. 5.6, д) изнутри накладку 2, а затем к ней и панели вкладыш 3, в последующем сняв валик шва наждачным кругом. Деформацию после сварки следует устранить механической правкой.

Трубчатые конструкции, имеющие повреждения, могут быть восстановлены установкой дополнительных ремонтных деталей. Для этого поврежденный участок трубы 1 (рис. 5.6, е) вырезается, и к трубе приваривается вкладыш 2. При необходимости валик шва удаляется абразивным кругом. Трубы 1 (рис. 5.6, ж), которые будут расположены в закрытых участках, достаточно отремонтировать установкой наружных бужей 2. Элементы каркаса, имеющие различный профиль поперечного сечения, ремонтируются аналогичным способом.

### 5.6.3. Восстановление рамы

Основными дефектами рамы, устранимыми сваркой, являются усталостные трещины в лонжеронах и поперечинах, трещины по отверстиям под заклепки и износ отверстий под заклепки. Восстановление рамы сваркой начинается с подготовки ее к ремонту. Для этого необходимо раму очистить от грязи и старой краски, а затем

Таблица 5.12. Технические характеристики пневмомолотков

Параметр	PM-1	PM-2	PM-3
Давление воздуха, МПа	0,5	0,5	0,5
Расход воздуха, м <sup>3</sup> /мин	0,5...0,6	0,5...0,6	0,4...0,5
Число ударов за 1 мин	2400	1500	1000
Масса ударника, кг	0,2	0,4	0,54
Диаметр ударника, мм	28	28	28
Длина ударника, мм	50	90	120
Ход ударника, мм	61	99	139
Диаметр шланга, мм	13	13	13
Масса молотка, кг	5,5	5,6	6,5

удалить головки заклепок газовым резаком или воздушно-дуговым резаком РВД-4А-66. Газовая резка вызывает значительное оплавление основного металла и изменение его структуры в зоне термического влияния, поэтому предпочтительно применение воздушно-дуговой резки, когда электрическая дуга, возбуждаемая угольным электродом, нагревает основной металл до плавления, и расплавленный металл сдувается сжатым воздухом под давлением 0,4...0,5 МПа. Резку производят при прямой полярности током 400...430 А напряжением 35...40 В с вылетом электрода 60...70 мм. После этого заклепки выбивают из отверстий пневмомолотком типа PM (табл. 5.12):

Разобранные лонжероны и поперечины следует править для устранения деформаций. Правку производят под прессом или на специальном стенде. В процессе правки возможно образование трещин, поэтому правка предшествует сварке. Выправленную балку подвергают тщательному осмотру, предварительно очистив до металлического блеска подозрительные участки врачающейся металлической щеткой с последующим промыванием керосином и пропариванием насухо. При помощи лупы с семикратным увеличением внимательно просматривают поврежденные места, чтобы установить границы трещин. Более точно границы трещин можно определить магнитным дефектоскопом, используя порошок крошки, разведененный в керосине. На расстоянии не менее 50 мм от установленных концов трещин делают отметку керном. Как указывалось ранее, видимые концы трещины засверливают сверлом диаметром 3 мм. Подготовительные операции включают также прорезание трещин до отмеченной точки. Засверливание видимых концов трещины предотвращает возможное распространение ее в процессе прорезания. При прорезании обеспечивается зазор между завариваемыми кромками 1...3 мм. Видимый конец трещины может быть расположен на полке или сгибе профиля. В таком случае прорезь делаются по всей полке и по стенке не менее 50 мм от полки. Если трещина распространилась на стенку, то прорезь делают на 50 мм дальше видимого конца трещины. Если на одном участке сосредо-

Таблица 5.13. Электроды и режимы сварки при ремонте рамы

Марка электрода	Ток	Сила тока, А, при положении шва	
		нижнем	вертикальном
ОЗС-6	Постоянный или переменный	170...240	130...170
ВН-48	То же	160...190	130...150
УОНИ-13/55У	"	130...160	130...140
УОНИ-13/55	Постоянный	130...150	130...150

точено несколько трещин, то целесообразно такой участок вырезать и приварить дополнительную ремонтную деталь. При обнаружении трещин по отверстиям под заклепки необходимо вырезать поврежденный участок и приварить дополнительную деталь, изготовленную из выбракованной рамы или листовой стали Ст3.

Заварка трещин и приварка дополнительных ремонтных деталей производятся электродами ОЗС-6, ВН-48, УОНИ-13/55У или УОНИ-13/55 в режимах, указанных в табл. 5.13. Диаметр стержня электрода 4 мм. Перед употреблением электроды следует прокалить при температуре 140...160 °C в течение 1 ч.

Приварка дополнительных ремонтных деталей к раме производится встык. Последовательность наложения швов не должна допускать перегрева материала деталей.

По окончании сварочных работ необходимо зачистить шов и околошовную зону на ширину не менее 20 мм по обе стороны от шва и тщательно осмотреть его. Валик шва не должен выступать более чем на 2 мм над поверхностью основного металла. Затем шов упрочняется наклепом.

Сваркой восстанавливаются также рамы, имеющие изношенные отверстия и трещины у кромок отверстий. Такие отверстия завариваются на медной подкладке с последующим просверливанием отверстий диаметром на 1 мм меньше номинального размера. После этого отверстия раздаются до номинального диаметра и упрочняют кромки отверстия с двух сторон. Раздача и упрочнение отверстий производятся при помощи пресса с регулируемым усилием. Отремонтированные детали рамы после контроля поступают на сборку.

#### 5.6.4. Восстановление составных частей автомобиля, изготовленных с применением листовой стали

К таким частям относятся кабины, кузова, крылья, различные облицовки, настилы пола и т. д. Для них характерны следующие основные дефекты: повреждения в виде вмятин, обломов, разрывов, коррозионные поражения, трещины различного происхождения. Дефекты аналогичного характера могут иметь двери кабины, облицовка радиатора, капот, брызговики и др.

Панели кабины и кузова, облицовки и другие подобные детали автомобиля изготавливают из листовой стали. Необходимые форма и размеры кабины, кузова легкового автомобиля, крыльев, других подобных составных частей получают при помощи каркаса, покрытого листовой сталью. Каркас изготавляется из стальных профилей различного поперечного сечения, в зависимости от которого детали каркаса могут представлять собой закрытые профили, поставляемые промышленностью (прямоугольные и круглые трубы); открытые профили, поставляемые промышленностью, — П-образный профиль, уголок, тавр, швеллер, Z-образный профиль.

Элементы каркаса, имеющие дефекты, при невозможности их замены новыми могут быть отремонтированы сваркой. Для этого дефектные участки каркаса удаляются, устанавливаются внутренние вставки — бузи. Внутренние вставки при этом не должны образовывать суммарный зазор более 0,5 мм на сторону. Вставку следует приваривать в среде углекислого газа с помощью полуавтомата А-547У или ПДПГ-500, питаемого от преобразователя ГСГ-500-1 или ПДПГ-300 с селеновым выпрямителем ВСТ-ЗА. В качестве присадочных материалов используется проволока Св-08ГС или Св-08Г2С. В зависимости от толщины детали применяются режимы сварки, указанные в табл. 5.14.

Каркасы кабины, сидений автобусов, поручни и другие элементы, изготовленные из труб или профилированных материалов, имеющие дефекты, не устранимые слесарной обработкой, подлежат ремонту сваркой. Трещины в трубах завариваются. Если трещины расположены в изгибах труб, то после заварки снимается валок шва и к трубе приваривается накладка из листовой стали толщиной 4...5 мм. Участки, имеющие значительные дефекты, вырезаются и взамен привариваются вставки, изготовленные из такого же материала. В местестыка труб изнутри вставляется отрезок трубы меньшего диаметра. Сварка производится электрической дугой в атмосфере углекислого газа. Валок шва не должен быть выше 2...3 мм. Вставки, имеющие изгиб, изготавливаются из труб в холодном или горячем состоянии на трубогибочном стане. Для предотвращения появления трещин в изгибах трубы предварительно заполняется песком, а концы закрываются деревянной пробкой.

Таблица 5.14. Режимы сварки в углекислом газе каркаса кузова

Параметр	Толщина свариваемой детали, мм	
	0,6...1,0	1,2...2,0
Диаметр проволоки, мм	0,5...0,8	0,8...1,0
Сила тока, А	50...60	70...110
Напряжение дуги, В	18	18...20
Скорость сварки, м/ч	25...35	18...24
Расход газа, дм <sup>3</sup> /мин	6...7	10...12

Панели облицовки кузова, имеющие большие и глубокие вмятины, пробоины, усталостные трещины большой длины, коррозионные повреждения, не устранимые другим способом, ремонтируются установкой дополнительной ремонтной детали (вкладыша, накладки). Подготовка поврежденного участка к ремонту осуществляется согласно рекомендациям, приведенным в п. 5.6.2. Сварка производится электрической дугой в атмосфере углекислого газа проволокой Св-08ГС или Св-08Г2С. Сварка производится с использованием того же оборудования, которое использовалось при ремонте каркаса кузова. Ремонт панелей кузова может быть выполнен также кислородно-ацетиленовой сваркой (см. гл. 7) или контактной сваркой (см. гл. 10).

Другие элементы кузовов и кабин, изготовленные из листовой стали — двери, крышки багажников, крылья и др. — ремонтируются также сваркой с установкой дополнительной ремонтной детали. Для их изготовления используют тонколистовую холоднокатаную низкоуглеродистую сталь толщиной 0,7...1,5 мм. Стали толщиной до 1 мм применяются при ремонте облицовки, толщиной 1,5 мм — при ремонте элементов каркаса. Марки сталей, рекомендуемых для изготовления дополнительных ремонтных деталей, и их механические свойства приведены в табл. 5.15.

Дополнительные ремонтные детали, имеющие выпуклые сферические поверхности, изготавливаются на гофрмашине с последующей выколоткой сферы на пневматическом выколоточном станке. При необходимости производится растяжка заготовки по заданному профилю на растяжном прессе, штамповка на прессе или листоштамповочном молоте. Кромки заготовок необходимо обрезать и удалять заусенцы. В процессе растяжки в заготовке возможно образование трещин. Такие заготовки следует браковать. Подготовленная дополнительная ремонтная деталь приваривается с помощью полуавтоматической сварки в среде углекислого газа.

Таблица 5.15. Физико-механические свойства сталей, применяемых при восстановлении кузова

Категория вытяжная	Марка стали	$\sigma_t$ , МПа	$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , % не менее при толщине листа, мм		НВ не более
				0,5...	1,5...	
Весьма особо сложная вытяжка	08Ю	186	255...323	40	42	46
Особо сложная вытяжка	08Ю	196	255...323	36	40	46
Сложная вытяжка	08Ю	206	255...353	34	38	48
Весьма глубокая вытяжка	08кп	Не регламентируется	255...363	28	29	2

Перед сваркой ремонтные детали прихватывают отдельными точками с шагом 80...120 мм, предварительно очистив места приварки металлической щеткой. Затем проверяют качество подгонки и приваривают ремонтные детали с перекрытием краев на 25 мм, используя режим сварки:

Сила тока, А .....	90...100
Напряжение дуги, В .....	18...20
Вылет электрода, мм.....	8...10

После сварки сварные швы проковывают, зачищают и окончательно правят. При проковке швов используют комплект поддержек и молоток. При больших размерах ремонтной детали можно использовать полуавтоматическую сварку под флюсом. После сварки следует очистить шов и окколошовную зону и осмотреть в целом сварное соединение. Платформы, имеющие дефекты (трещины; вмятины, не устранимые слесарной обработкой; обломы), ремонтируют по технологии, приведенной выше. Элементы платформы, имеющие трещины, восстанавливаются заваркой трещин с постановкой усилительной накладки. Заключительный этап ремонта сваркой кузовов и кабин касается заварки трещин в арматурах — стеклоподъемниках, замках, ограничителях дверей, петлях дверей и т. п. Осуществляется это по общепринятой технологии.

#### 5.6.5. Восстановление деталей сцепления и системы управления

Трещины, возникшие в ведомом диске сцепления, завариваются, если диск имеет не более двух трещин длиной не более 30 мм. Диск изготовлен из стали 50 с ограниченной свариваемостью. При заварке трещин необходимо соблюдать технологические особенности сварки среднеуглеродистых сталей.

Маслоотражатель, имеющий не более двух трещин размером до 15 мм, также восстанавливается заваркой трещин. Завариваются также трещины длиной до 5 мм в выключателе сцепления. Рычаг выключения сцепления изготавливается из стали 35 и имеет удовлетворительную свариваемость. Для предотвращения новых трещин после сварки целесообразно рычаг предварительно подогреть до 150...200 °C.

Различные дефекты, устранимые сваркой, имеет фланец ведомого вала, изготовленный из стали 40Х. Сталь имеет ограниченную свариваемость. Заваркой устраняется износ по ширине и глубине паза под фиксирующую шайбу, износ отверстия под болты. Заварку изношенных пазов целесообразно вести электродом УОНИ-13/55, предварительно подогрев фланец равномерно газовым пламенем до температуры 150...200 °C.

Карданный вал, поступивший в ремонт, помимо дефектов, устранимых слесарно-механической обработкой, может иметь обломы и трещины на вилках. Такие вилки подлежат замене, для чего

сначала срезается сварной шов, а затем выпрессовывается бракованная вилка. Новая вилка приваривается к трубе кардана электродом УОНИ-13/55 непрерывным швом шириной 8 мм по всей окружности. Может быть использована и полуавтоматическая сварка под флюсом (полуавтомат АН-348А) с присадочной проволокой Св-08ГА при силе тока 260...280 А и напряжении дуги 28...30 В. Можно применить для сварки также порошковые проволоки с сердечником или использовать сварку в углекислом газе. Режимы сварки приведены в табл. 5.10.

Сварочные работы занимают ведущее место при ремонте деталей мостов. На автомобилях ЗИЛ-130, ГАЗ-53 картер заднего моста изготавливают сваркой верхней и нижней частей из стали 40. На автомобиле МАЗ-5335 картер отливают из стали 40Л. Во время эксплуатации в сварных швах могут появиться трещины, механические повреждения, износы. Многие дефекты деталей мостов устраняются наплавкой (см. гл. 6). Механические повреждения заднего моста устраняются по общепринятой технологии сварки. При появлении трещин длиной до 200 мм, не захватывающих отверстий под кожух полуосей, картер восстанавливается заваркой. Трещины на фланце картера свариваются, если они не проходят через два рядом расположенных или расположенных в разных местах резьбовых отверстия. Для этого картер устанавливают на подставку стола радиально-сверлильного станка фланцем вверх, затем диаметр дефектного отверстия увеличивают на 2 мм в сторону и трещину обрабатывают на всю длину. Сварку производят электродом УОНИ-13/55 с диаметром стержня 5 мм, силой тока 210...240 А при обратной полярности. После сварки абразивным кругом снимают валик шва заподлицо с плоскостью фланца картера. Затем по кондуктору сверлят во фланце отверстие нужного размера и нарезают резьбу. Заваркой можно восстановить изношенные отверстия под разжимные втулки полуоси, изготовленной из стали 45РП. Сварку можно производить электродом УОНИ-13/55 постоянным током силой 130...150 А. Напряжение дуги 26...28 В. Перед употреблением электрод следует прокалить. Для предотвращения появления трещин при сварке необходимо свариваемый участок нагреть до температуры 150...160 °С. После заварки производится зачистка шва и обычная слесарно-механическая обработка.

## Глава 6. ДУГОВАЯ НАПЛАВКА СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ

### 6.1. Легирование наплавленного металла

Наплавкой восстанавливаются детали различного химического состава. Однако для характеристики наплавленного металла данных только химического состава основного металла недостаточно.

Работоспособность наплавленного металла одного и того же химического состава зависит во многом от скорости охлаждения, режима термообработки и, наконец, от ориентации первичных кристаллов по отношению к разрушающим нагрузкам. Поэтому важнейшим свойством наплавленного слоя является способность его сопротивляться определенным видам изнашивания. Для автомобильных деталей характерен износ при трении металла о металл, на который влияет много факторов: соотношение твердости трущихся поверхностей, удельная нагрузка, микроструктура наплавленного металла.

Для наплавки деталей, работающих в условиях изнашивания, чаще всего используют низколегированные стали 15Г2Х, 30ХГСА, 20Х2Г2М, высокоуглеродистую 80, марганцовистую 65Г. Нужные свойства наплавленного металла получают введением в него легирующих компонентов различными способами. Основными признаками для оценки метода легирования являются: надежность получения заданного химического состава металла наплавленного слоя при возможных колебаниях режимов наплавки, однородность наплавленного металла по объему, экономичность и удобство легирования. При оценке экономичности следует учитывать возможные потери (угар) того или иного легирующего элемента при выбранном методе наплавки. Легирование при наплавке возможно за счет диффузионных процессов и обменных реакций, происходящих в шлаке и газовой среде при различных компонентах присадочного материала. Легирование за счет химических реакций может происходить, например, при наплавке под флюсами АН-348А, ОСЦ-45, АН-60 и др. В газовой фазе легирование может происходить при наплавке некоторых марок сталей в атмосфере азота или воздуха, когда в наплавленном металле растворяется некоторое количество азота, повышающего его износостойкость. Наибольшее распространение получило легирование сварочной ванны металлическими сплавами и чистыми металлами.

При ручной наплавке легирование осуществляется введением легирующих элементов в покрытие электрода или в электродный стержень. Применяют и комбинированный метод, вводя легирующие элементы и в покрытие, и в стержень. Легирование наплавленного металла протекает на стадии капли и в сварочной ванне. Концентрация легирующего элемента пропорциональна толщине покрытия. При некоторой толщине покрытия, называемой эффективной толщиной, концентрация элементов достигает максимального значения и дальнейшее увеличение толщины покрытия не приводит к изменению содержания элементов в капле. Таким образом, легирование наплавленного металла происходит большей частью в сварочной ванне. Металлические компоненты покрытия, минуя каплю, стекают в хвостовую часть ванны и не успевают раствориться и равномерно распределиться в расплаве, что приводит к макрохимической неоднородности расплавленного металла.

Такое явление может иметь и положительный эффект — нерастянутые в сварочной ванне компоненты, не вызывая охрупчивания наплавленного металла, могут способствовать повышению износостойкости восстановленной поверхности.

При дуговой наплавке под слоем флюса легирование наплавленного металла может производиться: введением необходимых компонентов в электродную проволоку или электродную ленту в виде металлов; введением этих элементов в сердцевину проволоки или ленты в виде шихты (порошковые проволоки и ленты); использованием для наплавки низкоуглеродистых сталей флюсов, содержащих различные ферросплавы; наплавкой по неподвижной присадке в виде прутка, ленты, порошка или пасты с полным расплавлением их электрической дугой. Часто используется различное сочетание этих способов легирования. Изменение параметров режима технологического процесса при наплавке под флюсом изменяет соотношение массы шлака и расплавившегося электрода и кинетические условия их взаимодействия, характер поступления в ванну легирующих элементов. От того, что является основным источником легирования — электродный материал или флюс, — зависят свойства наплавленного слоя.

При уменьшении силы тока увеличивается время пребывания металла в состоянии капли. Если наплавку при этом производить под активными флюсами — силикатами (АН-348А, ОСЦ-45, АН-60), то увеличивается время взаимодействия шлака с легирующими элементами электродной проволоки, и они окисляются еще до попадания в сварочную ванну. Таким образом, легирование наплавленного металла происходит за счет флюса кремнием и марганцем. При увеличении силы тока доля легирующих элементов, попадающих в сварочную ванну, увеличивается. Доля легирующих элементов из присадочной проволоки в металле сварочной ванны увеличивается и в случае применения малоокислительных флюсов. Легирование наплавленного металла через флюс ограничивается непродолжительностью процесса наплавки, когда часть металла переходит в шлак, не вступая во взаимодействие с расплавленным металлом в сварочной ванне.

Перспективным способом получения наплавленного слоя является наплавка по неподвижной легирующей присадке. Наплавку можно вести плавящимися и неплавящимися электродами под флюсом или в защитной газовой среде. Применительно к авторемонтному производству этот технологический процесс разработан еще недостаточно, за исключением ремонта чугунных коленчатых валов с нанесением покрытия с последующим оплавлением (см. гл. 11).

Выбор способа легирования требует учета многих факторов. Так, требования к стабильности и однородности состава металла при наплавке деталей, когда большое значение имеет износ при трении металла о металл, будут иными, чем при наплавке дета-

лей, испытывающих абразивный износ. Порошковая проволока дороже углеродистой и низколегированной проволоки сплошного сечения. Применение этих сравнительно дорогостоящих проволок целесообразно, когда другие виды присадочных материалов не дают желаемого результата. Тем не менее многие задачи легирования при дуговой наплавке могут быть решены применением порошковой проволоки.

Для наплавки деталей автомобиля применяются проволоки как сплошного сечения (см. табл. 2.2), так и порошковые проволоки. При некоторых видах наплавки используются гранулированные порошки, получаемые распылением струи жидкого сплава в воде или в газе высокого давления и имеющие сферическую или осколочную форму. Сфериодизированные порошки имеют хорошую сыпучесть, что исключает их застrevание и зависание в дозирующих устройствах. Размер частиц порошков 40...100 мкм.

При наплавке используются как плавленые, так и керамические флюсы, которые применяются при сварке углеродистых и легированных сталей. Наплавка некоторых деталей автомобиля производится в среде углекислого газа. Естественно, легирование наплавленного металла в этом случае производится за счет проволоки сплошного сечения или порошковой проволоки.

Технологически при осуществлении наплавки требуется минимальное перемешивание наплавленного слоя с основным металлом для обеспечения заданного химического состава слоя и предотвращения трещин, а также для обеспечения минимальной зоны термического влияния. При минимальном перемешивании наплавленного слоя с основным металлом к минимуму сводятся деформации и напряжения. Это требование удовлетворяется, если к минимуму сводится глубина проплавления регулированием параметров режима, погонной энергии и другими технологическими приемами.

## 6.2. Способы наплавки

Различные способы наплавки под флюсом показаны на рис. 6.1. Наплавка лентой снижает перемешивание наплавленного слоя с основным по сравнению с наплавкой проволокой (при одинаковой производительности).

При многоэлектродной наплавке несколько электродов одновременно подают в зону дуги, причем дуга периодически перемещается с одного электрода на другой, т. е. постоянно горит только одна дуга, а не несколько, с образованием общей широкой сварочной ванны с небольшой глубиной проплавления. В отличие от сварки электроды при наплавке располагаются не вдоль, а поперек движения наплавочного аппарата, образуя в процессе сварки широкий наплавленный слой.

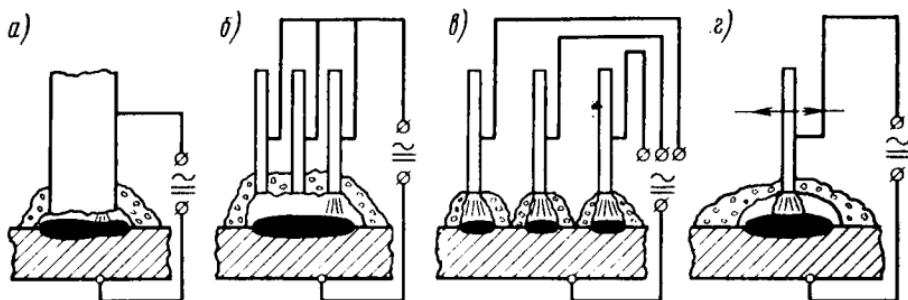


Рис. 6.1. Способы наплавки под флюсом:

*а* — наплавка электродной лентой; *б* — многоэлектродная; *в* — многодуговая; *г* — с возвратно-поступательным движением электрода

При многодуговой наплавке используется одновременно несколько наплавочных аппаратов, питающих каждую дугу током или один аппарат с несколькими изолированными друг от друга электродами. В этом случае каждый электрод формирует свой валик, не образуя общей сварочной ванны. При этом производительность наплавки повышается вследствие применения нескольких сварочных дуг небольшой мощности.

При ремонте автомобильных деталей важное значение имеет наплавка тел вращения. Ручная или полуавтоматическая наплавка таких тел ведется отдельными валиками вдоль образующей или круговым валиком. При механизированной наплавке тела вращения наплавку следует производить по винтовой линии или кольцевыми валиками с прерывистым смещением на шаг. С успехом может быть использована и широкослойная наплавка ленточным электродом, особенно для наплавки деталей больших диаметров. В некоторых случаях, например при наплавке кулачков распределительного вала, целесообразно иметь поперечные колебания электродов.

Наплавка тел вращения затрудняется главным образом опасностью стекания расплавленного металла, причем тем большей, чем меньше диаметр детали. Стекание жидкого металла предотвращается смещением электрода относительно оси изделия против направления вращения детали на 10...50 мм. Это позволяет осуществить плавление металла, когда наплавляемое место находится в зените вращающейся детали и при дальнейшем перемещении этого места наплавленный металл успевает кристаллизоваться. При наплавке одним электродом скорость вращения детали в зависимости от диаметра детали составляет 10...60 м/ч. Чем меньше диаметр детали, тем меньше должна быть окружная скорость. Механизированная наплавка деталей диаметром менее 40 м нецелесообразна из-за стекания жидкого металла.

Наплавкой можно восстанавливать детали, имеющие коническую поверхность, если образующая конуса наклонена по отноше-

нию к горизонтальной оси вращения под углом не более 20° при автоматической наплавке под флюсом и 30...40° при наплавке вручную. При больших углах используется специальный станок с манипулятором, позволяющим выдерживать наплавляемую поверхность все время в горизонтальном положении. Тела вращения сложной формы можно наплавлять, если есть возможность обеспечить горизонтальное положение оси вращения. Наплавку сложных деталей целесообразно вести вручную. Вручную следует производить также наплавку внутренних поверхностей.

Скорость наплавки деталей, например коленчатых валов, может быть повышена в 2..3 раза, если в зону наплавки одновременно подать несколько электродов. Электроды плавятся за счет тепла ближайшей электродуги, постоянно перемещающейся по электродам. Для наплавки используется проволока Нп-30ХГСА диаметром 1,6 мм. Наплавка производится при помощи головки А-580М, снабженной источником питания — селеновым выпрямителем. Режим наплавки: ток 300...320 А, напряжение 26...28 В, частота вращения вала 0,65...0,80 мин<sup>-1</sup>, скорость подачи проволоки 49...58 м/ч.

По другому технологическому процессу при наплавке пользуются раздельными сварочными ваннами. На поверхность шейки в этом случае за один оборот одновременно наплавляют без перекрытия параллельные кольцевые валики, число которых зависит от длины наращиваемой шейки и ограничивается мощностью источника тока. При следующем обороте группа электродов заплавляет промежутки между первыми валиками. При этом виде многоэлектродной наплавки, используя проволоки разнообразного состава, можно получить наплавленный слой различного состава.

Техника и технология наплавки должны обеспечивать максимальную производительность восстановления деталей, т. е. предусмотреть максимальное количество расплавляемого металла в единицу времени. Практикой установлена следующая ориентировочная производительность различных способов наплавки (кг/ч):

Ручная дуговая наплавка покрытыми электродами .....	0,8...3,0
Автоматическая под флюсом одним электродом .....	2...15
Автоматическая под флюсом лентой .....	5...30
В среде углекислого газа .....	1,5...8
Самозащитной порошковой проволокой .....	2...9
Самозащитной порошковой лентой .....	10...20

Наплавку производят обычно ниточными валиками с перекрытием предыдущего валика на 1/3 его ширины или валиками с перечными колебаниями электрода; иногда наплавляют ниточными валиками на некотором расстоянии друг от друга, затем после удаления шлака со всех валиков наплавляют в свободные промежутки.

## 6.3. Восстановление стальных деталей дуговой наплавкой

### 6.3.1. Наплавка вручную

Электрической дугой можно наплавлять стальные детали вручную покрытыми электродами, автоматическим или полуавтоматическим способом под флюсом, а также в среде углекислого газа.

Ручная электродуговая наплавка применяется при ремонте деталей, имеющих местные дефекты: износ шпоночных канавок, износ сферической поверхности и торцов рычага нажимного диска сцепления, износ паза под рычаг выключения сцепления и др. Типичным примером наплавки вручную является ремонт вилки переключения первой передачи и заднего хода автомобиля ЗИЛ-130.

Вилка изготавливается из стали 10 и цементируется на глубину 0,3...0,5 мм. Твердость поверхностного слоя HRC<sub>9</sub> 56...62. Вилки, имеющие трещины любого характера, бракуются. Наплавкой восстанавливаются вилки, имеющие износ пазов более допустимого под фланец каретки синхронизатора по глубине паза, износ рабочей поверхности щек и лапок вилки по торцам. Изношенные пазы наплавляют электродом УОНИ-13/55 и отжигают на высокочастотной установке с последующим фрезерованием до номинального размера на вертикально-фрезерном станке. После этого вилка подвергается поверхностной закалке током высокой частоты. Аналогичным способом восстанавливаются изготовленные вилки переключения второй-третьей, четвертой-пятой передач. Режимы ручной электродуговой наплавки примерно такие же, как при сварке. Изношенные торцы вилок наплавляют твердым сплавом сормайт № 1 газовой горелкой (см. гл. 7).

Детали, изготовленные из среднесуглеродистых и низколегированных сталей, — скользящая вилка карданной передачи (сталь 45), распределительный вал (сталь 45), крестовина заднего моста (18ХГТ) и др. — перед наплавкой подогреваются в печи или газовой горелкой до температуры 150...200 °С, затем производится наплавка электродом УОНИ-13/55 при силе тока 200 А и напряжении дуги 30...35 В.

Для получения наплавленного слоя средней твердости могут быть использованы также электроды марок У-340-ПБ, ОЗН-300, ОЗН-400 (см. табл. 2.16) и др. Режим наплавки этими электродами определяется толщиной детали, ее размерами и другими факторами. Наплавка производится постоянным или переменным током с использованием трансформаторов ТС-300, ТС-500, сварочных преобразователей ПСО-300, ПС-500, САМ-300-2 и др.

При наплавке вручную изношенных шлиц полуоси из стали 40РП, закаленной до HRC<sub>9</sub> 50...55, можно применять электроды ОЗН-300, УОНИ-13/55 или У-340-ПБ. Наплавка производится постоянным током силой 210...240 А обратной полярности. Диаметр электрода 5 мм. Наплавленную полуось проверяют на биение и при необходимости правят, а затем обтачивают до номинального

размера, снимают фаску и фрезеруют шлицы. После этого шлицевой конец полуоси закаливают т. в. ч. с температурой 850...900 °C, охлаждая в масле. Отпуск осуществляют при температуре 575...600 °C с последующим охлаждением на воздухе. Изношенные отверстия полуоси под шпильки, а также конусные отверстия под втулки шпилек рассверливают, увеличивая диаметр на 1,0...1,5 мм, и наплавляют электродом Э-42 диаметром 4 мм током 160...190 А. Наплавленные отверстия на торцах фланца подрезают с двух сторон заподлицо с основным металлом и сверлят отверстия номинального диаметра с последующей зенковкой.

При ремонте автомобильных деталей более эффективно применение автоматической и полуавтоматической наплавок под флюсом.

### 6.3.2. Механизированная наплавка под флюсом

При наплавке с использованием флюса сварочная дуга горит под флюсом между электродной проволокой и изделием, образуя газовый пузырь и плавя металл. При кристаллизации расплавленного металла сварочной микрованны образуется сварной шов.

Достоинством наплавки под флюсом является высокое качество наплавленного металла, поскольку весь процесс плавления, кристаллизации и охлаждения происходит без доступа воздуха. Сам флюс, участвуя в металлургическом процессе сварки или наплавки, способствует получению металла шва заданного состава. Под слоем флюса жидкий металл кристаллизуется медленно, в результате чего из сварочной ванны успевают выделиться растворенные газы и шлаковые включения, что также способствует улучшению качества шва. Для наплавки под флюсом используется электродная проволока, причем электрический ток подводится к ней на небольшом расстоянии от дуги. Это позволяет при необходимости использовать повышенные сварочные токи, позволяющие увеличить скорость наплавки. Достоинством наплавки под флюсом является также отсутствие разбрызгивания металла благодаря статическому давлению флюса. Важным достоинством наплавки под флюсом является и возможность автоматизации технологического процесса.

К недостаткам наплавки под флюсом относится возможность наплавки только в нижнем положении шва (допускается наклон до 15°) и неприемлемость ее применения для изделий сложной конструкции. Вследствие этих причин в авторемонтном производстве нашли широкое применение наплавочные работы под флюсом.

Схема электродуговой наплавки под флюсом приведена на рис. 3.13. При наплавке деталь совершает вращательное движение, а наплавочная головка — поступательное. При этом электродная проволока подается с некоторым смещением от зенита наплавляемой поверхности в сторону, противоположную вращению детали. Это предотвращает стекание жидкого металла сварочной ванны.

Смещение электродной проволоки для деталей диаметром 40...50 мм составляет 4...6 мм, а для деталей диаметром 60...80 мм — 8...10 мм.

При наплавке плоской поверхности наплавочная головка или деталь совершают поступательное движение со смещением электродной проволоки на 3...5 мм поперек движения после наложения шва заданной длины. Наплавку шлицев производят в продольном направлении путем заплавки впадин, устанавливая конец электродной проволоки на середине впадины между шлицами.

Электродная проволока при наплавке подбирается в зависимости от материала восстанавливаемой детали и предъявляемых к ней требований в условиях эксплуатации. Для наплавки деталей, изготовленных из углеродистых сталей 30, 40, 45, используют проволоку из углеродистых сталей Нп-30, Нп-40, Нп-50, Нп-65 или из низколегированной стали — Нп-30ХГСА. Наплавку деталей из сталей 30Х, 35Х, 40Х и других низколегированных сталей производят проволокой Нп-30ХГСА или других марок. Для автоматической наплавки обычно применяют проволоку диаметром 1,6 мм для деталей диаметром до 70 мм и 2 мм диаметром 80...100 мм.

Закаленные детали после наплавки и последующей механической обработки повторно закаливаются т. в. ч. для получения необходимой твердости поверхности.

Флюсы для автоматической наплавки должны способствовать устойчивому горению дуги, образованию плотного наплавленного металла и шлака, легко удаляемого с поверхности металла. Температура плавления флюса должна быть на 200...300 °C ниже температуры плавления металла. Таким требованиям отвечают флюсы марок АН-348А, АНК-18 и др. В необходимых случаях во флюс вводят легирующие компоненты, например феррохром, графит. Режимы наплавки устанавливаются в зависимости от диаметра обрабатываемой детали (табл. 6.1), напряжение холостого хода берется 30...36 В, рабочее — 23...32 В.

Для наплавки деталей с большим износом рекомендуется применять автоматическую наплавку порошковой проволокой под флюсом или открытой дугой без дополнительной защиты (табл. 6.2). Для повышения твердости наплавленной поверхности последняя подвергается пластической деформации.

Таблица 6.1. Режимы наплавки цилиндрических поверхностей под флюсом

Диаметр детали, мм	Сила тока, А	Скорость подачи проволоки, м/ч	Скорость наплавки, м/ч	Смещение электрода, мм
40...50	110...130	70...100	14...18	4...5
60...70	170...180	70...120	20...24	5...6
80...90	170...200	120...150	20...24	6...7
90...100	170...200	120...150	20...24	7...8

Таблица 6.2. Режимы наплавки порошковой проволокой

Марка проволоки и диаметр детали, мм	Сила тока, А	Напряжение дуги, В	Скорость наплавки, м/ч
ПП-АН1245:			
50...65	200...230	22...24	35...40
65...75	240...250	24...26	30...35
ПП-ЗХ5Г2М-0:			
50...65	160...180	22...24	35...40
65...75	200...220	24...26	25...30
ПП-АН106:			
50...65	160...180	22...24	20...25
65...75	200...220	24...26	15...20
ПП-ЗХ13-0:			
50...65	160...200	22...24	30...40
65...75	200...220	24...26	25...30
ПП-ТН250-0:			
50...65	240...260	23...25	50...60
65...75	250...270	23...25	40...50
ПП-25Х5ФМС-0:			
50...65	200...220	22...24	30...40
65...75	240...270	24...26	25...35

Примечание. Подача — 4...5 мм/об. До пластической деформации твердость ниже на 60...70 НВ.

Наплавкой под флюсом восстанавливаются коленчатые валы, цапфы картера заднего моста, полуось заднего моста и многие другие детали автомобиля.

### 6.3.3. Восстановление наплавкой коленчатых валов

Основные дефекты: износ коренных и шатунных шеек, шпоночных канавок, отверстий под штифты крепления маховика резьбовых соединений, посадочных мест распределительной шестерни, шкива, наружного кольца шарикоподшипника в заднем торце вала. Местные дефекты — износ шпоночных канавок, отверстий под штифты — восстанавливаются наплавкой вручную, как это делается по технологии, рассмотренной ранее. Другие дефекты, связанные с износом, устраняются автоматической сваркой под флюсом.

Коленчатый вал перед ремонтом необходимо разобрать — удалить шпонки, извлечь из масляных каналов заглушки и пробки, выпрессовать подшипник первичного вала коробки передач, снять противовесы. Разобранный коленчатый вал очистить от асфальтосмолистых, масляных и других загрязнений. После этого установить коленчатые валы, подлежащие наплавке, если размеры вала вы-

Таблица 6.3. Свойства коленчатых валов, восстановленных различными способами

Способ наращивания	$HRC_{3,p}/HRC_{3,n}$	$\sigma_{-1p}/\sigma_{-1n}$
Хромирование	0,4...1,2	0,5...0,8
Железнение с последующим хромированием	0,4...1,2	1
Вибродуговая наплавка в жидкости	0,7...0,9	0,4...0,5
Автоматическая наплавка в среде $CO_2$	0,8...0,9	0,6...0,7
Автоматическая наплавка порошковой проволокой	0,9...1,0	0,6...0,7
Автоматическая наплавка под флюсом с добавлением феррохрома и графита	0,8...1,1	0,7...0,8
Автоматическая наплавка под флюсом с высокотемпературным отпуском, после механической обработки закалка т.в.ч.	0,9...1,0	1

шли за пределы, предусмотренные для восстановления методом ремонтных размеров.

Для восстановления изношенных поверхностей коленчатых валов, в первую очередь коренных и шатунных шеек, применяются различные способы наращивания (табл. 6.3). Однако многие из них неприемлемы вследствие низкой износостойкости восстановленной поверхности, невысокого предела выносливости, неустойчивости свойств наложенного слоя, низкой производительности процесса восстановления и других причин. На практике основным способом восстановления коленчатых валов, вышедших за пределы последнего ремонтного размера не более чем на 0,35 м, является автоматическая наплавка под слоем флюса.

При капитальном ремонте автомобилей применяются в основном три способа восстановления коленчатых валов: технология, разработанная НИИАТ и ГосНИТИ, технология Саратовского политехнического института (СПИ) и технология НПО Казавтотранстехника.

В первом случае наплавка осуществляется пружинной проволокой второго класса (ГОСТ 9389—75), соответствующей примерно проволоке Нп-80 или Нп-65Г, под флюсом АН-348А с добавлением 2,5 % феррохрома и 2 % графита с последующим черновым и чистовым шлифованием шеек до исходного размера, суперфинишированием и полированием. Режимы наплавки: сила тока 190...200 А; напряжение дуги 22...24 В; частота вращения вала 3  $min^{-1}$ ; продольная подача наплавочной головки 4 мм/оборот; скорость подачи электродной проволоки 2,4 м/мин; диаметр проволоки 1,6...1,8 мм.

Несмотря на сравнительную простоту и возможность обеспечения высокой износостойкости поверхности шеек, такой технологический процесс имеет существенные недостатки: появление трещин при правке вала вследствие низкой пластичности наплавленного

слоя, образование микротрещин на поверхности шеек при шлифовании и нестабильность свойств наплавленного металла из-за изменения компонентов флюса. Все это приводит к значительному снижению предела выносливости восстановленного коленчатого вала.

По технологии СПИ наплавка шеек коленчатого вала производится проволокой Нп-30ХГСА под слоем флюса АН-348А или проволокой Нп-40Х2Г2М под флюсом ПН-15М. Режимы наплавки: сила тока 180...220 А; напряжение дуги 25...30 В; продольная подача 4...6 мм/оборот; скорость подачи проволоки 1,6...2,1 м/мин; частота вращения вала при наплавке коренных шеек 2...2,5 мин<sup>-1</sup>, шатунных 2,5...3 мин<sup>-1</sup>. Технология СПИ предусматривает также одновременную наплавку шеек коленчатого вала четырьмя электродами диаметром 1,6 мм при силе тока 300...320 А, напряжении 26...28 В, скорости подачи проволоки 59...58 м/ч, частоте вращения вала 0,65...58 мин<sup>-1</sup>. После наплавки коленчатый вал нормализуют, правят, обрабатывают точением с последующим полированием до исходного размера. Завершающими операциями являются закалка т.в.ч. и чистовая обработка поверхности шеек. Достоинствами технологии СПИ являются: исключение образования трещин при правке и механической обработке, поскольку после нормализации вал приобретает высокую пластичность; возможность применения для наплавки проволоки с высокими механическими свойствами, обеспечивающими необходимую износостойкость шеек. Недостатки этой технологии — снижение качества коленчатого вала, достигнутого при термической обработке на заводе-изготовителе, и повышенные затраты на изготовление и эксплуатацию оборудования для нормализации.

Технология НПО Казавтотранстехника предусматривает наплавку пружинной проволокой второго класса под слоем флюса АН-348А с последующим высоким отпуском, что позволяет сохранить исходное улучшение коленчатого вала и снижает затраты на термическую обработку. Предел выносливости в этом случае может достигнуть предела выносливости нового вала при соотношении  $HRC_{3, p}/HRC_{3, n} = 0,9...1$ , где индекс "р" относится к валу после ремонта, "н" — новому.

Наплавку коленчатых валов двигателей ЗИЛ-130 и других автомобилей ведут при режимах: сила тока 180...250 А; напряжение дуги 26...30 В; частота вращения вала 2,5...3,0 мин<sup>-1</sup>; шаг наплавки 4...5 мм; скорость подачи проволоки 1,8...3,0 мин<sup>-1</sup>; смещение электрода с зенита 10 мм; вылет электрода 15...20 мм; диаметр электродной проволоки 1,6...1,8 мм. Наплавка ведется постоянным током обратной полярности, например на установке У-652.

Для наплавки шатунных шеек коленчатый вал устанавливают в центросмесители наплавочного станка, закрепляют в положении для наплавки шатунных шеек, в бункер подают флюс, устанавливают режим наплавки, приведенный выше, наплавляют сначала

галтельный кольцевой валик, а затем включают продольную подачу и наплавляют шейку по всей длине. Аналогичным способом наплавляют все другие шатунные шейки, после чего вал подвергают контролю на прямолинейность оси коренных шеек и при прогибе более допустимого правят. При наращивании коренных шеек коленчатый вал устанавливают в центросмесители станка, закрепляют в положении для наплавки коренных шеек и наплавляют по такой же технологии, которая предусмотрена для шатунных шеек. Удлинение вала может быть компенсировано наплавкой бурта опорной коренной шейки с последующей механической обработкой.

Окалину, образовавшуюся на поверхности вала при нагреве в печи, снимают в ванне с раствором 20 % серной кислоты и 3 % поваренной соли (остальное вода) при 50 °C. После выдержки в кислотной ванне в течение 25 мин поверхность коленчатого вала нейтрализуется в 5...10 %-ном щелочном растворе и промывается чистой водой при 60 °C. Очищенный от окалины коленчатый вал контролируют на прямолинейность оси коренных шеек, смешение противовесов, биссисе носка, фланца и маховика, установив его шейками под распределительную шестерню и задний сальник на контрольные призмы.

#### 6.3.4. Восстановление наплавкой деталей мостов, систем управления и коробки передач

К деталям, где часто применяется наплавка, относятся полуоси.

Полуоси изготавливаются из низколегированных сталей с ограниченной свариваемостью — 40РП, 40ХНМА и др. Наплавляют изношенные шлицы полуосей под флюсом или вручную.

При автоматической наплавке изношенных полуосей под флюсом восстановление поверхности производят продольными швами. Наплавку следует вести крест-накрест: сначала с одной стороны полуоси, потом — с противоположной, затем — справа, слева и т. д. Режим наплавки:

Ток постоянный .....	обратной полярности
Сила тока, А .....	220...240
Напряжение, В .....	26...28
Проволока .....	Ип-30ХГСА диаметром 1,7...1,8 мм
Шаг наплавки, мм/оборот .....	12
Скорость наплавки, м/ч .....	14,4
Скорость подачи проволоки, м/ч .....	137
Флюс .....	АН-348А мелкой грануляции

Наплавка производится с предварительным нагревом. Температуру подогрева шлиц полуоси диаметром 70 мм, изготовленной, например, из стали 40ХНМА, можно определить расчетным путем [формулы (5.1)...(5.4)]. Сталь 40ХНМА содержит, %: углерода 0,36...0,46; хрома 0,6...0,9; марганца 0,5...0,8; никеля 1,25...1,75,

молибдена 0,15...0,25. На самозакаливание стали при наплавке влияют легирующие элементы, в первую очередь углерод; толщина (диаметр) наплавляемой детали. Влияние легирующих элементов учитывается через углеродный эквивалент  $C_3$ , определяемый по формуле (5.1). Поправка на диаметр к углеродному эквиваленту С находится по формуле (5.2), суммарный углеродный эквивалент  $C_3$  — по формуле (5.3), необходимая температура подогрева детали — по формуле (5.4). Применительно к рассматриваемому случаю при среднем значении легирующих элементов  $C_3 = 0,65$ ;  $C_3 = 0,88$ ;  $T_u = 280$  °С.

Элементы заднего моста при износе могут быть восстановлены наплавкой под слоем флюса. Наиболее часто встречающиеся дефекты заднего моста: износ шейки под наружный подшипник ступицы колеса, шейки под внутренний подшипник ступицы колеса, срыв резьбы под гайку роликового подшипника. При автоматической наплавке изношенных шеек под наружный и внутренний подшипники используют проволоку Нп-45 диаметром 1,2 мм и флюсы АН-348А или АН-348Ш мелкой грануляции. Наплавка ведется постоянным током обратной полярности при напряжении 25...27 В, силе тока 120...140 А. Деталь вращается с частотой 1,7...1,8 мин<sup>-1</sup>. Скорость наплавки 23...26 м/ч. Изношенную резьбу под гайки роликового подшипника сначала протачивают (снимают резьбу), заваривают шпоночный паз, затем наплавляют электродом УОНИ-13/55 диаметром 5 мм током силой 210...240 А обратной полярности. После механической обработки наплавленного слоя нарезают резьбу.

Автоматическим способом под флюсом наплавляют изношенную направляющую шейку скользящей вилки карданной передачи и изношенные шлицы. Присадочная проволока Нп-30ХГСА диаметром 1,6 мм, флюс АН-348А мелкой грануляции. При наплавке детали первый валик наплавляют по окружности без продольной подачи. После этого наплавляют с частичным, в одну треть, перекрытием предыдущих валиков следующие валики. Наплавленный слой должен быть ровным, без пропусков, раковин, шлаковых включений. Режим наплавки:

Сила тока, А .....	220...240
Напряжение дуги, В .....	26...28
Скорость подачи проволоки, м/мин .....	2
Частота вращения детали, мин <sup>-1</sup> .....	2
Шаг наплавки, мм/оборот .....	4
Смещение электрода от зенита в сторону, противоположную вращению детали, мм .....	8
Вылет электрода из муфты, мм .....	18...20

Наплавленную деталь нормализуют при температуре 860 °С.

Наплавкой под флюсом восстанавливаются и изношенные шлицы скользящей вилки промежуточного карданного вала по наружному диаметру и толщине присадочной проволокой Нп-30ХГСА с

Таблица 6.4. Выносливость поворотных цапф при восстановлении с наплавкой и без наплавки галтели

Техническое состояние цапфы	Предел выносливости при симметричном цикле нагружения $\sigma_{-1\text{раст}}$ , МПа	Отношение $\sigma_{-1\text{раст}}^{\text{восстановленной детали}} \text{ к } \sigma_{-1\text{раст}}^{\text{новой}}, \%$
Новая	140	—
Наплавленная под легирующим флюсом с заплавкой галтели (флюс АН-348А + 0,5 % графита + 0,5 % феррохрома, проволока Св-08)	165...170	118...121
То же без заплавки галтели	110	80

использованием флюса АН-348А мелкой грануляции. Режим наплавки:

Сила тока, А .....	200...220
Напряжение дуги, В .....	25...28
Скорость подачи проволоки, мин <sup>-1</sup> .....	2,3
Шаг наплавки, мм/оборот .....	12
Вылет электрода, мм .....	17...18

Наплавленная деталь подвергается закалке с последующим отпуском.

Наплавкой под флюсом восстанавливаются многие другие детали автомобиля. Наплавка осуществляется с использованием флюса

Таблица 6.5. Режимы автоматической наплавки деталей под флюсом

Наплавляемый элемент	Место наплавки	Электродная проволока	Частота вращения детали, мин <sup>-1</sup>	Шаг наплавки, мм/оборот
Шлицевой конец карданного вала	Шлицы	Нп-30ХГСА	240...250	—
Карданный вал с вилкой	Приварка вилки к трубе	Св-08	1,8...2,0	1,5...2,0
Промежуточный вал со шлицевым концом	Шейка под съемник	Нп-50	2,0...2,2	3,5...4,0
Шлицевой конец промежуточного вала	Шлицы	Нп-30ХГСА	240...250	—
Разжимной кулак тормозного механизма	Шейка под подшипник	Нп-50	3,0...3,5	4,2...4,3
Фланец ведомого вала коробки передач	Шейка под сальник	Нп-50	2,5...3,0	3,5...4,0

АН-348А. Диаметр электродной проволоки 1,6 мм. С использованием флюса АН-348А, легированного графитом (0,5 %) и феррохромом № 6 (0,5 %), производилась наплавка поворотных цапф. Усталостные трещины в цапфах обычно возникают в галтели шейки под внутренний подшипник. В качестве присадочного материала служит проволока Нп-18ХГСА, Св-08. Режим наплавки:

Напряжение дуги, В .....	24...26
Сила тока, А .....	180...190
Скорость подачи проволоки, м/мин .....	1,7...1,9
Шаг наплавки, мм/об .....	3,5...4,0
Частота вращения детали, мин <sup>-1</sup> .....	3,5...4,0
Сменение электрода с зенита, мм .....	10...12
Толщина наплавленного слоя, мм .....	1,2...1,5
Твердость металла галтели после наплавки	
НВ .....	320
Твердость металла шеек НВ .....	245...300

Восстановление цапф производили с наплавкой галтели и без ее наплавки. В табл. 6.4 приведена сравнительная оценка различных способов восстановления цапф при испытании на выносливость. Как видно из таблицы, выносливость цапф с наплавкой галтельной части повышается по сравнению с выносливостью новой детали на 20 %. В то же время восстановление без наплавки галтели снижает усталостную прочность на 20 % по сравнению с усталостной прочностью новой детали и повышает на 18...21 % — когда она восстанавливается с наплавкой галтели.

Режимы наплавки ряда автомобильных деталей приведены в табл. 6.5.

Скорость подачи электрода, м/мин	Сила тока, А	Напряжение, В	Твердость детали	
			после наплавки НВ	после термообработки HRC <sub>3</sub>
1,9...2,0	180...190	25...26	187...192	Не менее 43
1,9...2,0	180...190	26...27	—	—
1,7...1,8	160...170	24...25	266	Не менее 52
1,7...1,8	160...170	24...26	230...270	Не менее 54
1,6...1,7	150...160	23...24	187...192	Не менее 45
1,7...1,8	160...170	24...26	207...241	Не менее 54

#### 6.4. Наплавка в углекислом газе

Многие детали, восстанавливаемые наплавкой под флюсом, могут быть отремонтированы также автоматической и полуавтоматической наплавкой в среде углекислого газа. Режимы наплавки в среде углекислого газа зависят от диаметра детали. По диаметру наплавляемой детали выбирается диаметр электродной проволоки, сила тока, напряжение дуги и скорость наплавки (табл. 6.6 и 6.7). Расход углекислого газа составляет 8...15 дм<sup>3</sup>/мин.

Наплавка изношенных деталей поверхностей различных деталей производится с учетом требования обеспечения необходимой работоспособности и долговечности этих деталей в условиях эксплуатации. Надежность поверхностей, восстановленных наплавкой, определяется прочностью связей (сцепления) металлокорытия с основным металлом, износостойкостью и выносливостью.

Достижение высокой надежности наплавленного слоя во многом зависит от целенаправленного управления всем технологическим процессом восстановления деталей. Характерной особенностью наплавки является воздействие на деталь высоких температур, которые могут быть причиной большой глубины проплавления основного металла, понижения поверхностной твердости, прочности и жесткости термически обработанной детали и др. Однако, управляя режимами наплавки, можно избежать указанных явлений.

Режим наплавки определяет прочность сцепления, которая при всех способах наплавки отвечает условиям эксплуатации. Износостойкость при соответствующем подборе присадочных материалов и технологических процессов также может отвечать предъявляемым требованиям. Что касается третьей, существенно влияющей на надежность характеристики наплавленной поверхности — выносливости, то она часто оказывается на недостаточно высоком уровне. Это связано в основном с образованием в наплавленном слое и околосшовной зоне внутренних напряжений, а также возможными дефектами металла шва — пористости, непровара, под-

Таблица 6.6. Режимы наплавки в среде углекислого газа цилиндрических деталей

Диаметр детали, мм	Диаметр проволоки, мм	Сила тока, А	Напряжение дуги, В	Скорость наплавки, м/ч
10...20	0,8...1	70...90	18...19	20...60
20...30	0,8...1	90...120	18...19	30...60
30...40	0,8...1	110...140	18...19	40...60
40...50	1...1,2	130...160	18...20	40...70
50...70	1,2...1,4	140...175	19...20	50...70
70...90	1,4...1,6	170...195	20...21	60...80
90...100	1,6...2	195...225	20...22	60...90

Таблица 6.7. Режимы автоматической наплавки в углекислом газе некоторых деталей автомобиля

Ус- ло- вий но- мер де- та- ли	Наименование детали	Место наплавки	Электродная проводка	Смеше- ние электрода от зени- та про- тив вра- щения детали, град	Частота враще- ния дета- ли, мин <sup>-1</sup>	Шаг нап- лав- ки, мм/ оборот	На- пра- жение В	Сила тока, А	Число вит- ков прос- селя РСТЭ- 34	Твердость после наплавки
161	Фланец ведущей кони- ческой шестерни	Шейка под сальник	Нп-2Х13	30	4,0	3,5	21	150	12	HRC <sub>3</sub> 48
	Труба полуоси	" и резьба	Нп-30ХГСА	20	3,0	3,5	21	160	12	HB 220...270
	Ведущая коническая шестерня.	Резьба	Нп-30ХГСА	30	6,0	3,2	20	130	9	HB 240...285
	Крестовина дифферен- циала	Шейки	Нп-2Х13	30	6,0	3,5	20	130	9	HRC <sub>3</sub> 55
	Полуось заднего моста	Шлицы	Нп-30ХГСА	20	2,4	4,0	21	140	10	HB 341...415 (после тер- мообработки) HRC <sub>3</sub> 50)
	Разжимной кулак пе- реднего тормозного ме- ханизма	Шейки	Нп-2Х13	70	8,0	3,2	22	180	13	
	Разжимной кулак зад- него тормозного ме- ханизма	"	Нп-2Х13	30	8,0	3,2	22	190	13	HRC <sub>3</sub> 50
	Вал рулевой сошки	Резьба	Нп-30ХГСА	30	6,0	3,5	20	130	9	HB 240...285
	Поперечная рулевая тяга	"	Св-08ГС	30	8,0	3,5	20	130	9	HB 207...255

Окончание табл. 6.7

Ус- ло- вий- ный номер дета- ли	Наименование детали	Место наплавки	Электродная проводка	Смеше- ние электрода от зени- та про- тив вра- щения детали, град	Частота враще- ния дета- ли, мин <sup>-1</sup>	Шаг нап- лав- ки, мм/ оборот	На- пряжен- ие В	Сила тока, А	Число вит- ков прос- селя РСТЭ- 34	Твердость после наплавки
10	Скользящая вилка кардана	Резьба	Нп-2Х13	30	4,0	3,5	21	150	12	HRC <sub>3</sub> 48
11	Ведомый вал коробки передач	Шейка под подшип- ник, резьба	Нп-2Х13 Нп-30ХГСА	3...40	15	3,2	20	130	12	HRC <sub>3</sub> 48...59
12	Фланец ведомого вала коробки передач	Шейка под сальник	На-2Х13	30	4,0	3,5	20	135	9	HRC <sub>3</sub> 48...50
13	Карданный вал	Вилка со шлицевым концом	Св-08ГС	15	4,0	—	21	156	12	HB 207...255
14	Муфта фланца проме- жуточного вала, 51-2202100Б	Шейка под саль- ник	Нп-2Х13	30	4,0	3,5	20	135	9	HRC <sub>3</sub> 48...50
15	Фланец крепления кар- даниного вала к ведущей шестерне задней передачи	То же	Нп-2Х13	30	4,0	3,5	20	140	9	HRC <sub>3</sub> 48...50
16	Ведущая шестерня главной передачи зад- него моста	Резьба	Нп-30ХГСА	20...30	10...14	3,5	20	135	12	HB 240...260
17	Распределительный вал	Опорные шейки	Нп-30ХГСА	нет свед.	4,0	3,2	20	130	9	HRC <sub>3</sub> 52...55

реза, микротрещин и т. д. Все это является следствием нарушения установленного технологического процесса наплавки и неправильного выбора присадочного материала. Поэтому строгое соблюдение установленного технологического процесса на всех стадиях восстановления изношенной детали — подготовки к наплавке, выполнении наплавочных работ с использованием соответствующего присадочного материала, обработки поверхности после наплавки — обеспечивает достаточно высокую выносливость восстановленной детали. При этом последующее упрочнение детали различными способами — т.в.ч., пластической деформацией, электромеханической обработкой и др. — позволяет значительно повысить усталостную прочность детали (см. гл. 13).

## 6.5. Вибродуговая наплавка стальных деталей

Вибродуговая наплавка является разновидностью наращивания поверхности с использованием тепла от электрического тока. В этом случае возбуждение дуги происходит вибрирующим электродом под струей охлаждающей жидкости или защитного газа. Основное достоинство этого процесса наплавки — небольшой нагрев детали, малая зона термического влияния и возможность получения наплавленного металла с требуемыми твердостью и износостойкостью без термообработки после наплавки. Кристаллизация и охлаждение наплавленного металла при вибродуговой наплавке происходят почти моментально, поэтому восстановленная поверхность может иметь множество микротрещин, в результате чего значительно снижается предел усталостной прочности детали. Это основной недостаток вибродуговой наплавки как процесса наращивания поверхности.

Вибродуговая наплавка осуществляется постоянным током обратной полярности при напряжении 12...28 В. Низкое напряжение (до 16 В) применяют при наплавке тонкостенных деталей небольшого диаметра. Для наплавки сравнительно большого слоя металла (1,5...3 мм) требуется напряжение 24...28 В. Другие параметры режима наплавки приведены в табл. 6.8. Схема вибродуговой наплавки приведена на рис. 6.2. В качестве охлаждающей жидкости используется 4...6 %-ный водный раствор глицерина.

Разнообразные детали автомобиля, которые могут быть восстановлены вибродуговой наплавкой в жидкой среде, можно разделить на три группы: цилиндрические бесступенчатые, цилиндрические ступенчатые и разные.

К первой группе могут быть отнесены валы и оси с бесступенчатыми цилиндрическими поверхностями, работающие при трении скольжения металла о металл. Это, в частности, распределительные валы двигателей, разжимные кулаки тормозов, вилки выключения сцепления. Изготавляются они из среднеуглеродистых ста-

Таблица 6.8. Рекомендуемые режимы вибродуговой наплавки стальных деталей

Режим наплавки	Диаметр детали, мм				
	до 20	20...40	40...60	60...80	80...100
Толщина слоя наплавленного металла, мм	0,3	0,7	1,1	1,5	2,5
Диаметр электродной проволоки, мм	1,6	1,6	2,0	2,0	2,5
Сила тока наплавки, А	120...150	120...150	150...210	150...210	150...210
Скорость наплавки, мин <sup>-1</sup>	2,2	1,2	1,0	0,6	0,3
Скорость подачи электродной проволоки, м/мин	0,6	0,4	0,8	1,0	1,1
Расход охлаждающей жидкости, дм <sup>3</sup> /мин	0,2	0,4	0,5	0,6	0,7
Шаг наплавки, мм/об	1,0	1,3	1,6	1,8	2...3
Амплитуда вибрации проволоки, мм	1,5	1,8	2,0	2,0	2,0
Угол подачи проволоки к детали, град	35	35	45	45	45

Примечание. Ток постоянный обратной полярности. Напряжение дуги 12...15 В.

лей или низколегированных сталей с повышенным содержанием углерода. Твердость этих поверхностей после термообработки составляет HRC<sub>3</sub> 56...62. Наплавку производят пружинной проволокой второго класса постоянным током обратной полярности. В отличие от электродуговой наплавки, когда минимальный диаметр наплавляемой детали ограничивается 40...50 мин из-за вытекания из поверхности расплавленного металла, при вибродуговой наплавке можно восстанавливать практически любые детали, так как здесь расплавленный дугой металл мгновенно кристаллизуется, и опасность стекания его с наплавляемой поверхности отпадает.

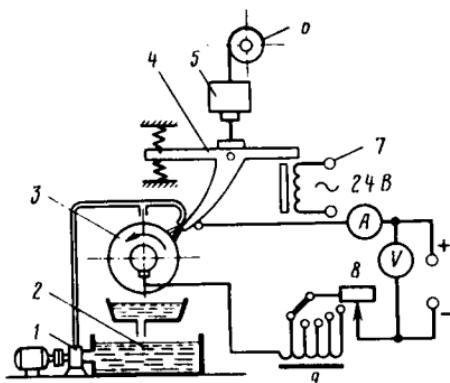


Рис. 6.2. Схема вибродуговой наплавки:  
1 — насос; 2 — бак для охлаждающей жидкости; 3 — деталь; 4 — мундштук; 5 — механизм подачи; 6 — кассета с проволокой; 7 — вибратор; 8 — реостат; 9 — индукционный резистор

Схема наплавки цилиндрической детали показана на рис. 6.3. Наплавляемая деталь 1 с наплавленным слоем 2 вращается в направлении, показанном стрелкой 3. Через вибрирующий мундштук 5 поверхность детали обливается струей 4, охлаждающей и защищающей от воздействия воздуха электродную проволоку 6. Расстояние между струей и проволокой  $a$  зависит от диаметра  $D$  детали и может определяться соотношением, мм,  $a = (0,3...0,4)D$ . Это расстояние определяет условие закалки наплавленного слоя.

При наплавке по указанной схеме цилиндрической детали, например опорной шейки распределительного вала диаметром 54 мм из стали 45, можно применить пружинную проволоку второго класса диаметром 1,6...1,8 мм. Достаточная износостойкость шеек получается при наплавке по следующему режиму:

Напряжение, В .....	13...15
Сила тока, А .....	140...150
Витки индуктивности дросселя РСТЭ-34 .....	5...6
Скорость подачи проволоки, м/мин, при диаметре:	
1,6 мм .....	1,4
1,8 мм .....	1,25
Шаг наплавки, мм/об .....	3,4...3,6
Расход жидкости, дм <sup>3</sup> /мин .....	0,5...0,7

#### Режимы наплавки аналогичных деталей приведены в табл. 6.8.

Припуск на механическую обработку после наплавки 0,45...0,60 мм. Вторая группа деталей, состоящая из ступенчатых цилиндрических валов, охватывает ведущие и ведомые валы коробок передач, крестовины дифференциала и др., изготовленные преимущественно из низколегированных сталей. Наплавка ведущего вала может производиться по режиму:

Напряжение, В .....	12...13
Сила тока, А .....	160
Витки индуктивности дросселя РСТЭ-34 .....	6
Диаметр пружинной проволоки ОВС, мм .....	1,8
Скорость подачи проволоки, м/мин .....	1,3
Шаг наплавки, мм/об .....	3,5
Частота вращения детали, мин <sup>-1</sup> .....	9
Расход жидкости, подаваемой в зону плавления металла, дм <sup>3</sup> /мин .....	0,5...0,6

Твердость наплавленного слоя получается на уровне основного металла. Износостойкость валов, восстановленных электродуговой наплавкой, на 15 % ниже износостойкости нового вала, что вполне допустимо. При применении вибродуговой наплавки для восстановления ступенчатых валов качество отремонтированного изделия зависит от правильного выбора начала, направления и окончания наплавки.

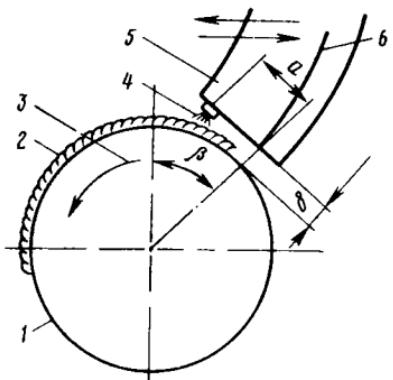


Рис. 6.3. Схема наплавки опорной шейки распределительного вала

Наибольшая трещина при вибродуговой наплавке образуется в начале процесса, когда деталь находится в холодном состоянии. По мере перемещения электрода деталь нагревается, хотя и находится под воздействием охлаждающей жидкости (она не может мгновенно снизить температуру детали до исходного состояния), и к концу наплавки снижения усталостной прочности металла почти не наблюдается. Проверка [7] показала, что выносливость металла

начала наплавки в 1,5...2 раза ниже, чем выносливость металла конечного участка. Из этого следует, что наплавку ступенчатых деталей следует начинать от переходов меньших диаметров к большим. В этом случае часть вала с меньшим диаметром быстрее нагревается теплом дуги, чем его более массивная часть, которая подогревается еще до наплавки при наплавке соседних участков.

Вибродуговой наплавкой восстанавливается и крестовина дифференциала. Твердость наплавленного металла получается равной  $HRC_3$  45...56, т. е. приближается к нижнему пределу твердости нового вала  $HRC_3$  56...62. Режим наплавки:

Диаметр пружинной проволоки второго класса, мм .....	1,6...1,8
Напряжение, В .....	12...14
Сила тока, А .....	160
Витки индуктивности дросселя РСТЭ-34 .....	5...7
Скорость подачи проволоки, м/мин, при диаметре:	
1,6 мм .....	1,3
1,8 мм .....	1,0
Частота вращения детали, мин <sup>-1</sup> .....	8
Шаг наплавки, мм/об .....	3,0...3,5
Расход жидкости, дм <sup>3</sup> /мин .....	0,5...0,6

По технологии, аналогичной рассмотренной, восстанавливаются и другие цилиндрические ступенчатые валы, режимы наплавки которых приведены в табл. 6.8. Разные детали, восстанавливаемые вибродуговой наплавкой, могут подвергаться трению качения, трению скольжения и иметь другие особенности. Режимы наплавки этих деталей также приведены в табл. 6.8.

Детали, испытывающие при эксплуатации трение качения, изготавливаются из низколегированной стали. К ним можно отнести крестовины карданов, ведомые валы коробок передач и некоторые

другие детали. Особенностью таких деталей является односторонность износа. Поэтому необходимо до наплавки получить шлифовкой или проточкой изношенную окружную поверхность равного радиуса. Механическая обработка после наплавки — шлифование до получения номинального размера.

Наплавку производят пружинной проволокой ОВС или Нп-80.

При восстановлении крестовины, изготовленной, например, из стали 18ХГТ, применяют следующий режим наплавки:

Напряжение дуги, В .....	12...13
Витки индуктивности дросселя РСТЭ-34 .....	6...7
Сила тока, А .....	155...160
Скорость подачи проволоки, м/мин .....	1
Частота вращения детали, мин <sup>-1</sup> .....	9
Шаг наплавки, мм/об .....	2,8...3,2
Расход охлаждающей жидкости, дм <sup>3</sup> /мин .....	0,6

Твердость поверхности после шлифования HRC<sub>3</sub> 45...56 при твердости поверхности до наплавки HRC<sub>3</sub> 56...62. Износы крестовин, восстановленных по данной технологии, незначительно отличаются от износов новых деталей, причем в обоих случаях износ не превышает 0,01 мм. Режимы восстановления ряда деталей третьей группы приведены в табл. 6.9.

Группа деталей, подверженных трению скольжения в сальниковых уплотнителях, изготавливается обычно из стали 45, и шейки этих деталей имеют разную твердость. Типичными деталями этой группы являются фланцы ведомых валов коробок передач и фланцы валов ведущих конических шестерен задних мостов автомобилей ЗИЛ, ГАЗ и др. Отличительная особенность этих деталей состоит в том, что все они имеют осевые отверстия, которые в результате усадки при кристаллизации наплавленного металла уменьшаются в диаметре. Чем больше скорость наплавки, меньше шаг, тем меньше глубина проплавления основного металла, тем меньше и усадки. Регулирование скорости наплавки и шага позволяет уменьшать диаметр отверстия до 0,2 мм. Свободное уменьшение отверстия снижает напряженное состояние наплавленной детали. При восстановлении таких деталей, как фланцы ведомых валов, рекомендуются следующие режимы наплавки:

Диаметр проволоки, мм .....	1,6...1,8
Напряжение дуги, В .....	12...14
Сила тока, А .....	150...160
Витки индуктивности дросселя РСТЭ-34 .....	5...7
Скорость подачи проволоки, м/мин, при диаметре:	
1,6 мм .....	1,3
1,8 мм .....	1,0...1,1
Шаг наплавки, мм/об .....	2,2...2,4
Частота вращения детали, мин <sup>-1</sup> .....	5
Расход жидкости, дм <sup>3</sup> /мин .....	0,2...0,5

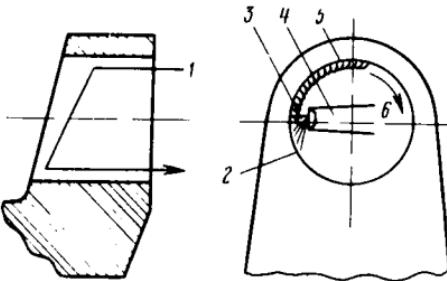
Таблица 6.9. Режимы вибродуговой наплавки некоторых деталей автомобиля

Деталь	Параметры режима						Твердость после наплавки $HRC_3$
	Напря- жение, В	Витки ин- дук- тив- ности	Часто- та вра- щения дета- ли, мин <sup>-1</sup>	Ско- рость пода- чи про- волоки, м/мин	Шаг на- плав- ки, мм/об	Рас- ход жид- кости, л/мин	
Вилка выключения сцепления	12...14	6	10	1,3	2,0	0,5	40...50
Крестовина кардана	12...13	6	9	1,0	2,8	0,6	45...56
Скользящая вилка кардана	17...18	13	8	1,4	2,4	0,2	180...200*
Фланец вала ведущей конической шестерни	12...14	5	5	1,3...1,6	3,0	0,3	35...40
Разжимные кулаки переднего и заднего тор- мозов	14...15	6	6	1,2	2,2	0,4	39...50
Ось колодок тормоза	12...14	6	9	1,3	2,4	0,5	45...56
Фланец вала ведущей конической шестерни	14	5	5	1,5	3,0	0,5	45...56
Ступица шкива ко- ленчатого вала	12	5	7	1,0	2,2	0,7	40...54
Промежуточный вал кардана	13	6	5	1,3	2,5	0,4	35...52
Муфта фланца проме- жуточного вала	13	5	4,5	1,3	2,2	0,7	40...50
Фланец карданного вала коробки передач	13...14	5	4,5	1,3	2,5	0,7	40...50
Фланец крепления карданного вала	13...14	5	4,5	1,3	2,2	0,7	40...50

\* Твердость НВ

Перед наплавкой необходимо шейки шлифовать или проточить до 0,4...0,5 мм на диаметр. В случае наплавки незакаленных деталей этой группы при расходе жидкости 0,2...0,3 дм<sup>3</sup>/мин наплавленный металл может иметь твердость после шлифования в пределах НВ 390...480 вместо исходной твердости шейки НВ 166...197, т. е. после наплавки поверхность становится более износостойкой, чем до этого.

Рис. 6.4. Схема наплавки фланца-вилки карданного вала



При наплавке закаленных деталей, чтобы получить износостойкость на уровне износостойкости основного металла, необходимо расход охлаждающей жидкости увеличить до 0,5 дм<sup>3</sup>/мин. К разным деталям, восстанавливаемым иногда вибродуговой наплавкой, относятся и тонкостенные детали с малым диаметром — толкатели клапанов, фланцы-вилки карданных валов и т. д. автомобилей ЗИЛ, ГАЗ и др. Эти детали обычно целесообразнее восстанавливать при большом износе, когда гальваническое наращивание изношенных поверхностей невыгодно или малопроизводительно. При наплавке толкателей клапанов можно применить следующий режим:

Сила тока, А .....	130...140
Диаметр электродной проволоки, мм .....	1,6
Напряжение, В .....	12
Витки индуктивного дросселя РСТЭ-34 .....	3...4
Скорость подачи проволоки, м/мин .....	1,1...1,2
Шаг наплавки, мм/об .....	1,10...1,15
Частота вращения детали при толщине слоя, мин <sup>-1</sup> :	
0,7...0,8 мм .....	35...40
1,4...1,5 мм .....	20...25
Количество жидкости, подаваемой в зону наплавки, дм <sup>3</sup> /мин .....	не менее 0,5

Толкатели наплавляются без предварительной шлифовки, но с обязательной очисткой стержней от загрязнений. Наплавку следует начинать от края стержня и заканчивать у тарелки.

Вибродуговой наплавкой в жидкой среде может быть восстановлено внутреннее отверстие под игольчатые подшипники таких деталей, как фланец-вилка карданного вала автомобиля ЗИЛ-130, изготовленная из стали 35 с твердостью НВ 207...241.

На рис. 6.4 показана схема наплавки. Электродная проволока 3 из мундштука 4 подводится к детали 5, вращающейся по направлению стрелки 6 и охлаждающейся жидкостью 2. Направление 1 наплавки к краю отверстия, т. е. к выходу. После наплавки отверстие растачивают до номинального размера обычным инструмен-

том, так как присадочная проволока Св-08, использованная при этом, не закаливается. Режим наплавки следующий:

Диаметр проволоки марки	
Св-08, мм	1,4...1,6
Напряжение, В	14...16
Витки индуктивности дросселя	
РСТЭ-34	6...8
Скорость подачи проволоки, м/мин	1,4...1,5
Частота вращения детали, мин <sup>-1</sup>	7...8
Шаг наплавки, мм/об	2,5
Подача жидкости на наплавляемый слой, дм <sup>3</sup> /мин	0,5
Размах колебаний проволоки, мм	1,5...2,0
Подвод проволоки	на 1...2 мм выше центра оси) вращения детали
Вылет электрода, мм	9...10

По режимам наплавки аналогичным с режимами рассмотренных выше деталей могут восстанавливаться и другие детали. В табл. 6.9 приведены параметры режимов вибродуговой наплавки ряда деталей автомобилей ЗИЛ и ГАЗ. Такие же детали имеют и другие автомобили. Наплавка подобных деталей производится при силе тока 120...140 А и напряжении дуги 13...15 В. Наплавка этих деталей производится пружинной проволокой ОВС. Наплавку производят постоянным током обратной полярности.

Как указывалось ранее, вибродуговая наплавка может производиться в среде углекислого газа или воздуха. В общем случае наплавку в углекислом газе можно вести по режимам, указанным в табл. 6.10. Напряжение дуги при этом 17...26 В. Скорость подачи проволоки 1,2...1,6 м/мин. Расход углекислого газа 12...15 дм<sup>3</sup>/мин.

Таблица 6.10. Режимы вибродуговой наплавки в среде углекислого газа

Режим наплавки	Толщина наплавляемого слоя, мм				
	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
Диаметр электродной проволоки, мм	1,0...2,0	1,2...2,2	1,4...2,5	1,6...2,5	2,0...2,5
Сварочный ток, А, для диаметра проволоки:					
минимального	75...175	92...225	100...250	120...300	150...350
максимального	150...300	165...375	190...400	190...400	190...400
Рабочее напряжение, В, для диаметра проволоки:					
минимального	17...20	18...21	18...22	19...23	20...24
максимального	20...24	21...25	22...26	22...26	22...26

Наплавкой в углекислом газе можно восстанавливать детали малых диаметров с резьбой, используя в качестве присадочного материала проволоку ОВС диаметром 1,6 мм. Кроме проволоки ОВС, при выбродуговой наплавке применяют сварочную углеродистую или низколегированную проволоку диаметром 1...1,6 мм марок Св-08, Св-18ХГСА, Св-10ХМА, Св-10МХ и Св-18ХМА. Наплавку производят при помощи автоматов. Частота колебаний электрода 50 Гц.

В качестве источника тока используют преобразователь ПСО-500 и др. Для устойчивости горения дуги в сварочную цепь включается стабилизирующий дроссель РСТЭ-24 или РСТЭ-34.

Применение для восстановления деталей с поврежденными резьбами наплавки под слоем флюса дает хорошие результаты, когда деталь имеет достаточно большой диаметр (не менее 30 мм). Даже автоматическая наплавка в углекислом газе не всегда дает положительные результаты, если диаметр детали менее 30 мм, так как при этом происходит глубокое проплавление детали, стекание металла. При выбродуговой наплавке проплавление в 1,5...2,0 раза меньше, чем при автоматической наплавке под слоем флюса или в углекислом газе. При выбродуговой наплавке, даже в воздухе, твердость наплавленного металла приближается к твердости основного металла и значительно превосходит твердость металла, полученного наплавкой вручную кислородно-ацетиленовым пламенем.

К деталям, имеющим резьбу малых диаметров, относятся поворотные цапфы, рычаги поворотных цапф, валы рулевых сошек, ведущие конические шестерни задних мостов, рулевые валы, попеченные рулевые тяги и др. Резьбы этих деталей повреждаются вследствие износа, сжатия, среза, занижения диаметра при повторном срезании резьб и других причин. Наиболее целесообразным способом восстановления деталей с поврежденной резьбой является выбродуговая наплавка в атмосфере с предварительным удалением поврежденной резьбы. Наплавка начинается от края детали. Электродным материалом является пружинная проволока ОВС. При наплавке поворотных цапф этой проволокой применяется следующий режим наплавки:

Диаметр проволоки, мм .....	1,6...1,8
Напряжение, В .....	16...17
Витки индуктивности дросселя РСТЭ-34 .....	5...7
Скорость подачи проволоки, м/мин, при диаметре:	
1,6 мм .....	1,4...1,5
1,8 мм .....	1,2...1,3
Частота вращения детали, мин <sup>-1</sup> .....	5...6
Шаг наплавки, мм/об .....	3

После наплавки деталь охлаждается в помещении цеха. По аналогии с поворотными цапфами наплавляются и другие детали с резьбами. При этом учитывается размер каждой детали.

Таблица 6.11. Режимы вибродуговой наплавки резьбы деталей малых диаметров проволокой ОВС диаметром 1,6 мм

Деталь	Сталь	Твер- дость НВ	Параметры режима наплавки			Твер- дость после на- лавки НВ
			Напряжение, В	Частота враще- ния, мин <sup>-1</sup>	Шаг наплавки, мм/об	
Поворотная цапфа	40Х	270	16...17	5	3,0	285
Рычаг поворотной цапфы (правый, левый верхний)	40Х	285	13...14	6	2,6	285
Вал рулевой сошки	40Х	285	13...14	6	3,0	285
Ведущая коническая шестерня	18ХГТ	270	13...14	6	3,0	285
Ведомый вал коробки передач	45	285	14...16	6	3,0	285
Коленчатый вал комп- рессора	45	169	12...14	6 и 10	2,6	285
Рулевой вал	20	170	12...13	6	2,6	240
Поперечная рулевая тяга	20	116	12...14	5	2,6	285
Ведущий вал коробки передач	40Х	240	12...14	6	2,6	284

В табл. 6.11 приводятся параметры режима наплавки деталей с резьбами. Индуктивность (число витков дросселя РСТЭ-34) для всех режимов можно применять равную 5...7, скорость подачи проволоки — 1,3 м/мин.

## Г л а в а 7. ГАЗОВАЯ СВАРКА И НАПЛАВКА СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ

### 7.1. Особенности газовой сварки и наплавки стали

Для нормального протекания процесса сварки и наплавки необходимо, чтобы температура пламени была достаточно высокой и концентрировалась на небольшом участке; пламя восстановливало окислы металлов, имеющиеся в расплавленном металле, и предохраняло шов от попадания в него кислорода и азота из воздуха; сварочное пламя не вызывало науглероживания и пористости шва.

Для равномерного нагрева кромок соединяемых деталей и равномерного распределения присадочного материала следует мундштук горелки двигать не только поступательно, вдоль шва, но и пе-

ремещать его одновременно и поперек шва. Выбор способа попечного движения горелки зависит от толщины свариваемых деталей, типа соединений и метода сварки. При сварке листов с отбортованными кромками горелка передвигается прямолинейно или с небольшими колебаниями в стороны. При сварке стыковых соединений на деталях толщиной выше 2 мм рекомендуется зигзагообразное движение горелки. Иногда при сварке тонких деталей применяется передвижение горелки с отводом пламени в сторону, ввиду чего расплавленный металл шва входит в соприкосновение с кислородом воздуха и окисляется; такого способа следует избегать. Для сварки толстых деталей (более 5 мм) применяется передвижение по спирали. Продольное движение горелки может быть правое или левое.

Способ левой сварки заключается в том, что горелка движется справа налево, пламя ее направляется в сторону несваренного участка и конец присадочной проволоки находится впереди мундштука. При правой сварке горелка движется слева направо, пламя ее направляется в сторону сваренного участка и конец присадочной проволоки находится позади мундштука. Левая сварка применяется для деталей толщиной 4..5 мм, так как при ней металл шва менее подвержен перегреву вследствие направления пламени горелки в сторону от сваренного участка. Правая сварка применяется для более толстых материалов. В этом случае лучше используется тепло пламени, нагрев получается более сосредоточенным, так как пламя ограничивается кромками канавки и валиком наплавленного металла. Кроме того, расплавленный металл шва до конца защищен восстановительной зоной пламени, а только что образовавшийся сварной шов остывает медленно. Это благоприятствует получению более качественного шва.

Независимо от способа сварки нагрев следует вести, не отрывая пламени горелки от расплавленного металла. При окончании сварки или в случае перерыва в наложении шва горелка отводится медленно вверх с подогревом окружающего металла, чтобы избежать резких температурных изменений, приводящих к появлению трещин. При сварке деталей разной толщины пламя горелки необходимо направлять на более толстую.

В процессе сварки шов получает большую хрупкость, чем основной металл, поэтому во избежание образования трещин следует избегать повторных нагревов сварного шва. Следует отметить две особенности газовой сварки: большая по сравнению со всеми видами дуговой сварки зона термического влияния вследствие охвата нагревом значительного участка металла; возможность получения вогнутого шва с плавным переходом от одной кромки к другой, тогда как дуговая сварка при сосредоточенном нагреве соединяемых деталей дает выпуклый шов. Поэтому кислородно-ацетиленовая сварка предпочтительней для сварки изделий из тонкого листа, испытывающих вибрационные нагрузки.

Качество кислородно-ацетиленовой сварки углеродистых сталей, как указывалось ранее, зависит от содержания в них углерода. Чем меньше в стали углерода, тем легче она сваривается. Малоуглеродистые стали, содержащие до 0,25 % углерода, свариваются хорошо и свойства их от нагрева во время сварки не изменяются. По мере увеличения содержания углерода свариваемость стали кислородно-ацетиленовым пламенем ухудшается. Причиной этого является прежде всего увеличивающееся выгорание углерода. Образующаяся окись углерода вызывает пористость наплавленного металла. При повышенном содержании углерода металл в зоне термического влияния приобретает менее благоприятную структуру с более высокой твердостью и низкими пластическими свойствами. С повышением содержания углерода в стали сварные соединения становятся более склонными к образованию трещин.

При кислородно-ацетиленовой сварке низкоуглеродистой стали важным условием является поддержание пламени горелки нормальным. Незначительный избыток ацетилена или кислорода при сварке влечет за собой значительное ухудшение качества сварного шва. При избытке ацетилена металл шва науглероживается и становится излишне твердым, хрупким и пористым. При избытке в пламени кислорода шов вследствие его окисления получается также хрупким, пористым и малопрочным.

Кислородно-ацетиленовая сварка сталей со средним и высоким содержанием углерода ведется либо нормальным пламенем, либо пламенем с очень небольшим избытком ацетилена, но во всяком случае не с избытком кислорода.

В качестве присадочного металла при сварке углеродистых сталей должна служить стальная проволока марок Св-08А, Св-15А.

Кислородно-ацетиленовая сварка углеродистых сталей с повышенным содержанием углерода должна производиться по возможности быстро. Для ускорения сварки и вместе с тем для ослабления деформаций желательно место сварки предварительно подогревать до 600...650 °С. Эта особенность сварки сталей с повышенным содержанием углерода объясняется более низкой температурой плавления и значительной склонностью углерода к выгоранию.

Сварка высокоуглеродистых сталей является сравнительно трудной. Она требует от сварщика достаточного опыта и большого внимания во время работы, так как швы перегреваются, получаются пористыми и содержащими посторонние включения.

Кислородно-ацетиленовая сварка низколегированных сталей имеет специфические особенности и является затруднительной. Эти стали имеют низкое или повышенное содержание углерода, повышенную склонность к образованию трещин и закалочных структур в зоне термического влияния и обладают относительно низкой теплопроводностью. Кроме того, низколегированные стали имеют окисную пленку элементов, трудно восстанавливаемую водородом и окисью углерода в сварочной зоне газового пламени. По-

этому кислородно-ацетиленовую сварку в авторемонтном производстве целесообразно применять для сварки изделий из углеродистых сталей, преимущественно тонкостенных конструкций.

Газовая наплавка при ремонте деталей автомобиля также применяется с учетом тех особенностей, которые характерны для сварки.

## 7.2. Восстановление стальных деталей сваркой

Кислородно-ацетиленовой сваркой восстанавливаются преимущественно элементы кабины и кузовов, изготовленные из листовой малоуглеродистой стали. Для сварки применяют инжекторные сварочные горелки, например ГСМ-53 с комплектом наконечников № 0, 1, 2 и 3 массой каждого из них 360...300 г. Сварка производится с использованием технического кислорода, содержащего не более 1,5...1,8 % примесей. Присадочная проволока по составу должна быть близкой к составу основного металла. Наиболее часто применяют проволоку Св-08, очищенную от следов ржавчины, окалины и всяких загрязнений. Диаметр проволоки должен выбираться в зависимости от толщины листа: для левой сварки половина толщины листа плюс 1 мм, для правой половина толщины листа плюс 2 мм. Номер наконечника берется в соответствии с часовым расходом ацетилена, как указывалось выше, или исходя из следующих данных:

Толщина листа, мм .....	0,2...7	1,0...3,0	0,5...1,5	2,5...4
Номер наконечника .....	0	2	1	3

Ремонтируемое место должно быть подготовлено к сварке. Трешины, разрывы и пробоины панелей пола кабины выравнивают, очищают от грязи, масла и ржавчины. Кромки трещин прихватываются с шагами между точками 50...70 мм, затем их еще раз выпрямляют, и кромки завариваются. Если трещины образовались в местах, испытывающих значительные нагрузки, то поврежденный участок вырезают или просверливают концы трещин сверлом диаметром 3 мм и готовят накладку с учетом перекрытия трещины на 15...20 мм с каждой стороны, после чего накладку приваривают. При наличии разрывов и пробоин панели выравнивают, очищают свариваемые места от грязи, окислов и т. д., приваривают накладку (дополнительную ремонтную деталь) по всему периметру. Кислородно-ацетиленовой сваркой можно устранять дефекты различных деталей: вмятины с острыми загибами и разрывы на панелях пола, облицовке и т. д.; трещины в крыше и других элементах кабины и кузова; коррозионные разрушения на нижнем поясе кабины, дверей, крыльях и других элементах, изготовленных из тонколистовой низкоуглеродистой стали. Многие из этих деталей могут быть восстановлены электродуговой сваркой в углекислом газе или

электроконтактной сваркой. Какой вид сварки целесообразно применять, решается в каждом конкретном случае отдельно. Кроме элементов кабины и кузова, кислородно-ацетиленовой сваркой восстанавливаются и другие детали автомобиля, где процесс не может быть механизирован из-за локального характера дефекта.

Целесообразным является применение кислородно-ацетиленовой сварки и в ряде других случаев, когда деталь изготовлена из малоуглеродистой стали, например, для ремонта кожуха сцепления (сталь 08). При срыве или износе резьбы М8 кл. 2 (более двух ниток) в кожухе сцепления автомобиля ЗИЛ-130 рассверливают на сверлильном станке резьбовое отверстие до диаметра 12 мм, затем заваривают отверстие газовой горелкой с наконечником № 2, используя присадочную проволоку Св-08 диаметром 3 мм. После этого сваренное место зачищают заподлицо с основным металлом электрошлифовальной машиной, а также, удалив брызги металла на поверхности, проверяют неплотность торца крепления кожуха к маховику, просверливают отверстие диаметром 6,7 мм, затем нарезают резьбу М8 кл. 2. Аналогичным способом восстанавливают изношенные отверстия крепления кожуха сцепления к маховику. Механические повреждения кожуха также могут быть устранены кислородно-ацетиленовой сваркой привариванием дополнительной ремонтной детали.

### 7.3. Восстановление стальных деталей газовой наплавкой

Газопламенная наплавка также позволяет восстанавливать изношенные детали автомобиля. В частности, газопламенной наплавкой восстанавливаются изношенные кулачки распределительного вала. При большом износе кулачков вершину кулачка наплавляют сплавом сормайт № 1, используя в качестве флюса смесь, состоящую из 50 % буры, 47 % двууглекислой соды и 3 % кремнезема. После наплавки кулачки шлифуются на электрошлифовальной машине И-54А кругом Э46СМ.К диаметром 200 мм, окончательно — на копировально-шлифовальной машине.

Наплавкой сплава сормайт № 1 кислородно-ацетиленовым пламенем восстанавливают изношенную сферическую поверхность рычага нажимного диска сцепления, изготовленного из стали 35 и цинкованного на глубину 0,15...0,30 мм (твердость HRC<sub>3</sub> 56...62). После наплавки производится шлифование сферической поверхности по шаблону. Кислородно-ацетиленовой наплавкой сплава сормайт № 1 восстанавливаются также лапки вилки переключения первой передачи и заднего хода. Вилки изготовлены из стали 10 и цементированы на глубину 0,3...0,5 мм. Твердость HRC<sub>3</sub> 55...62. Во всех рассмотренных случаях сплав сормайт № 1 обеспечивает необходимую твердость.

Таблица 7.1. Параметры пропано-кислородной наплавки

Показатели режима	Толщина металла в зоне повреждений деталей, мм		
	1...2	2...5	5...10
Номер наконечника горелки	3	5	6
Расход пропан-бутановой смеси, дм <sup>3</sup> /ч	270...380	770...1050	1200...1650
Расход кислорода, дм <sup>3</sup> /ч	270...380	750...1050	1200...1650
Расход порошка, г/ч	2400	3000	3600
Давление пропан-бутановой смеси, МПа	0,039...0,078	0,049...0,088	0,078...0,098
Давление кислорода, МПа	0,392	0,441	0,490
Температура предварительного прогрева наплавляемой поверхности, °С	350...400	350...400	350...400

При сварке легированных сталей и других материалов применяются различные флюсы. Вместо ацетилена при выполнении сварочных работ во многих случаях можно использовать пропан-бутановую смесь и другие горючие газы.

Пропано-бутано-кислородная смесь применяется также для восстановления наплавкой многих деталей автомобиля по технологии РСТ КазССР 748-82 специальной горелкой, снабженной бункером для порошковых присадочных материалов. Перед употреблением металлические порошки прокаливают для обезвоживания при температуре 200...300 °С в течение 1...2 ч. К порошку добавляют 2...5 % флюса, состоящего из 93...99 % (по массе) обезвоженной буры и 1...7 % силикокальция. Перед началом наплавки и периодически в процессе работы наконечник горелки погружают на несколько секунд в эмульсию, содержащую 25...30 г мылонафта и 10...15 г моторного масла на 1 дм<sup>3</sup> воды. Поверхность под наплавку предварительно зачищают до металлического блеска абразивным кругом (ГОСТ 2424—83) или шлифовальной шкуркой, а затем нагревают до температуры 350...380 °С газовой горелкой или до 400 °С в печи, если деталь массивная. На нагретую поверхность сначала напыляют слой порошка, затем его оплавляют и наводят ванну жидкого металла; в дальнейшем ее постоянно поддерживают пламенем горелки. За один цикл можно наплавить слой до 1 мм. При необходимости получения слоя толщиной более 1 мм цикл повторяется. Параметры технологического процесса наплавки приведены в табл. 7.1. Пропано-кислородная наплавка металлическими

порошками обеспечивает получение твердости поверхности стальных деталей HRC<sub>9</sub> 35...55. После наплавки деталь обрабатывается под размер, установленный ремонтным или рабочим чертежом завода-изготовителя, точением при твердости слоя до HRC<sub>9</sub> 35 или шлифованием, при более высокой твердости, абразивным кругом.

## Г л а в а 8. СВАРКА И НАПЛАВКА ДЕТАЛЕЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ И МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ

### 8.1. Особенности сварки алюминиевых сплавов

Для изготовления деталей автомобиля — блоков цилиндров, головок блока цилиндров, картера главной передачи и других деталей — нередко используются сплавы на основе алюминия. Алюминий и его сплавы относятся к трудносвариваемым металлам. Это предопределяет следующие особенности алюминиевых сплавов.

1. Образование на поверхности сварочной ванны тугоплавкой окисной пленки Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с температурой плавления 2050 °С, тогда как сам алюминий плавится при температуре 659 °С. Таким образом, когда алюминий находится в жидком состоянии, его поверхность покрыта твердым, плотным и химически очень стойким окислом, который не дает возможность вступить расплавленному присадочному материалу в контакт с основным.

Расплавленный присадочный материал, тоже имеющий твердую окисную пленку, свертывается в шарик и скатывается. Поэтому при сварке алюминиевых сплавов необходимо прежде всего удалить окисную пленку на поверхностях соединяемых кромок и присадочной проволоки. Это достигается так называемым катодным распылением в атмосфере инертного газа — аргона или растворением в флюсе, содержащем фториды щелочных металлов, например криолита Na<sub>3</sub>AlF<sub>6</sub>, превращающего окись алюминия в легкоплавкое комплексное соединение — шлак. Наряду с растворением Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> криолит изменяет поверхностное натяжение металла, способствуя образованию мелкокапельного переноса присадочного металла. Остатки флюса и шлака, являющиеся едкими щелочами, вызывают коррозию алюминия. Поэтому при использовании фторидов щелочных металлов в виде флюса при газовой сварке или электродных покрытий при ручной дуговой сварке остатки флюсов и шлаков после сварки следует смыть горячей водой.

2. Возможное проваливание свариваемого металла. При высоких температурах прочность алюминия и его сплавов резко падает (рис. 8.1, а) и под действием собственного веса листовой металл может разрушиться еще до образования шва. При нагревании до

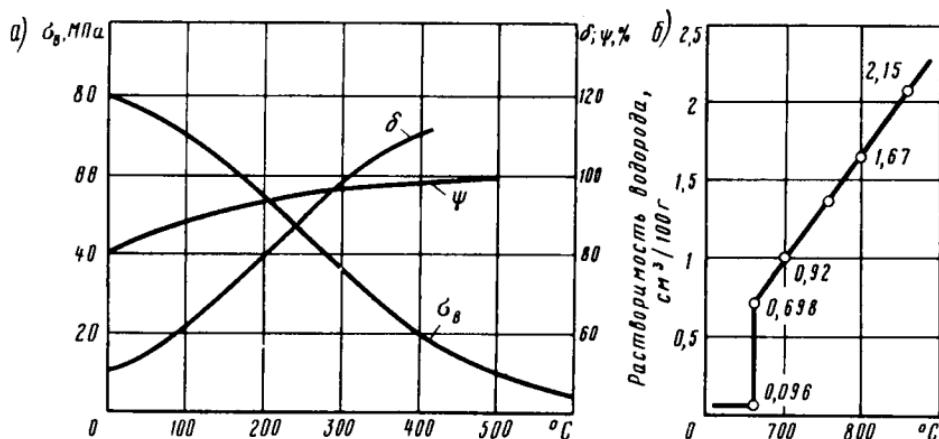


Рис. 8.1. Изменение механических свойств (а) и растворимости водорода (б) при нагревании алюминия

плавления цвет алюминиевых сплавов не меняется, поэтому трудно контролировать температуру нагрева. В отличие от алюминиевых сплавов при сварке стали сварщик видит, как меняется цвет металла, и это помогает определить момент плавления металла шва даже мало опытному сварщику. Для предотвращения проваливания при сварке листового материала иногда с обратной стороны шва устанавливают формирующие подкладки из графита или стали.

3. Повышенная склонность алюминия и его сплавов к короблению при сварке вследствие большого значения коэффициента линейного расширения при местном нагреве. Предотвратить, точнее снизить, коробление можно жестким закреплением свариваемого изделия или укладыванием на него груза. Учитывая высокую теплопроводность алюминия и его сплавов, приспособления для прижима изделия из алюминиевых сплавов следует изготавливать из материалов с низкой теплопроводностью, например из легированной стали.

4. Свариваемые кромки изделия и присадочный материал следует тщательно очистить от грязи, жиров и т. д., так как неочищенная поверхность может служить источником насыщения алюминиевых сплавов газом. При повышении температуры растворимость газов, в частности водорода, резко повышается (рис. 8.1, б); при охлаждении дегазации металла шва идет очень медленно. В результате в металле возникает интенсивная пористость, главным образом из-за водорода, снижающая его пластичность. Выделению водорода из расплавленного металла при снижении температуры препятствует твердая окисная пленка алюминия. Пористость наблюдается в основном в металле шва. Однако диффузия водорода может происходить и в околосшовной зоне, так как атомарный во-

дород, имеющий минимальные размеры, легко может проникать в кристаллические решетки твердого окколошовного металла, создавая в нем напряженное состояние. Предварительный и сопутствующий нагрев до температуры 150...250 °C замедляет кристаллизацию металла сварочной ванны, в результате чего выделение растворенного металла происходит более полно и пористость снижается. Особенно целесообразно такой сопутствующий подогрев применять при сварке корпусных деталей автомобиля и тем самым снижать пористость сварного соединения.

5. Применение мощных источников тепла для сварки, поскольку алюминиевые сплавы имеют большую теплопроводность и поэтому трудно создать сосредоточенный нагрев для плавления металла. И с этой точки зрения целесообразным является применение предварительного и сосредоточенного нагрева до температуры 120...150 °C.

6. Склонность металла шва к возникновению трещин в связи с грубой столбчатой структурой металла шва и выделением по границам зерен легкоплавких эвтектик. Отрицательное значение имеет и большая усадка расплавленного металла (7 %), приводящая к возникновению внутренних напряжений и, следовательно, к значительному короблению ремонтируемого сваркой изделия.

Почти все алюминиевые сплавы содержат некоторое количество кремния. При концентрации кремния до 0,5 % в алюминии образуется эвтектика с температурой плавления 577 °C, что приводит к появлению трещин при сварке. При содержании кремния 4...5 % образующаяся эвтектика "заличивает" трещину. При обычной концентрации кремния в пределах 0,2...0,3 % в металл шва вводят железо и связывается кремний в тройное тугоплавкое соединение Fe-Si-Al, препятствующее растворению кремния в алюминии.

Алюминий и его сплавы можно сваривать многими способами: в среде инертного газа неплавящимся электродом или плавящимся электродом на основе алюминия, электродом с покрытием, кислородно-ацетиленовым пламенем с применением флюсов.

## 8.2. Аргонно-дуговая сварка

Наиболее надежным способом восстановления алюминиевых деталей является применение аргонно-дуговой сварки. При аргонно-дуговой сварке соединяемые кромки детали и присадочный материал нагреваются теплом электрической дуги, образующейся между вольфрамовым электродом и деталью. При этом из сопла наконечника горелки непрерывно подается аргон, который, окружая дугу, создает сосредоточенный нагрев, а также предохраняет расплавленный металл шва от вредного влияния кислорода и азота воздуха. В результате этого условия плавления металла улучшаются, качество шва получается высоким, коробление почти отсутствует. При

аргонно-дуговой сварке отпадает необходимость применения электродных покрытий и флюсов.

Кроме обеспечения высокого качества шва, аргонно-дуговая сварка имеет еще следующие достоинства:

высокую производительность процесса. Производительность аргонно-дуговой сварки в три-четыре раза выше производительности кислородно-ацетиленовой;

возможность сварки тонкостенных конструкций. Для соединения тонких листов, как известно, применяется сварка в среде углекислого газа или кислородно-ацетиленовая сварка. Аргонно-дуговая сварка позволяет осуществить сварку еще более тонких листов. Для деталей из коррозионностойких сталей и жаропрочных сплавов аргонно-дуговая сварка применяется при толщине листа более 0,25 мм;

снижение интенсивности излучения дуги. При обычной дуговой сварке излучение дуги в четыре-восемь раз интенсивнее, чем при аргонно-дуговой. Объясняется это тем, что дуга в среде аргона беднее ультрафиолетовыми и видимыми лучами и богаче инфракрасными. Эта разница, по-видимому, вызвана различием теплопроводности аргона и воздуха и температуры дуги при дуговой и аргонно-дуговой сварке (argon охлаждает дугу). Меньшая интенсивность излучения при аргонно-дуговой сварке по сравнению с электродуговой дает возможность применять более светлые защитные стекла, облегчает сварщику наблюдение за сварочной ванной и упрощает технику сварки.

Наряду с перечисленными достоинствами аргонно-дуговая сварка имеет значительные недостатки, к которым в первую очередь относится дороговизна этого процесса. Стоимость аргонно-дуговой сварки примерно в три раза превышает стоимость кислородно-ацетиленовой. Аргон, применяемый для сварки, часто содержит значительное количество примесей кислорода, паров воды, азота и других газов. Перед сваркой аргон подвергается очистке от примесей, что также удорожает процесс и создает дополнительные неудобства.

Несмотря на относительную дороговизну аргонно-дуговой сварки, достоинства, отмеченные выше, и в первую очередь высокое качество шва, обеспечили широкое распространение этого вида сварки. В качестве присадочного материала при аргонно-дуговой сварке используются проволоки, приведенные в табл. 2.8. Широкое распространение получили проволоки Св-АК12, Св-АК5 и Св-АК10. В качестве неплавящегося электрода при аргонно-дуговой сварке служит вольфрамовый электрод (ТУ 48-19-39) или торированный вольфрамовый электрод ВТ15 (ТУ11-77ЯсО 021.056). Диаметр присадочного прутка определяется по толщине свариваемого материала. С этим же связаны и режимы сварки (табл. 8.1).

Для аргонно-дуговой сварки используются горелки ГРАД-200 и ГРАД-400 с водяным охлаждением. Первая применяется для свар-

Таблица 8.1. Режимы аргонно-дуговой сварки деталей из алюминиевых сплавов

Параметр	Толщина материала, мм					
	до 1,0	1,0...1,5	1,5...2,0	2,0...3,0	3,0...4,0	4,0...6,0
Сварочный ток, А	60...80	90...100	100...120	130...140	200...220	280...300
Диаметр вольфрамо- вого электрода, мм	2	3	3	3..4	4..5	6
Диаметр присадочной проводоки, мм	1,2...2,0	1,6...2,0	1,6...2,0	2,0...2,5	2,5...3,0	2,5...3,0

Примечание. Скорость сварки 6...8 м/ч, расход аргона 10...12 дм<sup>3</sup>/мин.

ки при силе тока до 200 А, а вторая (большая) — при силе тока до 400 А. При малой силе тока (до 200 А) используются также горелки с естественным охлаждением АР-3 и АР-10.

### 8.3. Дуговая сварка

Дуговая сварка алюминиевых сплавов производится электродами ОЗА-2 и ОЗА-1 (см. табл. 2.15). Сердечник электродов изготавливается из проволоки Св-АК3 или Св-АК10. Покрытие электрода ОЗА-2 обладает большой способностью к влагопоглощению. Отсыревшиеся электроды перед употреблением прокаливают при 200...230 °С в течение 1,0...1,5 ч. Режимы электродуговой сварки зависят в основном от толщины свариваемого материала и берутся согласно данным табл. 8.2. В ряде случаев для улучшения качества шва дуговую сварку алюминиевых сплавов ведут с применением флюса АФ-4А.

Таблица 8.2. Режимы ручной дуговой сварки алюминиевых сплавов электродами ОЗА-2 и ОЗА-1

Параметр	Толщина металла, мм		
	4...6	7...9	10...13
Диаметр электрода, мм	5	5	6
Длина дуги, мм	4...5	4...5	5...7
Сила тока, А	140...170	160...210	190...250

Примечание. Скорость сварки обычно 4...6 мм/мин. Сварку ведут с применением флюсов.

## 8.4. Газовая сварка

Газовую сварку деталей из алюминиевых сплавов можно вести с использованием ацетилена или пропан-бутановой смеси нормальным или слегка ацетиленистым пламенем с использованием флюсов АФ-4А (см. табл. 2.25). В качестве присадочного материала используются те же проволоки, которые применяются при аргоннодуговой сварке (Св-АК5, Св-АК10, Св-АК12), или проволока того же состава, что и свариваемый металл. Диаметр присадочной проволоки устанавливают по толщине свариваемого материала.

Толщина металла, мм .	3...5	6...8	9...12
Диаметр проволоки, мм	4...5	5...7	6...8

Режимы сварки также зависят от толщины металла (табл. 8.3).

Таблица 8.3. Режимы газовой сварки алюминиевых сплавов

Параметр	Толщина металла, мм			
	3...4	5...7	8...10	11...15
Номер наконечника	2, 3	3, 4, 5	4, 5, 6	6, 7
Давление кислорода, МПа	0,20...0,23	0,23...0,27	0,27...0,30	0,30...0,35
Расход газа, дм <sup>3</sup> /ч	200...300	400...650	600...800	800...1200

При сварке деталей, толщина стенки которых больше 5 мм, рекомендуется применять правый способ, если меньше, — левый способ ведения горелки. Флюсы и электродные покрытия вызывают коррозию сварного шва, поэтому после сварки сразу же следует остатки флюса с покрытия удалить. Для этого поверхность шва и околосшовной зоны протирают ветошью, смоченной теплой водой, и прочищают стальной щеткой до блеска очищенной поверхности.

## 8.5. Восстановление деталей из алюминиевых сплавов

Из алюминиевых сплавов АЛ-4, АЛ-5, АК-6М2, АЛ-9, АК-9, АЛ-9В, АК-12М и АЛ-10В изготавливаются в ряде случаев такие детали, как блок и головка блока цилиндров, картер, крышка картера и удлинитель коробки передач, картер рулевого механизма, впускные трубопроводы двигателя, крышка распределительных шестерен, корпус водяного насоса и некоторые другие детали автомобиля.

Блок цилиндров в процессе эксплуатации может иметь трещины, механические повреждения в виде обломов и пробоин, а также нарушение размера гнезд вкладышей корсных подшипников. Пе-

ред заваркой трещины необходимо ее границы просверлить сверлом диаметром 3 мм. Далее следует разделать трещину по всей длине, как указывалось ранее для случая ремонта сваркой других деталей. Пробоины перед сваркой обрабатываются так, чтобы полученное отверстие имело круглую, эллипсную или прямоугольную форму без острых углов. Следует заровнять острые края или заусенцы, снять фаски по кромкам отверстия. После этого из листового сплава АЛ-4 изготовить дополнительную ремонтную деталь — вставку по размсрам и форме отверстия, так чтобы зазор между кромками отверстия и вставки не превышал 1...2 мм. Кромки вставки тоже должны иметь фаски. Придерживая вставку, следует прихватить ее к свариваемой детали в нескольких точках с последующей правкой положения вставки. Вставка должна ложиться заподлицо с поверхностью основного металла, не образуя ни выступа, ни впадины. Обломы готовятся к сварке так же, как и трещины или пробоины, с обеспечением в свариваемых кромках V-образного канала. Свариваемые участки следует тщательно очистить от грязи, жиров и окислов на расстоянии 15...20 мм от кромок детали и вставки.

Перед сваркой требуется нагреть подготовленное для ремонта место до температуры 200 °С в электрической печи или газовой горелкой с наконечником № 4. Для местного нагрева хорошие результаты дают инфракрасные излучатели, которые, как правило, в ремонтных предприятиях не имеются. Температура нагрева контролируется при помощи термочувствительного карандаша.

Сварка подготовленных к ремонту деталей может производиться в среде аргона, электродом 03А-2 или газовым пламенем при режимах, указанных ранее. Лучшие результаты дает, как отмечалось выше, аргонно-дуговая сварка. Однако при отсутствии аргона удовлетворительные результаты можно получить и ручной электродудговой сваркой электродом 03А-2 или газопламенной сваркой с флюсами, приведенными в табл. 2.28. Перед употреблением электрод или флюс необходимо прокалить в течение 1 ч при температуре 200 °С, так как и покрытие электрода, и флюсы гигроскопичны, и влага, содержащаяся в них, вызовет пористость сварного соединения вследствие образования атомарного водорода при разложении воды.

При изменении размера гнезд вкладышей коренных подшипников применяют аргонно-дуговую наплавку присадкой проволокой Св-АК5, Св-АК10, Св-АК12. Наплавка производится вдоль оси гнезд, поворачивая каждый раз блок вокруг продольной оси после нанесения каждого валика. Поверхность гнезд перед наплавкой следует тщательно очистить от загрязнений. Предварительный нагрев 200 °С. После сварки или наплавки все отремонтированные участки промывают сначала горячей водой с использованием металлической щетки, потом — 10 %-ным раствором азотной кислоты и опять горячей водой.

При обнаружении пористости или швов низкого качества дефектный шов вырубается и сварка повторяется. Шов не должен иметь наплыпов. Герметичность отремонтированного блока проверяется гидравлическим испытанием.

Головки цилиндров в основном имеют такие же дефекты, как и блок. Кроме того, вследствие деформации часто наблюдается не плотное прилегание головки к блоку. Поверхности рубашки охлаждения, имеющие трещины и механические повреждения, ремонтируются по описанной выше технологии. Трещины длиной менее 150 мм на поверхности сопряжения головки с блоком также завариваются, предварительно просверлив отверстия по концам трещин диаметром 4 мм и глубиной 4 мм. Затем трещину разделяют по всей длине на глубину 3 мм под углом 90°. Перед сваркой головку нагревают в электрической печи до температуры 200 °С с последующей зачисткой поверхности, подлежащей сварке, металлической щеткой. Заварка производится электродом ОЗА-2 диаметром 5 мм постоянным током обратной полярности. При сварке электрод следует несколько наклонять в сторону его перемещения вдоль шва без поперечных колебаний. Кислородно-ацетиленовую сварку производят горелкой с наконечником № 4, используя проволоку из сплава АЛ-4 диаметром 6 мм и флюс АФ-4А. После сварки шов промывают горячей водой с использованием металлической щетки, затем следы флюса или электродного покрытия нейтрализуют 10 %-ным раствором азотной кислоты и окончательно промывают горячей водой. Зачистив шов заподлицо с основным металлом на ждачным кругом, проверяют качество шва — на отсутствие трещин, пор, шлаковых включений. Далее головку цилиндра проверяют на герметичность принятым ремонтным предприятием способом.

Корпус водяного насоса, изготовленный из алюминиевого сплава АЛ-4, при появлении трещин ремонтируется кислородно-ацетиленовой сваркой, используя горелку с наконечником № 3 и флюс АФ-4А. Предварительно корпус нагревают в электрической печи до температуры 180...200 °С. Присадочная проволока тоже из сплава АЛ-4. Пламя горелки нейтральное.

Картер сцепления может иметь трещины любого характера и расположения, обломы на фланце крепления к блоку цилиндров, отверстий крепления к коробке передач. Трещины размером менее 100 мм, обломы на фланце крепления к блоку цилиндров, захватывающие менее половины отверстия, подлежат ремонту аргонно-дуговой сваркой с присадочным материалом из сплава АЛ. Завариваются и изношенные отверстия в картере сцепления с последующей механической обработкой.

Картер коробки передач, крышка распределительных шестерен имеют дефекты, аналогичные с дефектами других составных частей автомобиля, изготовленных из алюминиевых сплавов, и ремонтируются в большинстве случаев аргонно-дуговой сваркой по режимам, приведенным в табл. 8.1.

Впускные трубопроводы с механическими повреждениями ремонтируются установкой бужей сваркой электродом 03А-2. Подготовка к сварке и обработка после сварки производятся по общепринятой технологии.

## 8.6. Сварка деталей из магниевых сплавов

Магниевые сплавы в практике автостроения менее распространены, чем алюминиевые сплавы. Тем не менее для изготовления некоторых корпусных деталей применяется магниевый сплав МЛ-5. Кроме того, в условиях ремонта могут быть использованы алюминиевые сплавы, содержащие магний. При этом следует учесть, что сплавы, содержащие выше 0,5 % Mg, имеют окисную пленку  $MgO$  и  $Al_2O_3 \cdot MgO$ , а выше 1,5 % Mg — только  $MgO$ , т. е. такие сплавы по своей свариваемости приравниваются фактически к магниевым сплавам. Магниевые сплавы являются более трудносвариваемыми материалами, чем даже алюминиевые сплавы. Это объясняется следующими обстоятельствами.

1. Наличие на поверхности относительно легкоплавкого магния ( $T_{пл} = 651^{\circ}\text{C}$ ) весьма тугоплавкой окисной пленки  $MgO$  с температурой плавления  $2500^{\circ}\text{C}$ , что превышает температуру плавления окиси алюминия на  $450^{\circ}\text{C}$ . Химически окись магния более стойка, чем окись алюминия. Магний восстанавливает окись алюминия. Этим объясняется преобладание окиси магния в алюминиевых сплавах, даже при незначительной концентрации магния. В связи с отмеченной высокой стойкостью окиси магния при сварке магниевых сплавов применяют флюсы, содержащие фториды щелочных металлов. Сварку производят также в атмосфере аргона, используя эффект катодного распыления.

2. Возможность образования при сварке легкоплавких эвтектик:  $MgCu$ ,  $MgAl$  и  $MgNi$  с температурой плавления соответственно  $485$ ,  $436$  и  $508^{\circ}\text{C}$ . Эти эвтектики являются причиной возникновения кристаллизационных трещин. В связи с этим начало и конец сварных швов следует располагать на выходных планках.

3. Структура металла в зоне термического влияния имеет склонность к росту зерна при нагреве в процессе сварки. Особенно интенсивно растут зерна сплава, содержащие марганец. В связи с этим газопламенная сварка дает худшие результаты, чем аргонодуговая.

4. Склонность жидкого металла к порообразованию вследствие повышенного поглощения газов.

5. Значительное коробление свариваемого изделия вследствие высокого значения коэффициента линейного расширения магниевых сплавов.

6. Наличие на поверхности магниевых сплавов защитной пленки из солей хромовой кислоты. Магниевые сплавы имеют низкую

коррозионную стойкость на воздухе, и без защитной пленки сплав сильно корродирует, поэтому перед сваркой следует поверхность детали на ширину 10...15 м от кромки зачистить металлической щеткой.

Практически единственным приемлемым способом ремонта магниевых сплавов является аргонно-дуговая сварка лантантированным или иттрированным вольфрамовым электродом. Для сварки применяется аргон высшего или первого сорта. Присадочная проволока должна быть по составу близкой с основным металлом. Лучшие результаты дает проволока, содержащая церий. Сварка производится переменным током. Диаметр электрода 2...3 мм. Сила тока выбирается из расчета  $I_{\text{св}} = (30...40)d_w$ , где  $d_w$  — диаметр вольфрамового электрода. Кромки свариваемой детали необходимо тщательно очистить от окислов, загрязнений, а с поверхности детали, прилегающей к кромкам, как указывалось выше, на расстояние 10...15 мм, удалить защитную пленку солей хромовой кислоты. Детали толщиной до 3 мм свариваются без разделки кромок. При толщине детали 3...6 мм следует сделать V-образную канавку. При сборке необходима тщательная подгонка свариваемых кромок. При возможности необходимо с обратной стороны шов защитить от воздействий воздуха стальной подкладкой, способствующей одновременно формированию шва. Как и алюминиевые сплавы, при сварке магний не меняет цвета, поэтому возможен прожог (провал) расплавленного металла. Стальная подкладка в этом случае предотвращает провал.

В исключительных случаях, при отсутствии аргона, сварку можно производить кислородно-ацетиленовым пламенем с использованием флюса состава: 34 % фтористого калия, 66 % хлористого лития или 20 % фтористого кальция, 40 % хлористого лития, 40 % хлористого натрия. Перед употреблением флюс прокаливается при температуре 200 °С. Остатки флюса после сварки немедленно удаляются промывкой горячей водой. Независимо от способа сварки шов после удаления наплыков обрабатывается раствором хромовой кислоты для защиты от коррозии.

При соблюдении установленной технологии аргонно-дуговая сварка обеспечивает получение шва с прочностью 85...90 % прочности основного металла. При газовой сварке достигается только 60...70 %.

Детали, изготавляемые из магниевых сплавов, — блок цилиндров, картер сцепления, картер коробки передач — имеют такие же примерно дефекты, как и детали из других материалов: трещины, изломы, пробоины и др. Заварка трещин производится с учетом рекомендаций, приведенных выше. При подготовке к сварке пробоины следует иметь в виду, что установка накладки с нахлесточными швами нецелесообразна, так как это приведет к перегреву детали и укрупнению структуры металла. Поэтому вставка должна быть подогнана заподлицо с основным металлом и свариватьсястыком.

## 9.1. Особенности сварки чугунных деталей

Чугун широко применяется в автомобилестроении вследствие невысокой стоимости, хороших литейных свойств, достаточно высокой прочности и износостойкости при работе на трение, меньшей, чем у стали, чувствительности к концентраторам напряжений и высоких внутренних трений, приводящих к быстрому гашению вибрационных нагрузок, и, наконец, хорошей обрабатываемости после литья металлорежущими инструментами.

Как известно, в чугуне углерод существует в виде графита и цементита. Хорошо обрабатывается металлорежущими инструментами чугун с графитом (серый чугун). Чугун с цементитом или карбидом железа (белый чугун) имеет очень высокую твердость, низкую пластичность и плохо обрабатывается металлорежущими инструментами. Графитизация или отбеливание чугуна зависит от его химического состава и скорости охлаждения при кристаллизации или после высокотемпературного нагрева. Отбеливанию чугуна способствует содержание в нем марганца, ванадия, молибдена, серы, а графитизации — кремния, никеля.

Чугун в зависимости от состава и условий отливки имеет сложную неоднородную структуру. Даже чугун одной отливки не всегда имеет однородную структуру. Нагрев в процессе сварки и последующее охлаждение могут сильно изменить структуру металла шва и околосшовной зоны, поэтому получить сварное соединение без дефектов и с необходимым уровнем свойств не всегда удается. Таким образом, чугун относится к материалам, имеющим плохую свариваемость. Тем не менее широкое распространение чугуна в машиностроении требует разработки специальной технологии сварки чугуна. При этом учитываются все специфические особенности, характерные для чугунов. В основном они состоят в следующем.

1. Отбеливание чугуна в зоне нагрева вследствие высокой скорости охлаждения металла шва и околосшовной зоны. Высокая твердость отбеленного участка с выделением цементита, как указывалось выше, резко снижает технологичность чугуна.

2. Возможность образования трещин в шве и околосшовной зоне в связи с незначительной пластичностью чугуна, подвергаемого неравномерному местному нагреву. Отбеленные участки имеют плотность  $7,4\ldots7,7 \text{ г}/\text{см}^3$ , а серый чугун —  $6,9\ldots7,3 \text{ г}/\text{см}^3$ . Это создает дополнительные структурные напряжения, способствующие трещинообразованию.

3. Интенсивное газовыделение из сварочной ванны вследствие окисления углерода с образованием его окиси, в результате чего шов получается пористым. Газовыделение продолжается и на стадии кристаллизации.

4. Повышенная жидкотекучесть расплавленного чугуна, затрудняющая удержание его от вытекания при сварке и формировании шва.

5. Наличие в чугуне кремния и других элементов с тугоплавкими окислами, тогда как сам чугун плавится при температуре 1250...1260 °С. Эти окислы, образуя на поверхности сварочной ванны твердую окисную плёнку, могут привести к образованию непроваров.

Несмотря на отмеченные трудности, в настоящее время разработана технология восстановления чугунных изделий сваркой, обеспечивающая достаточно высокое качество сварного соединения. При этом применяется два способа сварки: горячий и холодный.

## 9.2. Горячая сварка чугуна

Горячая сварка является радикальным способом предотвращения отбеливания шва и околошовной зоны, образования пор и трещин. Сущность процесса состоит в подогреве чугуна до температуры 600...650 °С с последующим медленным охлаждением после сварки. Технологический процесс горячей сварки включает подготовку изделия под сварку, подогрев до нужной температуры подготовленной детали, сварку и медленное охлаждение до комнатной температуры.

Подготовка изделия к сварке определяется характером дефекта. При всех вариантах подготовки дефектное место тщательно очищается от загрязнений и разделяется так, чтобы образовать полости для воздействия источником тепла при сварке и подачи присадочного материала. Иногда для предотвращения провала расплавленного металла и придания сварочной ванне необходимых форм и размеров место сварки формуют при помощи графитовых пластинок, скрепленных формовочной массой, состоящей из кварцевого песка и жидкого стекла. Могут быть использованы и другие формовочные материалы. Например, деталь с отколившейся частью можно восстановить, как показано на рис. 9.1, где 1 (рис. 9.1, а) — деталь с дефектом и 2 — форма показаны в разрезе; рис. 9.1, б — внешний вид подготовленного к сварке дефектного участка с графитовыми пластинками, где 3 — полость.

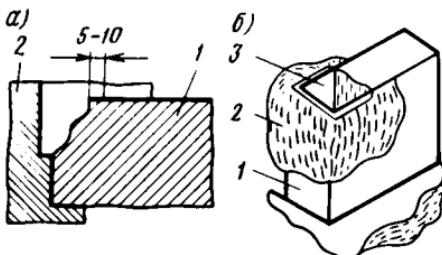


Рис. 9.1. Формовка места сварки для горячей сварки

изводится сушка формы при температуре 60...120 °С с последующим медленным повышением температуры (120...150° в час) в печи, горне или другим способом. В дальнейшем нагрев формы производится вместе с деталью, подлежащей сварке.

Сварка подготовленного изделия производится электрической дугой или газовым пламенем. Для сварки используются плавящие электроды из чугуна марок А, Б, НЧ-1 или НЧ-2 (см. табл. 2.7) с покрытиями, приведенными в табл. 2.12. Чугунные сердечники электродов отливаются диаметром 5...20 мм. Покрытия содержат стабилизирующие и легирующие компоненты, в качестве которых служат графит, карборунд, ферросилиций, силикокальций и другие материалы. Горячая сварка чугуна осуществляется силой тока, определяемой зависимостью  $I_{\text{св}} = (60...100)d_3$ , где  $d_3$  — диаметр прутка, мм. Сварка производится без перерывов до конца заварки дефекта. Поскольку сварка производится при температуре 600...650 °С, электрододержатель должен иметь защитный щит, предохраняющий руку сварщика от ожогов. Электрододержак должен иметь хороший контакт с чугунным электродом. Обычно стальной стержень электрододержателя приваривается (прихватывается) к чугунному электроду.

Горячая сварка чугуна может производиться также угольным электродом с использованием в качестве присадочного материала чугунных прутков (см. табл. 2.7). Диаметр электрода и силу сварочного тока выбирают в зависимости от толщины свариваемого металла (табл. 9.1). Сварка производится с использованием флюса на основе бора, чаще всего прокаленной технической буры.

Для горячей сварки чугуна можно использовать и порошковую проволоку ППЧ-3, содержащую 4,5...5,0 % углерода, 3,3...4,0 % кремния, 0,1...0,3 % алюминия и 0,1...0,3 % титана. В состав шихты порошковой проволоки вводятся такие компоненты, которые обеспечивают получение металла шва, близкого по составу с чугуном. Так, металл шва, сваренного порошковой проволокой ППЧ-3, содержит 3,0...3,8 % углерода, 3,0...3,8 % кремния, по 0,1 % алюминия и титана.

Горячую сварку можно осуществить также кислородно-ацетиленовым пламенем с небольшим избытком ацетилена. Сварочные го-

Таблица 9.1. Выбор режима сварки угольным электродом

Параметр	Толщина металла, мм		
	6...10	10...20	20...30
Диаметр угольного электрода, мм	8...10	10...12	12...16
Сила тока, А	280...350	300...400	350...500

Таблица 9.2. Режимы газовой сварки чугуна

Параметр	Толщина металла, мм				
	2...3	4...5	6...7	8...10	11...14
Номер наконечника	1, 2	2, 3	3, 4, 5	4, 5, 6	5, 6, 7
Расход газа, дм <sup>3</sup> /ч	200...300	400...550	600...760	800...1100	1100...1550

релки выбирают так, чтобы обеспечивался расход ацетилена 100...200 дм<sup>3</sup>/ч на 1 мм толщины металла (табл. 9.2). Присадочным материалом могут быть чугунные прутки марки А и Б, как и при электродуговой сварке.

Сварка производится с применением следующих флюсов: буры ( $\text{Na}_2\text{B}_2\text{O}_7$ ); смеси, состоящей из 50 % буры, 47 % кислого двууглекислого натрия ( $\text{NaHCO}_3$ ) и 3 % окиси кремния ( $\text{SiO}_2$ ); смеси на 56 % буры, 22 % углекислого натрия ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) и углекислого калия ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ). Используются и другие флюсы, приведенные в табл. 2.24. Флюс вносят погружением в него нагреветого пруттика. Охлаждение после газопламенной сварки, как и после электродуговой, должно производиться медленно вместе с нагревательным устройством.

Горячая сварка чугуна может обеспечить прочность шва, равнозначную прочности основного металла, но достигается это применением трудоемкого и дорогостоящего процесса. В ряде случаев не требуется получения такой прочности. Иногда достаточно, чтобы шов был только герметичным, без особой прочности. Достаточным условием сварки может быть также хорошая обрабатываемость сварного соединения. Различные металлургические и технологические средства позволяют производить так называемую полугорячую электродуговую сварку с невысоким предварительным подогревом — до 400 °С. Полугорячая сварка может быть выполнена прутком из никелевого чугуна (см. табл. 2.13) или порошковой проволокой ППЧ-2 (см. табл. 2.5).

При сварке порошковой проволокой ППЧ-2 металл шва содержит: 3,5...4,7 % углерода, 3,0...3,8 % кремния, 0,5...0,9 % марганца, 0,2...0,5 % титана и 0,3...0,6 % алюминия. Такой состав металла шва соответствует структуре серого чугуна с наиболее благоприятной формой графитных включений. Графитизация чугуна способствует и применение электрода ЭМЧ, содержащего до 5,2 % кремния, позволяющего сваривать даже массивные чугунные изделия с подогревом только до 400 °С. Электрод имеет двухслойное покрытие. Первый, легирующий, слой содержит 41 % графита, 40 % силикомагния, 14 % железной окалины и 5 % алюминиевого порошка. Второй слой, обеспечивающий газовую и шлаковую защиту, имеет 50 % мрамора и 50 % плавикового шпата. Относительная масса каждого слоя составляет 15...22 % массы стержня.

### 9.3. Холодная сварка чугуна

Холодная сварка чугуна может производиться электродами, позволяющими получить в наплавленном металле состав низкоуглеродистой и специальных сталей или цветных сплавов. Если чугун сваривать обычными электродами, предназначенными для углеродистой и низколегированной стали, то неизбежно в металле шва образуется высокоуглеродистая сталь, которая при охлаждении чугуна без предварительного нагрева будет закалена, в результате чего может образоваться трещина.

Для получения металла шва с низким содержанием углерода иногда применяют метод выжигания, когда сварочную ванну нагревают электрической дугой почти до полного сгорания углерода. Однако при этом происходит значительное отбеливание околошовной зоны, поэтому такая технология сварки чугуна себя не оправдывает.

Иногда сварку чугуна производят малоуглеродистой стальной проволокой Св-08. При этом часть углерода сгорает, а в разбавленном проволокой Св-08 металле шва содержание углерода значительно снижается. Такая сварка в ряде случаев находит применение.

Низкоуглеродистую сталь в сварочной ванне можно получить и механизированной сваркой короткими участками электродной проволокой Св-08ГС или Св-08Г2С диаметром 0,8...1,0 мм в углекислом газе. Сила тока 50...75 А, напряжение дуги 18...21 В, скорость сварки 10...12 м/ч. Вследствие выгорания углерода с образованием газообразной окиси углерода металл шва часто получается пористым, поэтому такой способ сварки углерода не находит широкого применения.

Более эффективно применение для сварки чугуна электрода ЦЧ-4 со стержнем из малоуглеродистой стальной проволоки Св-08 или Св-08А. Покрытие электрода имеет следующий состав, % (по массе): мрамор — 12, плавиковый шпат — 16, феррованадий — 66, ферросилиций — 4, поташ — 2, жидкое стекло — 30 от массы сухой смеси. Ванадий является более сильным карбиообразующим элементом, чем железо, поэтому при сварке вместо карбида железа получается карбид ванадия с невысокой твердостью, вследствие чего вероятность появления трещин при сварке значительно снижается. Металл шва, полученного сваркой электродом ЦЧ-4, содержит, % (по массе): углерода не более 0,15, кремния не более 0,8, марганца не более 1,0, ванадия 9,0...10,5, серы и фосфора не более чем по 0,04. Механические свойства соединения, полученного сваркой электродом ЦЧ-4, приведены в табл. 1.11.

Электроды марки ЦЧ-4 с легирующими фтористо-кальциевыми покрытиями предназначены для сварки изделий из высокопрочного чугуна, а также ковкого, модифицированного и обычного серого чугунов; сварки изделий из сочетаний чугуна и стали; предвари-

тельной наплавки облицовочных слоев на изношенные чугунные изделия под последующую наплавку специальными электродами. Электроды ЦЧ-4 обеспечивают возможность механической обработки сварных соединений, выполненных из различных чугунов, равенство их плотности и прочности основному металлу при испытании на разрыв и изгиб, а также стойкость к воздействию морской воды, щелочных и кислотных сред. Сварку чугуна электродами ЦЧ-4 рекомендуется осуществлять при постоянном токе обратной полярности. Однако возможно использование и переменного тока. Силу сварочного тока во избежание глубокого проплавления основного металла и уменьшения повышенного перехода углерода чугуна в металл шва следует принять минимальной:

Диаметр электрода, мм ....	3	4	5	6
Пределы изменения сварочного тока, А .....	65...80	90...120	130...150	150...170

Сварка высокопрочного и обычного серого чугунов, а также ковкого чугуна электродами ЦЧ-4 осуществляется без предварительного подогрева свариваемых изделий, преимущественно, как указывалось ранее, постоянным током. При этом следует соблюдать следующие рекомендации.

1. Для уменьшения образования метастабильных структур (цементит, мартенсит) в зоне сплавления и получения легкообрабатываемого высококачественного сварного соединения проплавлять свариваемый чугун следует минимально. С этой целью предварительно наплавляют поверхность разделки на чугуне электродами ЦЧ-4 при значениях силы сварочного тока, приведенных выше.

2. Наплавку производят параллельными валиками с перекрытием каждого предыдущего валика на  $1/2\ldots 2/3$  его ширины, в два-три слоя. При наплавке второго и третьего слоев сварочный ток в случае необходимости увеличивают на 15...20 %.

3. Наплавку серого чугуна с пластинчатым графитом ведут короткими валиками длиной 25...35 мм, шириной, превышающей в 4...5 раз диаметр электрода, и высотой, превышающей 1,5 диаметра электрода. При наплавке высокопрочного чугуна с шаровидным графитом, а также ковкого чугуна длина валиков может быть увеличена до 80...100 мм.

4. Перемещение электрода в процессе наплавки производят по схеме полумесяца, с наклоном оси электрода в сторону движения на  $60\ldots 80^\circ$ . Дугу при этом направляют на ранее наплавленный металл.

5. После окончания наплавки каждого валика не следует резко отрывать дугу, чтобы не оставлять кратер открытым. Окончание сварки производят путем повторного (двух, трехкратного) зажигания дуги, до полного заполнения кратера.

6. Окончательное заполнение разделки производят или электродами ЦЧ-4, или электродами с фтористо-кальциевым покрытием,

предназначенными для сварки обычных малоуглеродистых сталей. Последнее целесообразно в случае сварки чугуна со сталью, сварки чугунных деталей толщиной более 15 мм и заварки объемных дефектов.

7. Окончательное заполнение разделки можно производить также методами полуавтоматической и автоматической сварки в среде углекислого газа или под флюсом.

8. Заварку раковин округлой формы, а также предварительную наплавку их поверхности производят от центра раковины по спирали к ее краям.

9. При окончательном заполнении разделки не разрешается выводить дугу на основной металл, не имеющий слоя, наплавленного электродами марки ЦЧ-4.

10. Для полной гарантии механической обрабатываемости места сварки при однослоевой наплавке или заварке рекомендуется на ранее наплавленный металл (не заходя на основной) накладывать отжигающие валики.

11. Заварка дефектов, выявленных после окончательной механической обработки, производится электродами марки ЦЧ-4 максимально допустимого диаметра.

12. Заварку трещин и других подобных дефектов рекомендуется производить в полувертикальном положении, ведя процесс снизу вверх в направлении выхода дефекта, заполняя при этом все сечение разделки.

13. При заварке дефектов в тонкостенных фасонных отливках (блоки автомобильных цилиндров и т.п.), изготавляемых обычно из фосфористых чугунов, не следует перегревать основной металл более чем на 50...70 °С, поскольку перегрев может привести к образованию горячих и холодных трещин в участках, прилегающих к шву. Наилучшие результаты при сварке подобных изделий достигаются в случае ускоренного заполнения разделки дефектов, с принудительным охлаждением места заварки.

Электроды ЦЧ-4 являются относительно дефицитным и дорогостоящим материалом из-за содержания в их покрытиях большого количества ванадия (до 66 % феррованадия). Более доступными для ремонта чугунных деталей автомобиля являются электроды на основе меди и никеля, не образующих с углеродом химических соединений, способствующих графитизации чугуна и уменьшающих растворимость углерода в железе. Кроме того, пластичность металла шва на основе меди и никеля снижает вероятность образования трещин. Ремонт чугунных деталей осуществляется с использованием медно-железных, медно-никелевых и железо-никелевых электродов.

Применяют несколько типов медно-никелевых и других сплавов для изготовления стержня электродов.

1. Медный стержень с оплеткой жестью толщиной 0,3 мм и шириной 5...7 мм. Эта лента навивается на стержень по винтовой линии. Затем на стержень наносится фтористо-кальциевое или другое покрытие. Другой вариант медно-железных элект-

ролов изготавляется запрессовкой в медную трубу железного (из низкоуглеродистой стали) прутка. Можно изготовить стержень из стального прутка с оплеткой медью. Все разновидности стержней не должны содержать более 10...15 % железа. В противном случае в металле шва может образоваться большое количество карбидов железа, снижающих пластичность шва.

2. Пучок электродов, состоящий из нескольких медных и стальных прутков, связанный в четырех-пяти местах медной проволокой. Пучок имеет защитное покрытие любой марки. Для лучшего контакта прутки в конце прижимаются электроудержателем. Количество медных и железных прутков подбирается с учетом их соотношения, указанного ранее.

3. Электрод марки 03Ч-1 (см. табл. 2.14) с медным стержнем диаметром 4...5 мм и покрытием УОНИ-13/45 содержит медь и железный порошок в равных соотношениях. Электроды 03Ч-1 получили наиболее широкое применение при холодной сварке чугуна.

Медно-железный сплав в составе металла шва получают сваркой медным электродом по слою флюса, состоящего из 50 % проекаленной буры, 20 % каустической соды, 15 % железной окалины и 15 % железного порошка. Флюс, насыпанный на свариваемые кромки детали слоем 10 мм, расплавляют электрической дугой. Дуга горит между электродом и токопроводящим флюсом. При сварке чугуна медно-железным электродом не следует допускать сильного разогрева основного металла. Ток должен быть минимально возможным, шов — коротким в разброс с перерывами для охлаждения свариваемой детали. Медно-железный шов можно перековывать в горячем состоянии, чтобы уменьшить уровень сварочных напряжений. Проковка позволяет снизить вероятность образования трещин в окколошовной зоне.

При сварке медно-железным электродом получается неоднородный металл шва. Это характерно для всех способов получения электродов. Причина неоднородности: наличие мягкой сердцевины и твердых включений карбида железа. Это затрудняет механическую обработку и препятствует получению высокой чистоты обработанной поверхности. Несколько лучшие результаты дает электрод АНЧ-1 с сердечником из стали марки Св-04Х18Н9 и медной оболочкой. Электрод имеет покрытие фтористо-кальциевого типа.

Медно-никелевые электроды (см. табл. 2.14) практически не дают твердых карбидных составляющих, поскольку, как отмечалось выше, ни медь, ни никель не образуют с углеродом химического соединения. Частичное расплавление основного металла большого практического значения не имеет, так как и медь, и никель являются графитизаторами чугуна и, проникая в расплавленный металл, положительно влияют на него. К тому же медь и никель, обладающие неограниченной растворимостью, способствуют надежному сплавлению с чугуном.

Для изготовления электрода используются медно-никелевые сплавы (см. табл. 2.14) — монель-металл и константан. Электрод МНЧ-1 из первого сплава НМЖМЦ 28-2,5-1,5 содержит 65...75 % никеля, 27...30 % меди, 2...3 % железа и 1,2...1,8 % марганца; электрод МНЧ-2 из второго сплава МНМЦ 40-1,5 — 60 % никеля

Таблица 9.3. Режимы дуговой сварки деталей из чугуна

Параметр	Толщина стенки, мм			
	2...3	3...5	5...8	8...12
Диаметр электрода, мм	2,5...3,0	3...4	3...4	4...5
Сила тока, А	60...90	90...150	140...190	160...230

и 40 % меди. Медно-никелевым сплавам присущи два основных недостатка: высокая стоимость электродов и большая усадка расплавленного металла при кристаллизации и связанное с этим образование горячих трещин. Горячие трещины иногда имеют вид сплошной систики, снижающей прочность шва. По этой причине сварку медно-никелевыми электродами не рекомендуется применять для заварки трещин. Электроды МНЧ-1 и МНЧ-2 имеют покрытия основного типа. Сварка производится электродами, диаметр которых выбирается согласно табл. 9.3. Валики наносятся короткими участками при возвратно-поступательном движении электрода с перерывами для охлаждения. В горячем состоянии наплавленный металл необходимо проковывать ударами легкого молотка.

Кроме электродов железно-медных и медно-никелевых, для сварки чугунов используется железоникелевый сплав ЖНБ-1, состоящий (см. табл. 2.14) из 45 % железа, 55 % никеля, с примесями до 0,07 % углерода, до 1,5 % марганца и до 0,7 % кремния. Железоникелевые электроды имеют покрытие марки УОНН-13/45 и могут использоваться для заварки отдельных небольших дефектов из серого и высокопрочного чугуна и в ряде других случаев. Шов, полученный этими электродами, обладает достаточно высокой прочностью при некоторой вязкости металла. К тому же железо-никелевые сплавы дают меньшую литейную усадку металла шва. Иногда имеет значение одноцветность металла шва, полученного сваркой железо-никелевыми электродами со свариваемым материалом.

Кроме электродов ЖНБ-1, из этой группы применяется электрод ЦЧ-3А со стержнем из проволоки Св-08Н50 с покрытием: 35 % доломита, 25 % плавикового шпата, 10 % графита и 30 % ферросилиция.

Следует отметить, что все электроды, содержащие никель, дефицитны и находят ограниченное применение. Дефицитны и присадочные проволоки на основе никеля ПАНЧ-11 и ПАНЧ-12, используемые для полуавтоматической сварки чугуна. Достоинством этих проволок является применение их без покрытия, флюсовой или газовой защиты.

Разработана технология ремонта сваркой корпусных деталей, например блоков цилиндров автомобильных двигателей.

## 9.4. Восстановление чугунных деталей сваркой

Из обычных серых, ковкого и высокопрочного чугунов изготавливаются блоки цилиндров, головки блоков, коленчатые и распределительные валы, картеры коробок передач и главной передачи задних мостов, чашка дифференциала задних мостов и другие детали автомобиля.

Все они имеют разнообразные дефекты. В блоках цилиндров, например, встречаются, в основном, три вида дефектов: пробоины, обломы и трещины. Перед дефектацией блоки, как и все другие ремонтируемые детали, моют в горячем растворе каустической соды, а затем просто в горячей воде с последующей просушкой. Для блоков цилиндрон неизбежно образование накипи, поэтому ее удаляют по общепринятой технологии. После этого производится осмотр состояния блока визуально, а также с помощью принятых на ремонтном предприятии средств контроля. Блоки, не имеющие пробоин, подвергаются гидравлическим испытаниям для определения места, имеющего скрытые дефекты, нарушающие герметичность блока. Дефектные места блоков отмечают краской, не окрашивая сами дефекты, подлежащие сварке. У блоков, подлежащих выбраковыванию согласно установленным ТУ, дефектные места закрашиваются краской другого цвета.

Для получения качественных сварных соединений на чугунных деталях подготовка их под сварку имеет большое значение. Эту предварительную операцию следует выполнять тщательно, соблюдая следующие условия.

1. Приступая к подготовке к заварке различных дефектных участков на чугунных деталях, необходимо выявить границы их распространения (визуальный осмотр в лупу, керосиновая проба и т.п.) и установить форму разделки. При обнаружении трещин следует произвести засверловку их концов.

2. Удаление дефектных участков производится механическими способами, а именно фрезерованием, сверловкой, вырубкой зубилом и т.п.

3. Поверхность детали или отливки, прилегающая к месту сварки, на 10...20 мм вокруг него зачищается абразивным кругом или щеткой до металлического блеска.

4. Разделка кромок трещин, спаев и других дефектных участков производится путем снятия фасок вдоль края. При доступности для сварки только одной стороны детали, а также при толщине стенки до 15 мм делается V-образная разделка кромок с общим углом раскрытия 60...70°. В местах, доступных двусторонней сварке, при толщине стенки выше 15 мм производится двусторонняя X-образная разделка с тем же углом раскрытия.

5. Усадочные, газовые и шлаковые раковины разделяются до неповрежденного металла до тех пор, пока не будет достигнута возможность выполнения сварки выбранным диаметром электрода. При этом наилучшей формой разделки подобных дефектов считается полусфера.

6. На подготовленных к сварке поверхностях не должно быть масла, керосина или других органических соединений, а также

влаги, поскольку это может привести к образованию газовых включений в металле шва.

7. Сквозные отверстия, отбитые части чугунных деталей могут быть восстановлены посредством приварки чугунных или стальных вставок. Вставки тщательно подгоняются по месту дефекта с равномерным зазором, а их кромки и кромки основного металла разделяются, как указано ранее. Для уменьшения напряжений, возникающих при сварке, вставкам рекомендуется придать предварительный выгиб, а их краям — округлую форму.

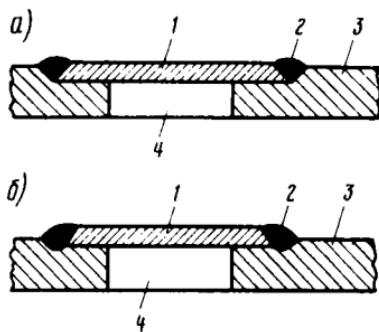
8. Подготовка под сварку чугунных деталей или их сочетаний со стальными деталями осуществляется так же, как это предусмотрено для стальных конструкций.

Обломы краев площадки крепления генератора, обломы или трещины фланцев крепления картера сцепления или крышки распределительных шестерен, фланца крепления нижнего картера, гнезд вкладышей коренных подшипников могут устраниться наплавкой металла на место обломов. Поврежденное место может быть подготовлено к наплавке формовкой, как показано на рис. 9.1, б. Место, подлежащее восстановлению сваркой, предварительно нагревается кислородно-акцетиленовым или пропано-бутано-кислородным пламенем с использованием горелки типа ГС-53 с наконечниками № 6 или 7. Температура нагревания 600...650 °С. Сварку производят чугунными прутками (см. табл. 2.7) с использованием флюсов (см. табл. 2.24). Поскольку блок цилиндров является сравнительно массивной деталью, для сварки применяют горелки с наконечником № 3 или 4. Для медленного охлаждения восстановленного блока необходимо его закрыть теплоизоляционным чехлом.

Блоки, имеющие пробоины рубашки охлаждения и картера, не захватывающие масляный канал, площадью менее 200 мм<sup>2</sup>, могут быть восстановлены постановкой накладки, привариваемой электродом ЦЧ-4 или 03Ч-1. Края пробоины 4 (рис. 9.2) должны обрабатываться так, чтобы она не имела острых углов, приводящих к концентрации напряжений. Накладка 1 к детали 3 приваривается впотай (а) или внахлестку (б). Валик шва 2 можно не снимать. Для постановки накладки впотай необходимо фрезеровать в стенке детали площадку, соответствующую размеру и толщине накладки. После сварки шов подлежит испытанию на герметичность.

Трещины в стенах масляного канала заваривают электродом 03Ч-1 или ЦЧ-4. Продольные и поперечные трещины или трещины любого направления со стороны крышки распределительных шестерен или картера сцепления устраняются заваркой электродом ЦЧ-4 или 03Ч-1 с проковыванием шва. Перед сваркой концы трещины следует засверлить сверлом 3 мм и вырубить канавку по всей длине трещины. Таким же образом завариваются и многие другие трещины. Задельвание трещин между клапанными гнездами и цилиндрами, переходящими в полость клапанов, можно производить го-

Рис. 9.2. Схема постановки заплат на пробоины блока цилиндров



рячай сваркой чугунными прутками (см. табл. 2.7) диаметром 8...9 мм с общим нагревом блока цилиндров в газовой печи. Места сварки до нагрева блока разделяют и формируют огнеупорной глиной. Сварка производится постоянным током обратной полярности. Силу тока при сварке выбирают согласно табл. 9.4. При сварке можно использовать прокаленную буру или другие флюсы, приведенные в табл. 2.24. Как и блоки цилиндров, сваркой восстанавливаются многие корпусные детали, в том числе картеры коробок передач, картеры сцеплений, картеры редукторов задних мостов и др. Основные дефекты картера коробки передач: скол лапок крепления, захватывающий отверстия; трещины различного характера; износ упорных торцов шестерен заднего хода; износ отверстий креплений коробки передач и др.

Таблица 9.4. Параметры режима наплавки чугунных коленчатых валов по стальной оболочке

Показатель	Прихватка оболочки	Наплавка	
		галтелей в углекислом газе	шееек под флюсом
Напряжение дуги при холостом ходе, В	28	28	32
Напряжение дуги при наплавке, В	19...20	19...20	20...22
Ток, А	120	120	150...170
Частота вращения вала, мин <sup>-1</sup>	—	2,0	2,5...8,0
Шаг наплавки, мм/об	—	—	3,5
Скорость подачи электродной проволоки, м/мин	3	1,4...1,6	1,4...1,6
Смещение электрода с зенита, мм	—	20	8...10
Вылет электрода, мм	10	15...20	15...20
Количество витков дросселя РСТЭ-34 (индуктивность сварочной цепи)	5	8	16

Трещины длиной до 50 мм заваривают, предварительно просверлив отверстия по концам трещины. Сварку производят медно-железным электродом 03Ч-1 с покрытием УОНИ-13/55 с добавлением 18...20 % железного порошка от массы меди. Можно использовать также электрод Св-08 с токостенной обмазкой, в состав которой входят, % (по массе): мела 74, канифоли 6 и жидкого стекла 20 или мела 80, жидкого стекла 20. Сварку ведут постоянным током силой 150...160 А. Трещину заваривают прерывистыми участками длиной 15...25 мм. Для уменьшения внутренних напряжений место заварки постоянно и равномерно подогревают газовым пламенем.

Картеры, имеющие сколы лапок крепления и бобышек резьбовых отверстий, крепления крышек люков, разделяют, края обломанных лапок нагревают предварительно в электропечи до температуры 200...250 °С в течение 20...25 мин, затем доводят температуру картера до 600...650 °С с выдержкой при этой температуре в течение 20...25 мин. Установив нагретый картер на сварочный стол, его закрывают теплоизоляционным чехлом, оставив открытыми лишь места, подлежащие сварке. Сварку производят кислородно-ацетиленовым пламенем, используя наконечник № 3 или 4 горелки. Присадочный материал — чугунный прут диаметром 6 мм, содержащий не менее 2,5 % кремния. Во время сварки температура картера не должна снижаться ниже 400 °С. Заваренный картер снова помещают в печь и нагревают до 600...650 °С. Охлаждение картера производят вместе с печью. После этого абразивным кругом электрошлифовальной машинки зачищают наплыты металла заподлицо с основным металлом.

Картер редуктора заднего моста, имеющий трещины, сколы фланца крепления, ремонтируют дуговой сваркой с последующей зачисткой заподлицо с основным металлом.

Многие детали автомобиля восстанавливаются кислородно-ацетиленовой сваркой. Так, при сколах ушков нажимного диска сцепления, захватывающих отверстия крепления рычагов, следует газовой сваркой наплавить ушко, восстановив его первоначальную форму с использованием огнеупорных литейных материалов (см. рис. 9.1). Сушку формовки до 60...120 °С с последующим повышением температуры со скоростью 120...150 град/ч и нагрев диска до 600...650 °С перед сваркой целесообразно производить в электрической печи. Сварка производится чугунным прутком диаметром 6 мм. После медленного охлаждения диска ушко очищается по контуру и в нем просверливают отверстие номинального размера.

При появлении трещин в выпускном трубопроводе в местах, доступных для заварки, их разделяют на глубину 2,5...3,0 мм под углом 120° по всей длине, а концы трещин засверливают сверлом диаметром 3 мм. Предварительно нагревают трубопровод медленно и равномерно до 650 °С, заваривают трещину кислородно-ацетиленовым пламенем. Шов должен выступать над поверхностью детали

на 1,0...1,5 мм. После визуального осмотра очищенного шва производится гидравлическое испытание шва под давлением 0,3...0,4 МПа. Шов должен быть герметичным.

С нагревом в электрической печи кислородно-ацетиленовой сваркой восстанавливают корпус секции масляного насоса, имеющий сколы или трещины, изношенную посадочную поверхность под венец маховика и другие чугунные детали автомобиля.

Наряду с горячей и холодной ручной сваркой чугунных деталей применяется механизированная сварка самозащитной проволокой ПАНЧ-11. Ремонт блока цилиндров осуществляется полуавтоматической сваркой проволокой ПАНЧ-11 в любом пространственном положении. Сваривать целесообразно постоянным током обратной полярности проволокой диаметром 1,2 мм. Режим сварки:

Сила тока, А .....	100...120
Напряжение холостого хода, В .....	21
Напряжение дуги, В .....	15...17
Скорость подачи электрода, м/мин	1,3...1,7
Скорость сварки, см/с .....	0,2...0,25
Вылет электрода, мм .....	15...18

Сварка производится без подогрева, за исключением отдельных случаев, когда целесообразно нагреть свариваемое место газовым пламенем или инфракрасным излучателем. Трещины завариваются участками 30...50 мм с охлаждением до 50...60 °C (при такой температуре к сварному шву можно прикасаться рукой без ожога). После сварки шов проковывается.

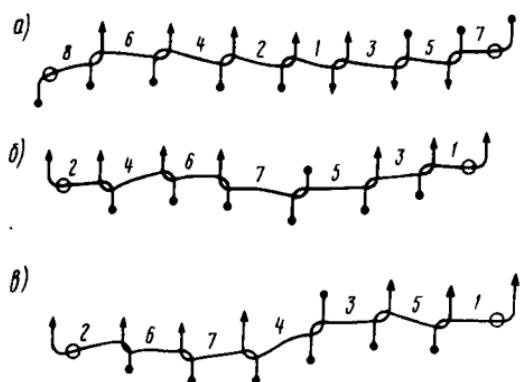
Шов можно накладывать как с середины трещины в направлении к концам попеременно с двух сторон (рис. 9.3, а), так и от концов трещины к ее середине (рис. 9.3, б). Предпочтительнее второй способ, так как в этом случае прежде всего завариваются концы трещины и тем самым предотвращается их дальнейшее распространение. Возможен и третий, смешанный, вариант (рис. 9.3, в), цифры на рисунках показывают очередность сварки отдельных участков шва.

На рис. 9.3 показана и схема сварки шва: целесообразно на каждом участке шва зажигание дуги начинать вне шва на расстоянии 5...7 мм от него и заканчивать сварку тоже на расстоянии 5...7 мм от шва, захватывая каждый раз кратер шва предыдущего участка.

По приведенной технологии устраняются и другие дефекты блока цилиндров. После выполнения сварочных операций зачищают валики сварных швов абразивным инструментом и при необходимости производят механическую обработку (например, растачивание отверстия под гильзы цилиндров).

Блоки цилиндров автомобиля ЗИЛ-130, имеющие обломы и пробоины, восстанавливаются постановкой дополнительных ремонтных деталей из стали или чугуна в зависимости от характера и

Рис. 9.3. Схема заварки чугунного блока



расположения дефекта. При появлении пробоины на рубашке охлаждения на дефектное место приваривается накладка из малоуглеродистой стали толщиной 2,5...3,0 мм. Размеры накладки должны быть такими, чтобы она перекрывала пробоину не менее чем на 10...15 мм со всех сторон. Перед сваркой края пробоины обрабатываются так, чтобы они не имели резких переходов. Места сварки в детали должны быть зачищены до металлического блеска. Накладка должна плотно прилегать к восстанавливаемой детали с зазором не более 0,3 мм. Для сварки подготовленная накладка устанавливается на дефектное место, прижимается и прихватывается участками шва 15...20 мм в двух диаметрально противоположных местах. Аналогичным способом накладка прихватывается еще в нескольких местах. Прихватки обязательно проковываются. После этого накладка приваривается к детали участками шва не более 30...40 мм с соблюдением всех рекомендаций, приведенных выше. Отремонтированные блоки подвергают испытаниям под давлением воды или сжатого воздуха. Отсутствие утечки жидкости через сварные швы свидетельствует о хорошей герметичности последних.

Проволокой ПАНЧ-11 можно восстанавливать также картеры коробок передач, картеры сцеплений, картеры редукторов задних мостов и другие детали, используя общие рекомендации разработанной технологической схемы.

Кроме общих дефектов, характерных чугунным деталям, возможны специфичные дефекты в виде трещин глубиной проникновения до 18 мм, возникающих на головках цилиндров двигателей, например двигателей ЯМЗ-236 и ЯМЗ-238, между гнездами клапанов, проходящих через отверстие под форсунку. Такую трещину необходимо разделать на всю глубину ее залегания абразивным кругом диаметром 60...70 мм. Перед сваркой требуется отверстие под форсунку заполнить материалом, предотвращающим затекание расплавленного металла в отверстие (асбестом или шамотной глиной). При заполнении отверстия шамотной глиной сварку можно осуществить лишь после полного высыхания глиняного вкладыша.

Заварка трещин с такой глубокой разделкой осуществляется за два прохода вследствие образования при сварке значительного количества пор. После первого прохода сварного шва поры удаляются снятием части наплавленного металла. Второй проход формирует хороший сварной шов, как правило, без дефектов. Механическая обработка деталей, отремонтированных механизированной сваркой с использованием проволоки ПАНЧ-11, осуществляется без затруднений. Герметичность сварных швов хорошая, за редким исключением. В таких случаях, если от отремонтированного изделия требуется высокая герметичность, сварной шов сверху покрывают герметиком, а во внутренней полости создают небольшой вакуум. В этом случае герметик впитывается в поры шва и обеспечивается хорошее качество соединения.

## 9.5. Восстановление чугунных деталей наплавкой

При восстановлении чугунных деталей важное значение имеет обеспечение необходимой износостойкости деталей, испытывающих трение, при достаточно высокой выносливости. К деталям автомобиля, к которым предъявляются высокие требования по износостойкости и выносливости, относятся коленчатые валы двигателей автомобилей некоторых марок.

Наплавка чугунных валов по технологии, принятой для восстановления стальных коленчатых валов, неприемлема. Существует несколько способов наплавки чугунных коленчатых валов.

1. *Двухслойная наплавка по технологии НИИАТ.* Первый слой наплавляется малоуглеродистой стальной проволокой Св-08 диаметром 1,6 мм под флюсом АН-348А с введением во флюс 2,5 части графита, 2 частей феррохрома № 6 и 0,25 части жидкого стекла. Первый слой дает металл шва с твердостью  $HRC_3$  35...38, второй слой обеспечивает твердость  $HRC_3$  52...62 с небольшой пористостью. В поверхностном слое возможно появление большого количества трещин, что снижает усталостную прочность коленчатого вала на 26...28 %.

2. *Наплавка шеек коленчатого вала из высокопрочного чугуна с защитной металлической оболочкой под слоем флюса.* В этом случае шейка чугунного коленчатого вала обвертывается низкоуглеродистойстью сталью толщиной 0,8...1,0 мм, прижимающейся к поверхности шейки при помощи специального приспособления. После сварки по такой оболочке на поверхности чугунной шейки образуется слой металла с малым содержанием углерода. Далее наплавкой к этому слою получают на поверхности шейки слой заданного качества. При однослойной наплавке необходимый состав наплавленного металла получается за счет легирования его углеродом чугуна и компонентами флюса.

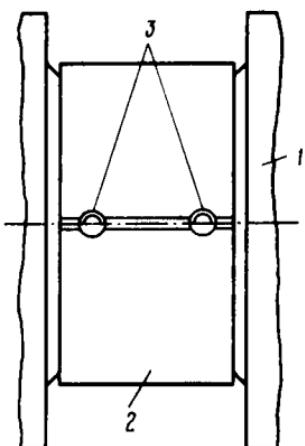


Рис. 9.4. Схема прихватки оболочки к шейке вала

Технологический процесс ремонта чугунных коленчатых валов состоит из следующих операций: очистки и обезжиривания используемого листа; разрезания его на полосы и вырубки (штамповки) из него заготовок для обволакивания шеек; установки оболочки на шейку коленчатого вала и прижатия ее к шейке с усилием 5 кН при помощи клещей или струбцин; прихватываниястыка оболочки электрической дугой (рис. 9.4); сварки галтельной части шейки по краям оболочки; наплавки шеек под легирующим флюсом.

Оболочка должна плотно прижиматься к шейке. Прихватка стальной оболочки производится в двух точках на расстоянии 5 мм от галтелей в атмосфере углекислого газа. Плотность прилегания оболочки проверяется по звуку при простукивании по ней легким металлическим стержнем длиной 150...200 мм и диаметром 12...15 мм. После прихватки по стыку концы оболочки привариваются в трех местах к галтели шейки в среде углекислого газа. Это предупреждает обгорание концов оболочки и образование свищей и раковин. В местах расположения отверстий масляных каналов оболочку пробивают бородком и полученные отверстия закрывают пастой, огнеупорной глиной, стержнями из графита или асбеста.

В табл. 9.4 приведены данные по наплавке чугунных коленчатых валов по оболочке из низкоуглеродистой стали. При этом наплавка чугунных коленчатых валов по оболочке производится с использованием следующих материалов: электродной проволоки для прихватки оболочек — Св-08, Св-08А, Св-08ГС, Св-Г2С; проволоки для наплавки галтелей и шеек под легирующим флюсом — Св-08, Св-08А диаметром 1,6 мм; листовой стали для оболочек — стали 08 толщиной 0,8...0,9 мм; флюса АН-348А; легирующих компонентов — графита, феррохрома № 6; углекислый газ — сварочный или пищевой.

3. *Наплавка шеек коленчатого вала порошковой проволокой в два слоя.* Первый слой наплавляют малоуглеродистой проволокой с внутренней защитой, обеспечивающей газошлакообразующие компоненты при наплавке. Для второго слоя применяют легированную порошковую проволоку, обеспечивающую получение износостойкого слоя.

Рекомендуемый режим наплавки первого слоя: напряжение холостого хода 34...35 В, напряжение сварочной дуги 20...22 В, сила

тока 150...180 А, полярность обратная, частота вращения вала 2,0...2,5 мин<sup>-1</sup>, скорость подачи проволоки 77 м/ч, шаг наплавки 7 мм/об, диаметр проволоки 1,95 мм, вылет электрода 15 мм.

Режим наплавки второго слоя: напряжение холостого хода 31...32 в, напряжение сварочной дуги 20...21 В, сила тока 150...180 А, полярность обратная, частота вращения вала 2,0...2,5 мин<sup>-1</sup>, скорость подачи проволоки 88 м/ч, шаг наплавки 5 мм/об, диаметр проволоки 1,95 мм, вылет электрода 15 мм.

Общая толщина наплавленного слоя 2,8...3,0 мм.

При наплавке по данному способу получается стабильный состав наплавленного металла, соответствующий составу среднеуглеродистой стали. В целом по рассмотренной технологии можно получить довольно высокое качество восстановленных валов при условии тщательной подготовки шеек к наплавке, заключающейся в горячей мойке в 10 %-ном растворе каустической соды в течение 30 мин, нагреве в термической печи до 300 °С с выдержкой в течение 1 ч, очистке от копоти, нагара и ржавчины на полировальном станке. Себестоимость коленчатых валов, восстановленных двухслойной наплавкой порошковыми проволоками, ниже себестоимости новых валов на 30 %.

## 9.6. Вибронагревовая наплавка чугунных деталей

Из ковкого или обычного чугуна изготавливаются такие детали, как ступицы колес, крышки и стаканы подшипников, картеры редукторов, чашки дифференциалов и даже коленчатые валы. Применение вибронагревовой наплавки для восстановления изношенных поверхностей этих деталей дает положительные результаты вследствие отсутствия перегрева изделия при наплавке. Восстановление чугунных деталей вибронагревовой наплавкой может производиться как в жидкой среде, так и в атмосферных условиях. В последнем случае для наплавки используется самозащитная проволока.

Основным требованием для вибронагревовой наплавки является возможность хорошей обрабатываемости после наплавки с применением обычных металлорежущих инструментов. Достигается это использованием для наплавки низкоуглеродистых сталей и правильным выбором режимов процесса. Здесь наряду с другими параметрами режима обработки немаловажное значение имеет количество охлаждающей жидкости, затрачиваемой в единицу времени, так как количество жидкости определяет скорость охлаждения, а следовательно, и структурные изменения, происходящие в металле при наплавке. На рис. 9.5 представлены кривые, показывающие влияние количества охлаждающей жидкости на твердость металла, полученного вибронагревовой наплавкой. Кривая 1 соответствует расходу жидкости 0,05, 2 — 0,15 и 3 — 0,3 дм<sup>3</sup>/мин. Буквой а обозначен участок наплавленного металла, б — участок основного ме-

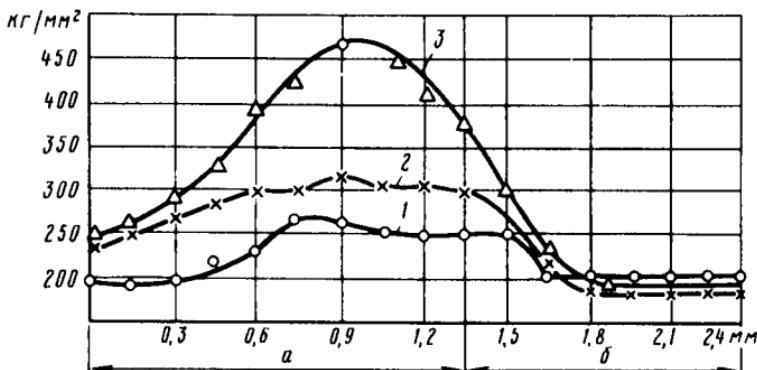


Рис. 9.5. Твердость металла, наплавленного при разных количествах жидкости

тала. Как видно из кривых, с увеличением количества охлаждающей жидкости твердость наплавленного металла повышается почти в два раза.

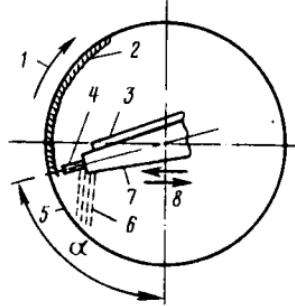
При вибродуговой наплавке небольших деталей, например крышки картера редуктора, кронштейна передней подвески двигателя и др., для получения наплавленного металла, обрабатываемого обычным инструментом, можно использовать в качестве присадочного материала (электрода) малоуглеродистую стальную проволоку Св-08 с охлаждением металла 4...6 %-ным раствором кальцинированной соды в воде. Рекомендуемые режимы наплавки:

Скорость подачи проволоки, м/мин .....	1,2...1,4
Шаг наплавки, мм/об .....	2,4...3,0
Скорость наплавки, м/мин .....	0,4...0,5
Напряжение, В .....	16...18
Сила тока при обратной полярности, А .....	80...100
Витки индуктивности дросселя РСТЭ-34 .....	8...13
Размах колебаний проволоки, мм .....	1,5...2,0
Толщина наплавленного слоя, мм .....	1,5...1,8
Расход жидкости, дм <sup>3</sup> /мин .....	0,04...0,05

Вследствие перехода части углерода в наплавленный металл из чугуна содержание углерода в средней части наплавленного слоя составляет 0,6 %, а в верхнем слое — 0,3...0,35 %. Аналогичный результат получен и при наплавке в углекислом газе или водяном паре. Несколько ниже качество металла, наплавленного в атмосфере воздуха с охлаждением мундштука и детали небольшим количеством жидкости.

Важное значение при ремонте деталей имеет вибродуговая наплавка внутренней поверхности отверстия, ибо такой технологический процесс имеет свои особенности. Для наплавки внутренней поверхности изготавливается специальный кривой мундштук, по которому проволока направляется к наплавляемому месту. Обычно

Рис. 9.6. Схема наплавки внутренней поверхности детали



такой мундштук позволяет наплавлять внутренние полости диаметром более 30 мм и глубиной (шириной) до 100 мм. Через мундштук поступает и охлаждающая жидкость.

На рис. 9.6 показана схема наплавки внутренней поверхности детали, где буквой а показан угол подвода мундштука к детали (от вертикальной оси отверстия). По схеме деталь 5 должна вращаться по направлению, показанному стрелкой 1. Электрод 4 через мундштук 7 подается к наплавляемой детали, которая охлаждается жидкостью 6, поступающей через трубку 3. Мундштук с электродом совершает вибрирующее движение по направлению 8. Существенное значение имеет для качества наплавки угол подвода электрода к детали а. Если этот угол мал, то капли расплавленного металла быстро остывают и уходят из зоны воздействия дуги, образуя высокие и узкие валики. При увеличении угла а расплавленный металл 2 стекает вниз и, соприкасаясь с электродом, еще некоторое время будет находиться в жидком состоянии, растекаясь по поверхности детали. В результате валик получается более гладким, с большей шириной, чем при малом угле а. Оптимальный угол а = 90°. При этом деталь должна вращаться только в направлении 1. Если деталь будет вращаться в обратном направлении, то наплавленный металл будет быстро уходить из зоны воздействия дуги и качество валиков будет ухудшаться. С учетом этих соображений разработаны режимы вибродуговой наплавки ступиц передних и задних колес и ряда других деталей автомобиля (табл. 9.5).

Наплавка производится постоянным током обратной полярности. Сила тока 80...90 А, напряжение 16...17 В, индуктивность (число витков РСТЭ-34) 12...13. Используется присадочная проволока Св-0,8 диаметром 1,6 мм. Скорость подачи проволоки 1,3...1,4 м/мин. Размах вибрации проволоки 1,5...2,0 мм. Угол подвода электрода к детали а = 90°. Твердость после наплавки НВ 250.

Вибродуговой наплавкой в воздухе можно восстанавливать чугунные коленчатые валы по технологии, предложенной НИИАТ. По этой технологии чугунные коленчатые валы наплавляют самозащитной проволокой 15ГСТЮЦ (ЭП-439), содержащей церий.

Таблица 9.5. Параметры режимов вибродуговой наплавки некоторых чугунных деталей

Деталь и место наплавки	Параметры режимов наплавки			
	Толщина слоя, мм	Шаг наплавки, мм/об	Частота вращения детали, мин <sup>-1</sup>	Расход жидкости, дм <sup>3</sup> /мин
Ступица переднего колеса – отверстие под:				
внутренний подшипник	2,0	3,3	1	0,02
наружный подшипник	2,0	2,4	2	0,02
Ступица заднего колеса – отверстие под:				
внутренний подшипник	2,0	3,3	0,8	0,02
наружный подшипник	2,0	3,3	0,8	0,02
Крышка картера редуктора, отверстие под подшипник	1,5	2,5	1,3	0,03
Стакан подшипников вала ведущей шестерни заднего моста – отверстие под роликовый подшипник:				
большой*	2,0	2,4	1	0,01
малый*	2,0	2,4	1,3	0,01
Крышка подшипников вала ведущей шестерни заднего моста – отверстие под сальник	1,5	2,5	1,5	0,03
Чашка дифференциала – шейка под подшипник	1,5	2,5	2	0,05
Кронштейн передней подвески двигателя – отверстие под опорную шейку крышки распределительных шестерен	1,5	2,4	2	0,03
Муфта подшипников вала ведущей шестерни заднего моста – отверстие под роликовый подшипник	1,75	2,4	2	0,02
Коробка сателлитов дифференциала заднего моста – шейка под подшипник	1,5	2,5...3	4	0,02
Крышка передняя картера заднего моста – отверстие под сальник	1,5	2,5	2	0,02

\* Проточка до наплавки (на сторону) 1 мм, в остальных случаях 0,5 мм.

После наплавки этой проволокой получается равномерный наплавленный слой с твердостью HRC<sub>3</sub> 57...58. Режим наплавки:

Напряжение наплавки, В .....	24
Рабочее напряжение, В .....	19...20
Сила тока (постоянного), А .....	130...160
Витки индуктивности дросселя РСТЭ-34 .....	16
Скорость подачи проволоки, м/мин, диаметром:	
1,5 мм .....	2,1
1,7 мм .....	1,7
Скорость наплавки, м/мин .....	0,64
Шаг наплавки, мм/об .....	3,0...3,2
Смещение электрода с зенита:	
угловое, град. .....	30...60
линейное, мм .....	15...18
Толщина наплавляемого слоя, мм .....	1,4

## Глава 10. КОНТАКТНАЯ СВАРКА И НАПЛАВКА СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ

### 10.1. Контактная сварка как способ соединения металлов

В зависимости от характера соединения контактную сварку подразделяют на стыковую, точечную и роликовую. В авторемонтном производстве стыковая сварка применяется при ремонте полуосей, клапанов, карданных валов, хомутов задних рессор и других деталей автомобиля. Точечная сварка при ремонте используется для соединения деталей из тонколистового материала кабин, кузовов, оперения и других подобных элементов автомобиля. Роликовая сварка в авторемонтном производстве применяется редко.

При контактной сварке детали, подлежащие соединению, должны иметь форму и размеры, соответствующие рабочему пространству сварочного оборудования (вылету, раствору, сечению консолей и т.п.) и обеспечивающие возможность подвода электродов к месту сварки. Соединение деталей следует выполнять не менее чем двумя точками. Максимально допустимое соотношение толщин в свариваемом пакете из двух деталей должно быть не более 3:1. При сварке на низкочастотных машинах соотношение толщин для пакетов с толщиной тонкой детали  $S \geq 0,8$  мм, свариваемых точечной сваркой, может быть увеличено до 10:1.

Герметичные соединения, передающие динамические нагрузки, необходимо выполнять контактной шовной сваркой двухрядным швом.

Детали из ферромагнитных материалов должны иметь по возможности минимальные и стабильные размеры по толщине и сече-

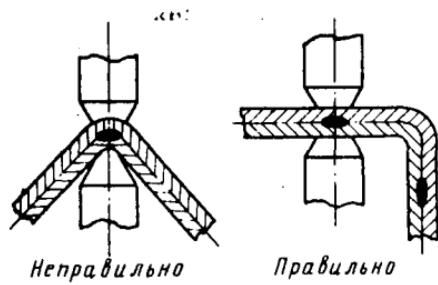


Рис. 10.1. Допустимые места точечной сварки

нию. При этом следует избегать сварки в местах крутого изгиба деталей (рис. 10.1).

Размеры конструктивных элементов соединений, выполняемых контактной точечной и шовной сваркой, должны соответствовать требованиям ГОСТ 15878—79. Следует иметь в виду, что если при

Таблица 10.1. Материалы, применяемые для электродов при точечной и шовной сварке

Материал электрода	Электро-проводность*	Твердость НВ	Область применения
Медь холоднотянутая М1	98	80	Электроды для точечной и шовной сварки алюминиевых и медных сплавов
Сплав меди с серебром МС1	97...99	90...100	
Бронза кадмиевая БрКд1 (МК)	85...90	95...115	
Сплав меди с магнием и бором	92	110	
Бронза циркониевая БрЦр	90...95	130...150	Электроды для сварки точечной, шовной, легких сплавов, сталей различных марок, титана, никеля, бронзы, латуней
Бронза хромокадмиевая Мц5Б (БрХКд-0,5-0,3)	85...95	110...130	
Бронза хромоциркониевая БрХЦр-0,6-0,05	80...82	140...160	Электроды для точечной и шовной сварки низколегированных сталей, титана, никеля, латуни, бронзы
Бронза хромовая БрХ	80...85	140...180	
Бронза кремненикелевая БрКН-1-4 (или БрКН-0,5-0,25)	40...45	140	Электроды для стыковой шовной сварки с большой тепловой нагрузкой и большим истиранием
Бронза алюминий-железоникелевая БрАЖН-11	40	225	

\* По отношению к электропроводности технически чистой меди.

соединении деталей наряду с точечной и шовной применяются и другие виды сварки или клепка, то контактная сварка выполняется в первую очередь. Номенклатура и технические характеристики оборудования для контактной точечной и шовной сварки, выпускаемого промышленностью, приведены в каталоге [36].

Выбор сварочного оборудования производят сопоставлением ориентировочных значений параметров режимов сварки, соответствующих свариваемым материалам, с техническими характеристиками оборудования. При этом параметры выбранного оборудования должны перекрывать требуемые параметры режима сварки не менее чем на 10—15 %. Для предупреждения непровара или выявления непроваренных точек в процессе сварки сварочные машины рекомендуется оснащать устройствами акустического контроля.

Материал, основные свойства и область применения электродов для контактной точечной и шовной сварки приведены в табл. 10.1. Прямые электроды для точечной сварки должны отвечать требованиям ГОСТ 14111—90. В отдельных случаях для точечной сварки в труднодоступных местах допускается применять фигурные электроды, отличающиеся от приведенных в ГОСТ 14111—90.

**Таблица 10.2. Размеры электродов в зависимости от толщины свариваемых материалов**

Размер электрода (ролика), мм	Толщина стенок свариваемых деталей, мм							
	0,3	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0
Диаметр электрода	12	16	16	20	25	25	32	32
Ширина ролика <i>B</i>	12	16	20	20	20	25	25	32
Радиус сферы рабочей поверхности электрода (ролика) <i>R</i>	25	25...50	50...75	75...100	75...100	75...100	100...150	100...150
Диаметр плоской рабочей поверхности электрода <i>d</i> или ширина плоской рабочей поверхности ролика <i>b</i>	3	5	5	6	8	10	10	10...12

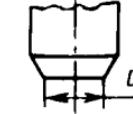
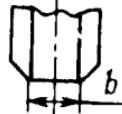
Таблица 10.3. Сочетание электродов в зависимости от условий их функционирования

Условия функционирования электродов	Сочетание электродов
Плоские детали с большим радиусом кривизны, материалы равной толщины Материалы разной толщины	Электроды с одинаковыми по форме и размерам рабочими поверхностями Со стороны тонкой детали электрод должен быть с меньшим размером рабочей поверхности, чем со стороны детали большей толщины Со стороны материала с большой теплопроводностью электрод должен быть с меньшим размером рабочей поверхности
Разнородные материалы	Электрод должен иметь большой радиус кривизны или плоскую рабочую поверхность большого диаметра (большей ширины)
На свариваемой поверхности одной из деталей не должно быть вмятин	Электрод должен иметь большой радиус кривизны или плоскую рабочую поверхность большого диаметра (большей ширины)

Электроды имеют интенсивное внутреннее и наружное охлаждение с указанием допустимости, необходимости и условия применения наружного охлаждения в конструкторской и (или) технологической документации. Расстояние от рабочей поверхности электрода до охлаждающего канала составляет 12...16 мм, для обеспечения наибольшей стойкости электродов.

Вода для внутреннего охлаждения электродов должна подаваться как можно ближе к самим электродам, ибо в противном случае

Таблица 10.4. Параметры электродов для контактной сварки

Толщина тонкой детали, мм	Геометрические размеры рабочей поверхности электродов и роликов, мм, при сварке			
	точечной		шовной	
				
R	d	R	b	
0,15	25...50	2,5	5...10	2,0...3,0
0,30	25...50	3,0	5...10	2,0...3,0
0,40	25...50	3,0...3,5	15...20	3,5...4,0
0,50	25...50	3,5...4,0	15...20	3,5...4,0

ухудшаются условия теплообмена, а это приводит к снижению стойкости электродов и ухудшению качества сварки.

Рабочая поверхность электродов может быть плоской или сферической и в зависимости от толщины свариваемых деталей иметь размеры, приведенные в табл. 10.2.

Сочетание электродов устанавливается в зависимости от толщины и марки соединяемых материалов, формы сварных конструкций и требований, предъявляемых к их поверхности (табл. 10.3).

Электроды должны иметь хороший контакт без смещений и перекосов.

Периодически, по мере загрязнения и износа, электроды зачищаются полировальной шкуркой № 10...12 с последующей протиркой чистой салфеткой. Периодичность зачистки указывается в технической документации. При увеличении размеров электродов на 20 % их заменяют или восстанавливают рабочую поверхность на токарном станке (табл. 10.4).

## 10.2. Восстановление деталей контактной сваркой

При подготовке поверхности под сварку детали должны быть очищены от масла, окисной пленки, краски и загрязнений. Свариваемые поверхности обезжириваются ацетоном, бензином и другими растворителями; окалина удаляется травлением в водных растворах кислот или механической обработкой: гидропескоструйной, дробеструйной, абразивной и т.п.; удаление старой краски производится по общепринятой технологии. После механической обработки с поверхности деталей должны быть удалены остатки песка и абразивной пыли. Поверхность в местах сварки должна иметь равномерный металлический блеск или матовый оттенок. После подготовки поверхности к сварке производится сборка и прихватка соединяемых деталей, обеспечивающая допускаемые зазоры между соединяемыми деталями (табл. 10.5).

До сварки проверяется готовность машины к работе. Машина считается подготовленной, если:

- электроды не имеют перекосов и смещений;
- электроды опускаются плавно без удара о свариваемые детали;
- нет проскальзывания электродов по детали при создании давления;
- электроизмерительные приборы показывают стабильность параметров тока, нормально работают;
- система охлаждения работает бесперебойно;
- сварочный ток включается только после приложения к соединяемым деталям заданного усилия сжатия электродов;
- только после выключения сварочного тока снимается давление сжатия;
- рабочий ход обеспечивает беспрепятственное перемещение свариваемого изделия в процессе сварки;
- сварные точки или шов имеют стабильные размеры.

Таблица 10.5. Допустимые зазоры между соединяемыми стальными деталями при контактной сварке

Толщина тонкой детали, мм	Зазоры на длине детали, мм					
	При точечной сварке конструкционных, нержавеющих, жаропрочных сталей и титановых сплавов			При шовной сварке конструкционных, нержавеющих, жаропрочных сталей и титановых сплавов		
	100	200	300	25	50	100
До 0,8	0,5	1,0	1,5		Нет сведений	
0,8						
1,0						
1,2	0,4	0,8	1,2	0,10	0,20	0,30
1,5						
2,0						
2,5	0,3	0,6	0,9	0,05	0,10	0,20
3,0						

Для обеспечения высокой производительности и качества точечной сварки необходимо определить оптимальные ее режимы, к которым относятся: диаметр контактной поверхности электродов  $d_3$ , мм, сила сварочного тока  $I_{\text{св}}$ , А, усилие на электродах  $P_{\text{св}}$ , Н, продолжительность импульса сварочного тока  $t_{\text{св}}$ . Ориентировочно указанные параметры можно рассчитать по формулам:

$$d_3 = 2S + 3, \quad (10.1)$$

где  $S$  — толщина более тонкой из свариваемых деталей;

$$I_{\text{св}} = 0,25i\pi d_3, \quad (10.2)$$

где  $i = 200 \dots 500 \text{ А/мм}^2$  — номинальная плотность тока;

$$P_{\text{св}} = 2,5 \cdot 10^{-3} \pi d_3 p, \quad (10.3)$$

где  $p = 6,5 \dots 11,5 \text{ кН/см}^2$  — контактное давление электродов.

Продолжительность импульса сварочного тока принимается в пределах  $0,1 \dots 0,24 \text{ с}$ .

При стыковой сварке непрерывным оплавлением низкоуглеродистых и низколегированных сталей плотность тока берется в пределах  $10 \dots 50 \text{ А/мм}^2$ . При сварке с подогревом деталей плотность

Таблица 10.6. Ориентировочные режимы точечной сварки низкоуглеродистых сталей 08kp, 10 и 20

Толщина тонкой детали, мм	Первый импульс (сварка)		Длительность паузы, с	Усилие сжатия электродов, кН
	Ток, кА	Длительность импульса, с		
0,5	6,0...7,0	0,08...0,10	0,20...0,30	1,2...1,8
0,8	7,0...8,5	0,10...0,14	0,30...0,36	2,0...2,5
1,0	8,5...9,5	0,10...0,16	0,36...0,44	2,5...3,0
1,2	9,5...10,5	0,12...0,20	0,40...0,50	3,0...4,0
1,5	10,5...12,0	0,16...0,24	0,42...0,56	4,0...5,0
2,0	12,0...13,5	0,20...0,32	0,46...0,60	6,0...7,0
3,0	13,5...15,0	0,30...0,48	0,54...0,70	9,0...10,0
3,5	15,0...17,0	0,50...0,60	0,60...0,80	11,0...12,0
4,0	17,0...19,0	0,70...0,90	0,70...0,90	13,0...15,0

Таблица 10.7. Ориентировочные режимы шовной сварки низкоуглеродистых сталей 08kp, 10 и 20

Толщина тонкой детали, мм	Сварочный ток, кА	Длительность импульса сварки, с	Длительность паузы, с	Усилие сжатия роликов, кН	Скорость сварки, м/мин
0,5	7,0...8,0	0,02...0,04	0,04...0,06	1,5...2,0	1,0...1,2
0,8	8,5...10,0	0,04...0,06	0,04...0,08	2,0...3,0	0,9...1,0
1,0	10,0...12,0	0,06...0,08	0,06...0,10	3,0...4,0	0,8...0,9
1,2	12,0...13,0	0,08...0,10	0,10...0,20	4,0...5,0	0,7...0,8
1,5	12,5...14,5	0,12...0,14	0,12...0,22	5,0...6,0	0,6...0,7
2,0	14,5...17,0	0,16...0,18	0,18...0,28	7,0...8,0	0,5...0,6
3,0	18,0...20,0	0,24...0,32	0,28...0,36	9,0...10,0	0,4...0,5

Таблица 10.8. Оплавление соединяемых торцов при сварке стальных деталей

Оплавление соединяемых торцов	Сечение детали, мм <sup>2</sup>						
	25	50	100	250	500	1000	2500
При сварке непрерывным оплавлением, мм	6...8	6...8	7...9	8...10	10...13	12...16	16...20
При сварке прерывистым оплавлением, мм	-	-	-	3...4	4...5	5...6,5	6...8

Таблица 10.9. Осадка детали в процессе сварки

Осадка детали	Сечение детали, мм <sup>2</sup>		
	25	50	100
Под током, мм	0,5...0,8	0,5...0,8	0,5...0,8
Без тока, мм	1,0...1,5	1,0...1,5	1,0...1,5

снижается до 2...3 А/мм<sup>2</sup>. Можно пользоваться также режимами, приведенными в табл. 10.6 и 10.7.

Для уменьшения коробления при сварке необходимо применять режим сварки с малой длительностью импульса; интенсивное охлаждение электродов, а по возможности и свариваемых деталей; электроды с одинаковыми рабочими поверхностями; рациональную последовательность прихватки и сварки (например, от середины к краям, а при замкнутых контурах — с центрально противоположной стороны). Нельзя допускать смещения одного электрода относительно другого.

Учитывая, что качество сварных соединений во многом зависит от стабильности установленного режима сварки, отклонения значений параметров режима не должны превышать следующих значений (%):

Сила сварочного тока .....	5
Длительность протекания тока ...	5
Пауза между импульсами тока ...	5
Пауза между импульсами тока при шовной сварке .....	5
Сварочное усилие .....	10

При стыковой сварке качество соединения определяется значением оплавления соединяемых торцов и размером осадки детали в процессе сварки (табл. 10.8 и 10.9).

### 10.3. Восстановление деталей контактной наплавкой

В ремонтном производстве все шире находит применение контактная наплавка, когда на поверхность детали навивается проволока (или лента) из материала необходимого свойства, одновременно нагреваемая до пластического состояния электрическим током, проходящим через контактные точки, образуемые под воздействием приложенной силы. Электроконтактная наплавка обеспечивает высокую производительность процесса (до 70 см<sup>2</sup>/мин) при низкой энергоемкости, незначительную потерю присадочного материала, минимальную зону термического влияния сварки вследствие

Сечение детали, $\text{мм}^2$				
250	500	1000	2500	5000
1,0...1,5 1,5...2,5	1,5...2,5 2,0...3,0	1,5...3,0 2,5...4,0	2,0...4,0 2,5...4,0	2,5...5,0 4,0...7,0

малой (до тысячных долей секунды) длительности импульсов, отсутствие светового воздействия на окружающую среду и, наконец, возможность наплавки, точнее приварки, без защитной среды ввиду кратковременного термического воздействия на присадочный металл. Для уменьшения перегрева детали в зону сварки подают охлаждающую жидкость. Расход жидкости составляет  $1,5 \text{ дм}^3/\text{мин}$ .

Зона нагрева металла основы при нагреве его до  $1400^\circ\text{C}$  за  $0,02...0,04$  с распространяется не глубже  $0,3$  мм, что в  $6...10$  раз меньше глубины нагрева при электродуговой наплавке. Следствием незначительной зоны термического влияния является практическое отсутствие коробления наплавляемой детали.

При наплавке (приварке) ленты толщиной  $0,3...0,4$  мм используется импульсный ток от конденсаторных батарей, емкость конденсаторов которой  $6400 \text{ мкФ}$ . Сварка происходит при напряжении  $325...380$  В. С увеличением диаметра и толщины ленты необходимо увеличивать напряжение. Производительность процесса зависит от частоты вращения детали, продольной подачи сварочных роликов и частоты следования импульсов. Обычно на 1 см длины шва рекомендуется обеспечить шесть или семь сварных точек. Подача сварочных роликов при ширине рабочей части  $4$  мм должна быть  $3$  мм/об. При наплавке деталей диаметром до  $50$  мм усилие сжатия составляет  $1,3...1,4$  кН, более  $50$  мм —  $1,4...1,6$  кН. Диаметр электродов  $180...150$  мм.

Для изготовления электродов используются бронзы БрХ, БрХКд-0,5-0,3, БрНБТ или медь М1.

При контактной приварке ленты толщиной  $0,4$  мм для деталей диаметром  $30...50$  мм рекомендуется частота вращения  $5 \text{ мин}^{-1}$ , сила тока  $13,5$  кА, длительность импульса сварочного тока  $10,5$  с и расход охлаждающей жидкости  $1,5 \text{ дм}^3/\text{мин}$ . Контактную наплавку проволоки можно осуществить на гладкую цилиндрическую поверхность и на поверхность, имеющую спиральные канавки. При этом нагрев может быть одно- и двухточечным.

Независимо от количества нагреваемых точек при наплавке на контактной поверхности не должно быть плавления металла, так как это может привести к его выбросу. А нагрев в точках контакта определяется электрическим сопротивлением на поверхностях переходов "ролик — присадочный материал" и "присадочный мате-

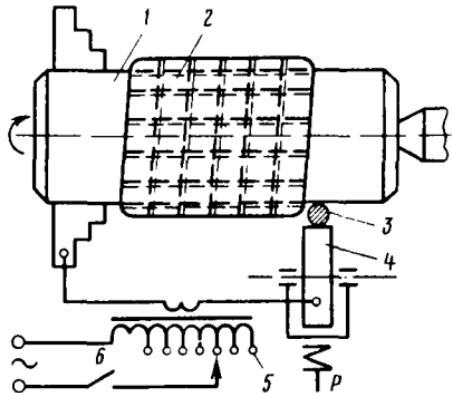


Рис. 10.2. Основная технологическая схема контактной наплавки

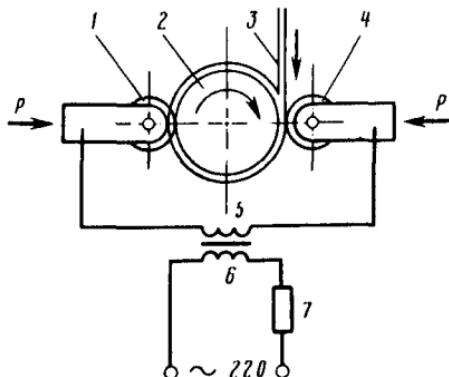


Рис. 10.3. Схема двухточечной контактной наплавки:

1, 4 — ролики; 2 — деталь; 3 — проволока (лента); 5, 6 — трансформатор; 7 — прерыватель

риал — основной металл". Последнее, в свою очередь, зависит, кроме электрофизических свойств этих материалов, еще и от их деформации, которая определяется давлением.

Разработанный способ применяется преимущественно при ремонте деталей сельскохозяйственных машин. Эксплуатационным испытаниям подвергали наплавленные электроконтактным спосо-

Таблица 10.10. Режимы контактной наплавки наружных поверхностей цилиндрических деталей

Присадочная проволока	Диаметр, мм	Сила тока наплавки, кА	Длительность импульсов, с	Пausа, с	Давление на электрод, кН	Скорость наплавки, м/мин	Подача, мм/об
Второго класса	2	8,5...10	0,02	0,06	1,3	1,8...2,0	2,0...2,2
То же	2	7,5...9	0,04	0,08	1,3	1,6...1,8	2,0...2,2
"	1,6	7...8	0,02	0,06	1,1	1,8...2,0	1,6...1,8
"	1,6	5...6	0,04	0,08	1,1	1,6...1,8	1,6...1,8
CB-08	2,5	8,5...10	0,02	0,06	1,5	1,8...2,0	2,5...2,8
То же	2,5	7,5...9	0,04	0,08	1,5	1,6...1,8	2,5...2,8
"	2,0	8...9	0,02	0,06	1,3	1,8...2,0	2,0...2,2
"	2,0	7...8	0,04	0,08	1,3	1,6...1,8	2,0...2,2
"	1,6	7...8	0,02	0,06	1,1	1,8...2,0	1,6...1,8
"	1,6	5...6	0,04	0,08	1	1,6...1,8	1,6...1,8

бом валы, оси, втулки, балансиры гусеничных тягачей и тракторов и другие детали. Результаты испытания подтвердили надежность разработанного способа наплавки [2, 15].

В настоящее время разработаны несколько технологических приёмов наплавки с электроконтактным нагревом. На рис. 10.2 представлена основная технологическая схема контактной наплавки наружных деталей, где деталь 1, установленная в токарном станке, вращается с заданной частотой; присадочная проволока 3 прижимается к детали вращающимся роликом 4 под давлением  $p$ . К присадочной проволоке от источника тока 5 нажатием кнопки прерывателя 6 подается сварочный ток. Наплавка производится одним роликом. Присадочная проволока подается в зону наплавки при помощи направляющей втулки, фиксированной относительно ролика. Валики наносятся в виде спирали, а в последующем обороте детали ролик перекрывает на одну треть предыдущий валик, в результате на поверхности детали образуется наплавленный слой 2, который затем подвергается механической обработке.

Основными параметрами режима электроконтактной наплавки являются диаметр электрода, сила тока наплавки, длительность паузы, давление на электрод, скорость наплавки, подача (табл. 10.10). Определенный интерес представляет перекрытие точек наплавки, измеряемое в процентном отношении к наибольшей длине наплавленной площади; перекрытие наплавленных валиков, измеряемое в процентном отношении к ширине наплавленного валика. На рис. 10.3 показана схема двухточечной наплавки.

## Г л а в а 11. НОВЫЕ ВИДЫ СВАРКИ И НАПЛАВКИ

К новым видам сварки и наплавки, не нашедшим еще широкого применения в авторемонтном производстве, но успешно опробированным, можно отнести электронно-лучевую, лазерную и плазменную сварку, наплавки плазменную и током высокой частоты, которые разработаны в лабораториях НПО НИИАвтопрома и других институтов.

Электронно-лучевую сварку можно применять при ремонте, например, блоков шестерен. Спаренный блок шестерен, состоящий из двух шестерен разного диаметра, при поломке или износе зубьев одной из них не поддается ремонту, а деталь эта довольно сложная и дорогостоящая. Теперь можно отрезать поврежденную шестерню, изготовить новую и приварить ее к старой, неповрежденной, электронно-лучевой сваркой без разделки соединяемых кромок. Глубина проплавления при необходимости достигает до 40 мм, а зона термического влияния практически отсутствует. Работоспособность

блока шестерен после такого ремонта не уступает работоспособности нового блока при намного меньшей себестоимости.

Электро<sup>г</sup>енным лучом можно вести отбеливание кулачков чугунных распределительных валов дорожками, что повышает их износостойкость.

Лазерная сварка, как отмечалось ранее, позволяет снизить коробление карданного вала автомобиля, если ее применить вместо электродуговой при приварке вилки к трубе. Поскольку лазерный луч можно преломлять при помощи зеркал и направлять в труднодоступные места, его можно использовать также для отбеливания спиральной дорожкой внутренней рабочей поверхности чугунных гильз цилиндров, что повышает ее износостойкость.

Плазменная наплавка при ремонте автомобилей может осуществляться двумя способами. При наплавке одним из них производится непосредственная подача присадочного материала к поверхности детали и нагрев ее до плавления при высокой температуре плазмы или сжатой дуги. При другом способе предварительно наносят на поверхность детали слой присадочного материала, как правило, в виде порошка напылением, который в последующем оплавляют током высокой частоты. Наиболее приемлем вторая варианта.

Примером восстановления детали по первому способу служит наплавка фасок выпускных клапанов [2]. Клапан устанавливают на медную форму, прикрепленную к цилиндру, охлаждаемому водой. Мундштук плазматрона устанавливают на расстоянии 8...10 мм от фаски клапана. Схема наплавки приведена на рис. 11.1. Выпускной клапан двигателя наплавляют при следующих режимах:

Ток дежурной дуги, А .....	80
Ток прямой дуги, А .....	100...110
Напряжение, В .....	25...30
Расход плазмообразующего газа (аргона), дм <sup>3</sup> /мин .....	1,5
Расход защитного газа (аргона), дм <sup>3</sup> /мин .....	5...6
Частота вращения, мин <sup>-1</sup> .....	4,5...5,0
Время наплавки, с .....	12...13
Расстояние от горелки до фаски клапана, мм .....	8...11
Ширина слоя, мм .....	5...6
Высота слоя, мм .....	2,0...2,2
Расход порошка, г/мин .....	24...28

В качестве наплавочного материала используют хромоникелевые сплавы марок СНГН-60 и другие. При оптимальных режимах можно наплавлять фаски клапанов без подгорания кромок с производительностью 35...36 см<sup>2</sup>/мин и коэффициентом наплавки, равным 16...18 г/А·ч.

При втором способе для оплавления нанесенного слоя применяют поверхностный нагрев током высокой частоты, что позволяет

коробление детали получить минимальным. Плазменное напыление с последующим оплавлением позволяет восстанавливать изношенные коленчатые валы и другие детали. При этом в качестве напыляемого материала используются многокомпонентные сплавы на основе никеля, обладающие высокой износостойкостью. В компоненты сплава входят как тугоплавкие, так и относительно легкоплавкие элементы, которые растекаются между зернами нерасплавившихся компонентов и одновременно способствуют созданию флюсующих веществ, например борного ангидрида, при введении в состав порошка бора. Температура оплавления такого слоя не превышает 1000...1100 °С. Таким образом оплавление, осуществляющееся при кратковременном нагреве, практически не нарушает предыдущую термообработку детали. Возможно совмещение оплавления с закалкой. Последующая механическая обработка для коленчатых валов тогда будет состоять в шлифовании и полировании шеек. Можно оплавление вести нагревом в печи или нагревателе в виде песчаной формы. Тогда коробления изделия не будет, так как его нагрев и охлаждение происходят равномерно.

На практике для восстановления изношенных деталей (коленчатых и распределительных валов) применяют порошковые сплавы на основе никеля, имеющие температуру плавления 980...1050 °С и содержащие флюсующие элементы (бор и кремний), а также 50 %-ную смесь порошков ПГ-СРЗ и ПГ-С1 с температурой плавления 1080...1100 °С.

Технологический процесс восстановления деталей с оплавлением покрытия включает следующие операции: шлифование деталей для обеспечения правильной геометрической формы восстанавливаемой поверхности, дробеструйную обработку, нанесение покрытий при режиме, рекомендованном для плазменного напыления, оплавление покрытия на установке т.в.ч. (частота тока 75...100 кГц, за-

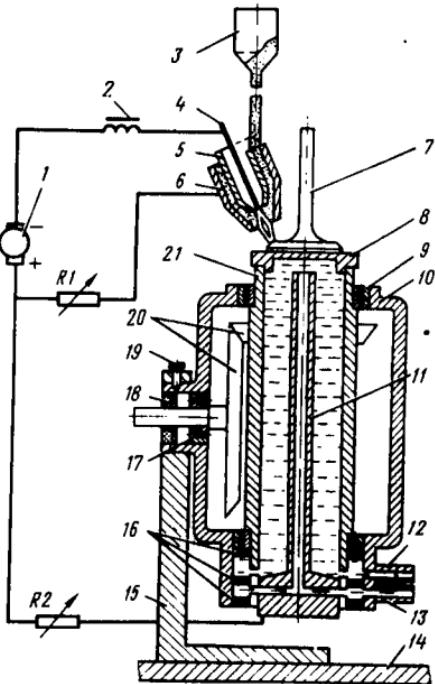


Рис. 11.1. Схема наплавки фаски выпускного клапана:

1 — источник питания; 2 — дроссель; 3 — порошковый питатель; 4 — вольфрамовый электрод; 5 — внутреннее сопло; 6 — защитное сопло; 7 — клапан; 8 — медная форма; 9, 17 — подшипники; 10 — корпус установки; 11 — водопроводящая трубка; 12, 13 — штуцера; 14 — основание; 15 — стойка; 16 — сальник; 18 — предохранитель; 19 — стопорный винт; 20 — конические шестерни; 21 — цилиндр

зор между деталью и индуктором 5...6 мм, частота вращения детали 15...20 мин<sup>-1</sup>, сила тока высокой ступени генератора т. в. ч. 5...8 А), шлифование поверхности детали до требуемого размера.

Оплавление покрытия из сплавов на основе никеля ПГ-СР2, ПГ-СР3 и ПГ-СР4 обеспечивает макротвердость покрытий HRC<sub>3</sub> 35...60 в зависимости от содержания в них бора. Присутствующие в структуре покрытий твердые кристаллы (бориды и карбиды) значительно повышают износостойкость восстановленной детали. При напылении сплавом ПГ-СР4 она в 2...3 раза превышает износостойкость детали из стали 45, закаленной до твердости HRC<sub>3</sub> 54...58, а при напылении порошковой смесью, состоящей на 50 % ПГ-СР4 и 50 % ПГ-С1, — в 5...10 раз. Прочность сцепления покрытия с поверхностью стальных деталей составляет 400...450 МПа. Усталостная прочность детали увеличивается на 20...25 %, что объясняется упрочняющим влиянием покрытия.

Плазменное напыление с последующим оплавлением покрытия является весьма перспективным способом восстановления деталей, так как позволяет возвратить им не только свойства новых деталей, но и значительно их улучшить. Этим способом можно восстанавливать элементы деталей, работающих в условиях значительных знакопеременных и контактных нагрузок (кулачки распределительных валов, шейки коленчатых валов и др.).

Наплавку можно осуществить, применяя нагрев током высокой частоты с плавлением износостойкого порошка. Рассмотрим этот способ восстановления деталей на примере гильзы цилиндра. Предварительно в гильзу цилиндра 4 (рис. 11.2), установленную в кулачках 1, засыпается шихта 3, состоящая из наплавляемого порошка и флюса. Гильза вращается с заданной частотой, и шихта распределяется по поверхности гильзы цилиндров. Затем в гильзу цилиндров вводится индуктор 2, который нагревает гильзу до температуры плавления шихты. Для наплавки используют порошок ПГ-ХН80СР4, который обеспечивает высокую твердость, износостойкость, адгезионную способность. Коэффициент трения для чугуна ПГ-ХН80СР4 0,045. Температура плавления порошка 1037 °С. Оптимальный состав наплавочного флюса следующий: азотокислый висмут (неосновной) — 10 %, бура ( $Na_2B_4O_7$ ) — 45 %, борный ангидрид ( $B_2O_3$ ) — 45 %. Частота вращения гильзы 750...950 мин<sup>-1</sup>. Температура нагрева, измеряемая по наружной поверхности гильзы в зоне наплавки, рекомендуется в пределах 1040...1050 °С.

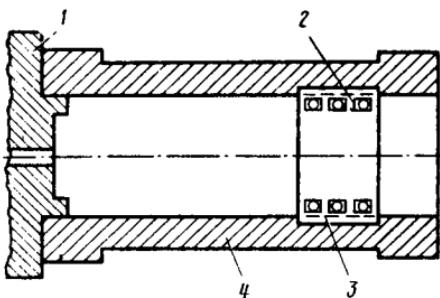


Рис. 11.2. Наплавка током высокой частоты зеркала гильзы цилиндра

Микроструктура слоя состоит из твердого раствора на основе никеля, сложной эвтектики и избыточных карбидов и боридов хрома с твердостью наплавленного слоя HRC<sub>3</sub> 55...58. При упрочнении гильз возникают остаточные напряжения, максимальные значения которых у наплавленного пояса равны  $(50...60)10^7$  Н/м<sup>2</sup> (наружные слои чугунной гильзы) и  $(40...60)10^7$  Н/м<sup>2</sup> (рабочая поверхность слоя сплава). Для снижения напряжения производят высокотемпературный отпуск. Лучшие результаты дает отпуск при нагреве детали до 550 °C, выдержке в течение 4 ч и медленном охлаждении. При этом внутренние напряжения гильзы уменьшаются в среднем в 4,7 раза.

Эксплуатационные испытания наплавленных гильз показали, что износстойкость упрочненных деталей в 1,8...2,5 раза выше по сравнению с серийными. Износстойкость порошковых колец возросла в 1,5...2,2 раза.

## Глава 12. ПАЙКА

### 12.1. Особенности пайки различных металлов

В авторемонтном производстве в настоящее время применяется преимущественно газопламенная пайка высокотемпературными припоями и пайка паяльниками различных конструкций низкотемпературными припоями. В ряде случаев применяется пайка током высокой частоты или в печах.

Пайка металлов включает в себя следующие операции: выбор основного металла, выбор припоя, установление режима пайки, подготовку деталей к пайке, нагрев деталей под пайку, выбор способа удаления окисной пленки основного металла и припоя при нагревании, охлаждение деталей после пайки, обработку паяных изделий, контроль качества паяных соединений. Все эти операции имеют специфические особенности и требуют более подробного рассмотрения (см. приложение). Качество соединения при этом зависит не только от строгого выполнения каждой операции пайки, но и от свойств паяемого материала. Пайкой ремонтируют обычно детали автомобиля, изготовленные из углеродистой и низколегированной сталей, чугунов, меди и ее сплавов, алюминия и сплавов на его основе.

*Пайка углеродистых сталей.* Качество шва зависит от содержания в сталях углерода. Чем меньше в стали углерода, тем легче ее паять. Стали, содержащие до 0,25...0,30 % углерода, паяются хорошо, и свойства их от нагрева во время пайки почти не меняются.

По мере увеличения содержания углерода пайка стали затрудняется. Причиной этого является прежде всего увеличивающееся выгорание углерода стали. Образующаяся окись углерода вызывает пористость наплавленного металла. При повышенном содержании углерода металл в процессе нагревания принимает структуру с более высокой твердостью и низкими пластическими свойствами. С повышением содержания углерода в стали паяные соединения становятся более склонными к образованию трещин в зоне нагрева.

При пайке пламенем углеводородных газов малоуглеродистой стали важным условием является поддержание пламени горелки нормальным. Незначительный избыток горючего или кислорода при нагревании влечет за собой значительное ухудшение качества шва. При избытке горючего металл шва науглероживается и становится излишне твердым, хрупким и пористым. При избытке в пламени кислорода вследствие окисления шва пайка может не произойти. Пайка сталей со средним и высоким содержанием углерода ведется либо нормальным пламенем, либо пламенем с небольшим избытком горючего, но, безусловно, не с избытком кислорода.

Наконечник горелки при пайке малоуглеродистой стали выбирается в зависимости от толщины деталей, как было указано выше. При пайке сталей с повышенным содержанием углерода наконечник рекомендуется брать на один номер ниже, чем для малоуглеродистой стали. В качестве припоев при пайке углеродистых сталей применяются медь, медно-цинковые и другие сплавы, указанные в гл. 2. Флюсом при этом служат бура, борная кислота или их смеси, если пайка производится медью или медно-цинковыми припоями. Для предотвращения коррозии паяного шва должны быть удалены остатки флюсов после пайки. Как указывалось ранее, для этой цели может быть использовано резкое охлаждение изделия после пайки в воде. Такой способ допускается, если конструкция не склонна к значительному короблению; прочность шва не ниже прочности отдельных частей; в основном металле не возникнут нежелательные структурные изменения; паяемые детали не имеют внезапных и значительных изменений в сечении; изделие не состоит из различных материалов или материалов, имеющих различные коэффициенты теплового расширения.

*Пайка низколегированных сталей.* В отличие от углеродистых сталей содержание в низколегированных сталях хрома в сочетании с углеродом способствует образованию в процессе нагревания твердых структурных составляющих в виде сложных карбидов в зоне около паяного шва. Присутствие в легированных сталях марганца, кремния и других элементов, активных по отношению к кислороду, затрудняет ведение пайки вследствие значительной склонности материала к окислению. Перечисленные особенности легированных сталей затрудняют их высокотемпературную пайку, способствуют образованию трещин в паяном соединении и усиленному короблению изделий. Однако трудности пайки этих сталей могут быть

преодолены или сведены к минимуму, если будут соблюдены предписываемые условия ведения процесса.

При пайке легированных сталей нужно обратить особое внимание на подготовку соединяемых изделий. Паяемые поверхности должны быть хорошо зачищены, а зазоры выдержаны в рекомендуемых пределах. Пламя горелки должно быть нейтральным или слегка восстановительным. Пайку нужно вести быстро, без перерывов, не отрывая пламени горелки от шва. Номер наконечника следует выбирать согласно правилам, указанным выше.

Особое значение при высокотемпературной пайке легированных сталей имеет правильный выбор флюсов. Обычные флюсы, применяемые при пайке углеродистых сталей, — бура, борная кислота и их смеси — непригодны для легированных сталей, так как окислы хрома и других элементов, входящих в состав стали, не удаляются с помощью буры. Только флюсы, содержащие фториды щелочных металлов и имеющие довольно высокую температуру плавления, обеспечивают пайку легированных сталей тугоплавкими припоями. Для пайки этих сталей при температурах 850...1100 °С применяются флюсы ПВ-200, ПВ-201, ПВ-209 и др. В качестве припоя при этом служат медь, медно-цинковые и другие сплавы (см. гл. 2).

Низкотемпературная пайка сталей как углеродистых, так и легированных, используемых в авторемонтном производстве, затруднений не вызывает.

*Пайка чугуна.* Трудность его пайки связана прежде всего с наличием в нем графита или цементита, которые плохо взаимодействуют с большинством флюсов, применяемых при пайке. Графит удаляется выжиганием окислительным пламенем после предварительной пескоструйной обработки или электромеханическим травлением в соляной ванне при температуре 450...510 °С. Графит растворяется также фторидно-боридными флюсами ПВ-209 и ПВ-284 при нагревании до температуры 600...700 °С. После флюсовой или электромеханической обработки паяемую поверхность следует тщательно промыть и протереть ветошью, смоченной бензином или ацетоном.

Низкотемпературную пайку очищенных кромок можно производить паяльником или газовой горелкой с использованием флюсов на основе хлористого цинка с добавлением хлористых солей меди и олова. Иногда для низкотемпературной пайки чугуна применяют гальваническое лужение или контактное меднение в растворе медного купороса.

Высокотемпературную пайку в авторемонтном производстве можно производить припоями на основе меди с использованием флюсов ПВ-209 и ПВ-284, обеспечивающих хорошее смачивание припоеем соединяемых кромок изделия. Высокотемпературная пайка чугуна должна производиться при 897...900 °С, так как при дальнейшем повышении температуры начинается отбеливание чугуна. Поэтому чистую медь в качестве припоя применять не следу-

ст. Сразу после пайки целесообразно производить отжиг при температуре 750 °С в течение 20 мин с медленным охлаждением.

*Пайка меди и медных сплавов.* Медь и ее сплавы (бронзу, латунь) можно паять газовым пламенем или паяльником без особых затруднений. Для пайки могут быть использованы как однопламенные, так и многопламенные горелки, работающие на смеси ацетилена или малокалорийных газов с кислородом. При этом следует указать, что медь имеет весьма большую теплопроводность и трудно разогревается при пайке. Поэтому для пайки меди или медных сплавов следует брать более мощные наконечники, чем это требуется для стали. Высокотемпературная пайка меди и медных сплавов осуществляется медно-цинковыми и медно-фосфористыми припоями, причем для самой меди и бронз могут быть использованы все припои, указанные в табл. 2.17 и 2.19. Выбор марки припоя зависит от конкретных условий пайки и требований, предъявляемых к паяемому изделию. Для пайки латуни пригодны также все марки серебряных и медно-фосфористых припоеv. Медно-цинковые припои и латуни имеют небольшую разницу в температурах плавления, поэтому такие припои следует выбирать так, чтобы обеспечить необходимую разницу в температурах плавления основного металла и припоя. Как указывалось, разница должна быть не менее 50...60 °С. Так, припой ПМц-36 может быть использован для пайки латуни марок Л-59, ЛС-59 и легированных латуней с аналогичным содержанием меди, припой ПМц-48 применяется при пайке латуней, содержащих 62...86 % меди, припой ПМц-54 — для латуней Л-68, Л-80, Л-90. При пайке меди и медных сплавов медно-цинковыми и серебряными припоями без марганца или никеля в качестве флюсов служат бура, борная кислота и их смеси. Медно-фосфористые припои используются без флюсов. В случае пайки меди и медных сплавов с применением флюсов остатки последних должны быть удалены.

*Пайка алюминия и его сплавов.* Алюминий и его сплавы интенсивно окисляются в процессе нагревания с образованием весьма стойкого окисла  $Al_2O_3$ , затрудняющего ведение пайки. Другой особенностью алюминия является низкая температура плавления его сплавов, вследствие чего изделие легко перегревается. Кроме того, при температуре пайки цвет алюминиевых сплавов не изменяется, что затрудняет установить, достаточно ли нагрето паяемое изделие.

Нагрев в процессе пайки оказывает значительное влияние на структуру алюминиевых сплавов. Особенно чувствителен к нагреву дуралюминий, причем чем медленнее нагревается сплав, тем заметнее происходит его разупрочнение. Газопламенная пайка, осуществляемая при довольно длительном нагревании изделия схватом большого участка, почти не применяется для соединения деталей из дуралюмина. Трудно паять также литейные сплавы, имеющие более низкую температуру плавления. Только сам алюминий,

а также сплавы авиааль и АМц дают в настоящее время высококачественный шов при газопламенной пайке. Пайка алюминия и его сплавов возможна только при условии тщательной очистки поверхности соединяемых деталей.

Для пайки алюминия и его сплавов применяются припои и флюсы, указанные выше. Процесс пайки с припоем и флюсом 34А происходит при 540...550 °С. Пайка припоями на основе алюминия и цинка, легированными редкоземельными элементами, осуществляется при более низкой температуре. Нагрев для пайки алюминиевых сплавов производится пламенем бензиновоздушной горелки или паяльной лампой. Ацетилено-кислородное пламя, имеющее высокую температуру (3150 °С), увеличивает опасность расплавления и пережога материала. Кроме того, ацетилено-кислородное пламя интенсивно реагирует с флюсом 34А, поэтому для пайки алюминия применять его не следует. Даже пламя бензиновоздушной горелки или паяльной лампы при длительном воздействии снижает активность флюса, применяемого для пайки алюминиевых сплавов, поэтому время соприкосновения пламени с флюсом должно быть минимальное. Вследствие этого при пайке алюминия припосм флюс 34А наносится не преждевременно, а в процессе пайки при температуре 450 °С. Это сокращает время реагирования пламени с флюсом.

Для определения начала процесса у паяемого места необходимо провести черту лучинкой или обратным концом спички. При температуре 450 °С след лучинки или спички обугливается и дает черную линию. После того как деталь нагрета достаточно, пламенем нагревают конец прутка припоя до оплавления, погружают в сухой порошкообразный флюс и переносят к месту пайки. Вода и этиловый спирт также реагируют с флюсом, снижая его качество, поэтому изготавлять из него пасту не следует. Флюс, перенесенный в шов, расплывается раньше припоя и, растекаясь по соединяемым поверхностям, растворяет на них окисную пленку. При дальнейшем нагревании расплывается припой, который затекает в зазоры шва, и происходит пайка. При пайке алюминия или его сплавов нужно иметь в виду, что остатки флюса вызывают коррозию шва. Поэтому не позднее чем через час остатки флюса должны быть тщательно удалены промывкой, как указывалось выше.

Одной из особенностей алюминия является высокий коэффициент его теплового расширения, вследствие чего он при пайке получает значительное коробление. Для уменьшения коробления алюминиевых изделий следует вести равномерно предварительный их нагрев. Мелкие детали обычно нагреваются газовым пламенем. При пайке крупных деталей припоеем 34А целесообразно нагреть их в электрической печи до температуры 450 °С, а затем приступить к пайке. При отсутствии печей применяют равномерный подогрев деталей двумя или несколькими горелками.

Пайка алюминия является надежным технологическим процессом и может быть использована во многих случаях вместо сварки. Часто при сварке детали из алюминиевых сплавов, например резервуары из сплава АМц, дают трещины, тогда как при пайке этого не наблюдается. Пайка алюминия обеспечивает необходимую прочность на растяжение и вибрацию. Однако паяные алюминиевые изделия не выдерживают изгибов и ударов. Поэтому в тех случаях, когда соединение будет подвергаться обработке давлением (например, выколотке) и изгибу, надо для соединения деталей применять сварку. Таким образом, пайка и сварка алюминия дополняют друг друга. Благодаря общедоступности процесса пайки, а также высокой производительности и надежности паяных соединений пайка алюминия и его сплавов находит все более широкое применение в промышленности.

## 12.2. Восстановление деталей, изготовленных из стали, чугуна, меди и медных сплавов

Стальные детали автомобиля можно восстановить как высоко-, так и низкотемпературной пайкой. Элементы каркаса кузовов, кабин, сидений и другие подобные трубчатые конструкции восстанавливаются при помощи медно-цинковых припоеv Л-63, ПМЦ-36 и др. с использованием в качестве флюса буры, если деталь изготовлена из малоуглеродистой стали. Для пайки низколегированных сталей применяют ПВ-200 или ПВ-201. Выбор вида соединений производится в зависимости от места расположения ремонтируемого участка, его назначения и характера нагруженности. Нагрев при пайке производится газовой горелкой или паяльной лампой. Выбор наконечников горелок производится с учетом указаний, приведенных выше.

Низкотемпературную пайку рекомендуется применять для заделки вмятин в облицовках кабин, кузовов, дверей, крыльев и т.д. Заделку вмятин целесообразно применять в тех случаях, когда другие способы не дают положительного результата. Для заделки вмятин следует применять наиболее низкотемпературный оловянно-свинцовий припой ПОС-61 с температурой плавления 182 °C. Вызвано это тем, что местный нагрев до температур пайки 200 °C массивного листового материала представляет большие трудности. Для нагрева при пайке можно использовать паяльники с газовым или керосиновым обогревом, молотковый электропаяльник, инфракрасный излучатель и газовое пламя. В последних двух случаях участки, прилегающие к паяемому месту, необходимо защитить от теплового воздействия на них. Источник нагрева выбирается предварительной проверкой. Достоверность мощности нагревателя определяется при помощи термочувствительного карандаша. Как известно, имеются припой более легкоплавкие по сравнению с при-

посм ПОС-61. Но они уступают оловянно-свинцовыми припоям по прочности сцепления с основным металлом и пластичности, часто дороже и дефицитнее, чем припой типа ПОС (припой на основе индия и др.). При запаивании вмятин в качестве флюсов служит травленая соляная кислота (водный раствор хлористого цинка) или смесь хлористого цинка и хлористого аммония. Могут быть использованы и другие паяльные флюсы, приведенные в гл. 2.

Для восстановления деталей из листового материала, имеющего вмятины, следует:

зачистить поврежденный участок облицовки от грязи, жиров, лакокрасочного покрытия и окисной пленки, протереть очищенную поверхность ветошью, смоченной органическим растворителем;

расположить деталь так, чтобы паяемое место занимало горизонтальное положение (чтобы расплавленный припой не стекал вниз), положить во впадину кусок припоя, достаточный для заполнения ее расплавленным припоеем, и нанести на паяемую поверхность флюс, на расстоянии 10...15 мм от вмятины сделать черту термо-чувствительным карандашом;

нагреть паяемое место до заполнения впадины жидким припоеем, добавляя последний по необходимости;

охладить паяный участок и тщательно удалить остатки флюса;

обработать паяное место заподлицо с поверхностью основного металла;

восстановить лакокрасочное покрытие по общепринятой технологии.

Чугунные детали автомобиля можно также восстанавливать как низко-, так и высокотемпературными припоями. В авторемонтном производстве низкотемпературную пайку целесообразно применять для устранения дефектов сварных швов после ремонта чугунных деталей (раковины, поры).

Для этой цели используют припой ПОС-30 и флюс, содержащий хлористые цинк, медь и олово (водный раствор), пайку проводят в следующей последовательности:

очистить место пайки от корки, образовавшейся после сварки, проволочной щеткой;

очищенную поверхность обезжирить ацетоном, бензином или 5...10 %-ным раствором щелочи и нанести флюс;

газовой горелкой равномерно прогреть места пайки до температуры, при которой плавится припой, при этом поверхность сварного шва облучивается, а раковины и поры заполняются припоеем. Раковины и поры можно запаивать паяльником;

произвести тщательную очистку шва горячей и холодной водой.

Высокотемпературными припоями восстанавливаются изношенные поверхности коренных шеек, рабочие поверхности чугунных гильз цилиндров и некоторые другие детали.

Технологический процесс восстановления гильзы цилиндров высокотемпературной пайкой включает в себя следующие этапы: подготовку детали к пайке, наматывание проволоки на восстанавливаемую поверхность или установку заранее изготовленной спирали заданных размеров. Концы спирали привариваются к наращиваемой детали электроконтактной сваркой, затем следует пайка, со-вмещаемая с закалкой (если требуется), и механическая обработка.

По разработанной методике были восстановлены гильзы цилиндров двигателя ЗИЛ-130 со вставкой, отработавшие межремонтный

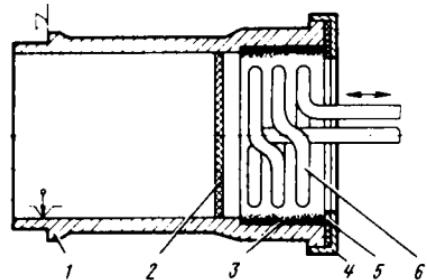


Рис. 12.1. Схема восстановления гильзы цилиндров

срок. На рис. 12.1 представлена схема наращивания гильз цилиндров со вставкой. Для этой цели используется спираль из стали 30ХГСА наружным диаметром 105 мм, длиной 50 мм, изготовленная на пружинонавивающем станке. Гильзу цилиндра 1 закрепляется на специальной установке. Для предотвращения стекания припоя служит перегородка 2 из листового асбеста. Вместо вставки в верхнюю часть гильзы цилиндра устанавливают спираль 3. Гильзу закрывают крышкой с асбестовой прокладкой 4. В пространство между перегородкой и крышкой засыпают смесь 5, состоящую из припоя и флюса в соотношении 2:1. Нагрев производится индуктором 6, вставленным во внутреннюю часть гильзы цилиндра. Далее производится вращение гильзы.

Оптимальный режим пайки определен экспериментально. Режим позволяет получать покрытие с ровной поверхностью без пор и раковин, с достаточной прочностью сцепления покрытия с металлической основой гильзы. Режим нагрева: ток сетки 1 А, ток анода 5 А, анодное напряжение 5 кВ, нагруженное напряжение на контуре 0,4...0,5 кВ, время нагрева 20...40 с, частота вращения гильзы 600...800 мин<sup>-1</sup>. При таком режиме без дополнительных устройств в системе управления индуктором обеспечивается температура нагрева, необходимая для высококачественной пайки с хорошим сцеплением проволоки и металлической основы (920...950 °C). После пайки гильза охлаждается на воздухе при комнатной температуре.

Расточка гильз проводилась резцами с твердым сплавом ВК-8 в два прохода. При первом проходе обрабатывалось только покрытие, при втором гильза обрабатывалась по всей длине. Подача 0,4 мм/об, скорость резания 35 м/мин. Предварительное хонингование осуществляли брусками АСР 100/80 М1 100 %, окончательное хонингование — брусками АСР 80/63 Р11/Р9.

Высокочастотной пайкой можно восстанавливать также некоторые чугунные детали автомобиля, например заднюю, переднюю и верхнюю крышки коробки передач. У задней крышки случается облом прилива под палец крепления рычага центрального тормоза, патрубок передней крышки коробки передач изнашивается выше предельно допустимого размера, в верхней крышке коробки передач может произойти облом резьбовой головки. Для восстановления задней крышки обломанный прилив под палец отрезают фре-

зой и вместо удаленной части устанавливают бобышку из стали 30, которую припаивают к крышке током высокой частоты. Изношенную часть патрубка передней крышки отрезают фрезой и вместо удаленной устанавливают бобышку из стали 30, которую припаивают к крышке током высокой частоты. Изношенную часть патрубка передней крышки отрезают и припаивают новую дополнительную ремонтную деталь, изготовленную из стальной трубы. В качестве припоя при восстановлении коробки передач используется латунь Л-63.

Медь и медные сплавы в автомобилях используются для изготовления радиаторов. На ЗИЛ-130, например, верхние и нижние бачки системы охлаждения изготавливают из латуни Л-63, трубы — из латуни Л-90, охлаждающие пластины — из меди МЗ. Охлаждающие трубы масляных радиаторов изготавливают из латуни Л-90, охлаждающие пластины — из латуни Л-63. Типичными дефектами радиаторов являются вмятины и трещины на бачках, повреждение охлаждающих пластин и трубок, нарушение герметичности в местах пайки. Пробоины в бачках устраниют постановкой накладок из листовой латуни, припаиваемых к бачкам припоеем ПОССу 20-0,5 или ПОССу 30-0,5 с использованием флюса на основе хлористого цинка. Трещины запаивают теми же припоями. Поврежденные охлаждающие трубы запаивают. Трубки, пайка которых затруднена, заменяют новыми. Для этого сначала в поврежденную трубку вводят нагретый стержень, и после распаивания шва вытаскивают трубку вместе со стержнем при помощи плоскогубцев. Затем на место снятой трубы устанавливают новую и припаивают паяльником или погружением в расплавленный припой. В последнем случае после предварительного протравливания в ванне с соляной кислотой в течение 0,5...1,0 мин радиатор опускают в расплавленный припой на 5...8 мин (фиксируется опорной пластиной), затем вынимают из ванны и встряхивают над ванной, чтобы стекли излишки припоя. После этого отремонтированные бачки и трубы устанавливаются в корпус и проверяются на перекос.

### 12.3. Восстановление деталей из алюминиевых сплавов

Отремонтированные пайкой детали автомобиля из алюминиевых сплавов имеют повышенную надежность. Пайкой можно восстановить изношенные поверхности блоков цилиндров, повреждения головки блока, крышек распределительных шестерен, детали системы охлаждения — фланцы и трубопроводы. На рис. 12.2 показан характер коррозионно-эрэзионного повреждения канала системы охлаждения головки блока цилиндров.

Восстановление головок блоков пайкой производится в следующей последовательности. Первой операцией является мойка и де-

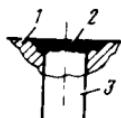


Рис. 12.2.  
Схема кор-  
розионного  
повреждения:  
1 — прива-  
лочная пло-  
скость головки;  
2 — коррози-  
онно-эрзиион-  
ные разруше-  
ния; 3 — канал  
системы ох-  
лаждения

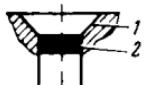


Рис. 12.3.  
Фрагмент го-  
ловки блока,  
подготовлен-  
ный к пайке:  
1 — поверх-  
ность канала  
(в виде усе-  
ченного кону-  
са); 2 — асбес-  
товая пробка



Рис. 12.4.  
Канал систе-  
мы охлажде-  
ния после  
пайки:  
1 — напаян-  
ный припой;  
2 — зона спая;  
3 — мениск

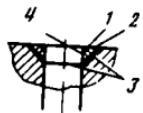


Рис. 12.5.  
Фрагмент восстано-  
вленной голо-  
вки блока:  
1 — припой;  
2 — прива-  
лочная пло-  
скость; 3 — по-  
верхность спая; 4 — вос-  
становленная  
поверхность  
канала охлаж-  
дения

фектовка головок. Детали, имеющие коррозионно-эрзиионные разрушения каналов системы охлаждения, направляются на восстановление пайкой.

Для беспрепятственного нанесения припоя необходимо очистить восстанавливаемую поверхность от коррозионно-эрзиионных разрушений в виде язв темного цвета. Для этого применяется механическая обработка канала системы охлаждения на сверлильном станке за 1—2 ч до начала пайки. В результате получаем внутреннюю поверхность канала в виде усеченного конуса 1 (рис. 12.3). В зависимости от размеров и формы язв канал системы охлаждения можно рассверливать до диаметра 14,3 мм. Затем в канале устанавливается асbestosвая пробка 2, как показано на рис. 12.4 для предохранения попадания в него припоя. Деталь устанавливается в печь и подогревается до температуры 300...325 °C, затем ставится на повороте приспособление так, чтобы привалочная плоскость располагалась горизонтально. После этого производится локальный подогрев мест пайки пропанокислородной горелкой с наконечником № 4. Пламя горелки при этом расположено перпендикулярно привалочной плоскости головки блока. Расход пропан-бутана составляет 200...335 дм<sup>3</sup>/ч при давлении не менее 2,94 кПа и кислорода — 840...1400 дм<sup>3</sup>/ч при давлении 196...392 кПа. До температуры 500 °C внутренняя поверхность конуса нагревается за 4...5 мин. Момент подачи припоя определяется по изменению цвета нагреваемой поверхности до слегка желтоватого. Пруток припоя диаметром 5 мм подогревается пламенем горелки за 5...10 с и обмакивается в смесь флюсов. Затем вводится в пламя горелки так, чтобы его конец касался напаиваемой поверхности в форме усеченного конуса. Через 1...2 с флюс начинает растекаться по поверхности

конуса; в этот момент производят круговые движения концом прутка. При этом расплавившийся припой смачивает напаиваемую поверхность.

После облучивания напаиваемой поверхности производят заполнение припоеём всего объема усеченного конуса (рис. 12.4). После охлаждения головки осуществляется механическая обработка восстановленных каналов и привалочной плоскости. Фрезерование мениска заподлицо с привалочной плоскостью проводится торцовой фрезой при следующих режимах: частота вращения фрезы  $1500\ldots1800$  мин $^{-1}$ , подача 0,07 мм/зуб, глубина резания до 2 мм. Затем по кондуктору сверлятся каналы системы охлаждения диаметром 14,5 и 10 мм в зависимости от модификации головки блока. Заключительной операцией является удаление асбестовых пробок, промывка водой системы охлаждения головки блока, а также проведение гидравлических испытаний водой под давлением 50 МПа в течение 2 мин. Течь воды или потеки в местах пайки не допускаются.

Расход припоя на восстановление одного канала системы охлаждения составляет  $1,8\ldots4,2$  см $^3$ , а одной головки блока —  $10,2\ldots12,0$  см $^3$ . Фрагмент восстановленной головки приводится на рис. 12.5.

## Г л а в а 13. УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ, ОТРЕМОНТИРОВАННЫХ СВАРКОЙ И НАПЛАВКОЙ

### 13.1. Способы упрочнения и их назначение

Для упрочнения металла после сварки и наплавки используется поверхностное деформирование накатыванием, дробеструйным или центробежным наклепом, проковкой, чеканкой, электромеханической обработкой и др. Все эти методы позволяют повысить усталостную прочность сварных и наплавленных конструкций, снижают их чувствительность к концентрации напряжений, уменьшают внутренние напряжения вследствие суммирования с ними напряжений сжатия, возникающих при наклете. Поверхностное упрочнение улучшает также износостойкость, противокоррозионные и некоторые другие свойства обработанной поверхности. На рис. 13.1 приведены схематично основные методы поверхностного упрочнения.

При наклете деталей важное значение имеет температура нагрева. При повышении температуры процесса происходит рекристаллизация структуры металла, которая начинается при температуре около 400 °С. Полностью снимается наклеп при 850 °С.

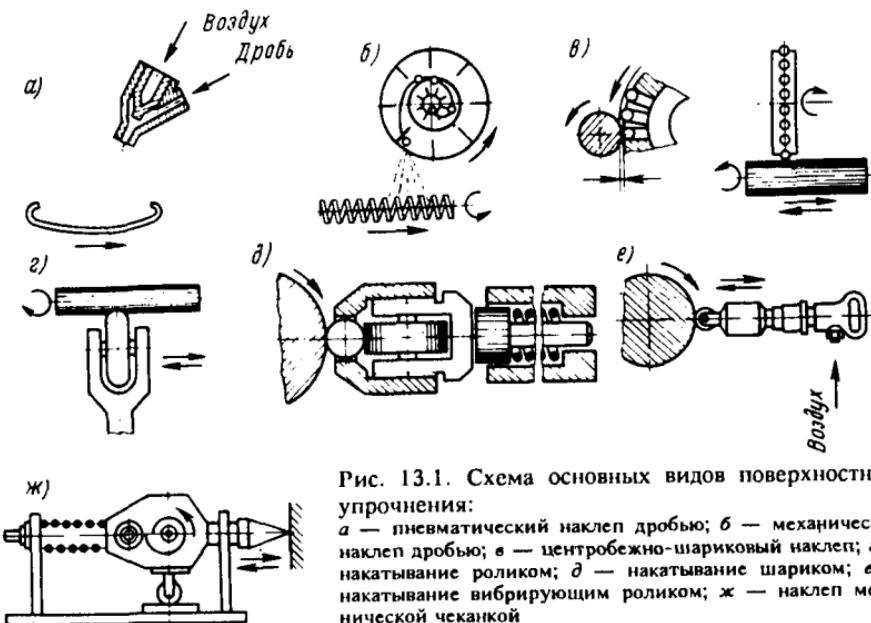


Рис. 13.1. Схема основных видов поверхностного упрочнения:

*а* — пневматический наклеп дробью; *б* — механический наклеп дробью; *в* — центробежно-шариковый наклеп; *г* — накатывание роликом; *д* — накатывание шариком; *е* — накатывание вибрирующим роликом; *ж* — наклеп механической чеканкой

Результаты упрочнения зависят от параметров технологического процесса обработки — давления инструмента, продольной подачи, скорости обкатывания, размера инструмента. При упрочнении наплавленного слоя детали диаметром 40...70 мм с исходной твердостью HV 200...300 накатыванием рекомендуется давление инструмента 2...3 кН, продольная подача 0,10...0,25 м/мин, скорость обкатки 15...125 м/мин<sup>-1</sup>, число проходов 1...2, диаметр шарика 15...20 мм или ролика 30 мм с профильным радиусом 10...15 мм. При твердости наплавленного слоя HV 300 и более, давлении инструмента 3...4 кН значения остальных параметров остаются прежними. При этом твердость наплавленного слоя может повыситься на 35...40 %, выносимость — на 50...100 %, а глубина наклея — достигнуть 0,02...0,04 диаметра детали.

При электромеханической обработке деталь нагревается током и одновременно подвергается воздействию внешних сил. Эффективность обработки зависит от свойств упрочняемого материала, давления инструмента, силы тока и скорости вращения детали. Несмотря на отдельные положительные эффекты, в настоящее время еще не выработаны обоснованные режимы процесса электромеханической обработки наплавленных деталей.

При ремонте деталей сельскохозяйственной техники иногда восстановление наплавкой совмещается с механической обработкой и пластическим деформированием. В этом случае деталь, наплавленная электрической дугой под флюсом, легированном графитом и

феррохромом, подвергается механической обработке и пластическому деформированию накатным роликом.

Схема установки для наплавки цилиндрических деталей с совмещением механической обработки с роликовой накаткой приведена на рис. 13.2. Режимы совместной обработки приведены в табл. 13.1.

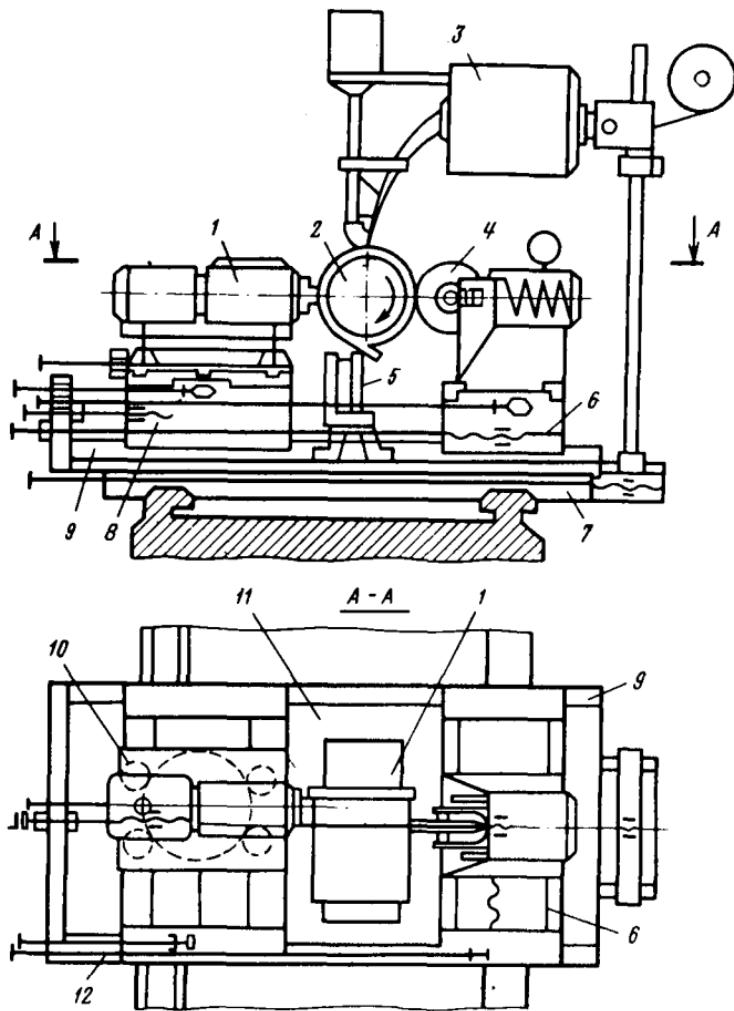


Рис. 13.2. Схема установки для наплавки цилиндрических деталей с совмещением механической обработки с роликовой накаткой:

1 — фрезерная головка; 2 — обрабатываемая деталь; 3 — наплавочная головка; 4 — накатный ролик; 5 — шлакоудаляющее устройство; 6 — суппорт накатной головки; 7 — каретка токарного станка; 8 — суппорт фрезерной головки; 9 — поперечные направляющие; 10 — каретка с подъемными винтами; 11 — несущая плита; 12 — продольные направляющие

Таблица 13.1 Режимы наплавки, фрезерования и накатки роликом цилиндрических деталей

Параметр	Диаметр восстанавливаемой детали, мм		
	60	120	240
Частота вращения детали, мин <sup>-1</sup>	3	2	0,75
Диаметр электродной проволоки, мм	1,6...1,8	1,8...2,0	2
Шаг наплавки, мм/об	4,0...4,05	4,0...4,5	4,0...4,5
Сила тока, А	190...200	240...250	270...300
Напряжение, В	25...26	26...28	27...30
Скорость подачи электродной проволоки, м/мин	1,35...1,56	2,3	3,25
Вылет электродной проволоки, мм	20	20...25	25
Температура наплавленного металла в зоне фрезерования, °С	450...920	400...800	400...700
Скорость фрезерования, м/мин	220...250	220...250	220...250
Продольная подача фрезы, мм/об	4,0...4,5	4,0...4,5	4,0...4,5
Подача на зуб фрезы, мм	0,10...0,15	0,10...0,15	0,10...0,15
Диаметр накатного ролика, мм	100...120	100...120	120...150
Ширина цилиндрического ролика, мм	15	16	18
Температура в зоне накатки, °С	300...70	300...60	300...500
Давление ролика, кН	8...10	8...10	8...10

Высокая твердость наплавленного металла (HRC<sub>3</sub> 52...62) может быть достигнута, если использовать флюсующую смесь, % (по массе):

Флюс АИ 348А (ГОСТ 9087—81) .....	95,5
Графит порошковый (ГОСТ 5279—74) .....	2,5
Феррохром № 6 порошковый (ГОСТ 4757—89) .....	2

Для механической обработки используются пластинки из сплава Т15К6. Наплавка производится пружинной проволокой второго класса.

### 13.2. Упрочнение деталей, восстановленных сваркой и наплавкой

Сварные швы некоторых стальных и чугунных деталей автомобиля целесообразно после восстановления обработать одним из рассмотренных способов упрочнения. Блоки цилиндров необходимо

проковать при температуре 60...70 °С кончиком слесарного молотка с энергией 5...7 Дж. Проковкой упрочняются сварные швы рамы, хорошие результаты дает упрочнение галтельной части коленчатых валов, восстановленных наплавкой. В этом случае упрочнение может осуществляться ударным инструментом или обкаткой роликом при помощи специального устройства. Коленчатый вал для упрочнения устанавливается между патроном и задней бабкой токарного станка, а упрочняющий механизм с двумя роликами для накатки из сплава Т15К6 и поддерживающим роликом, закрепленный на суппорте токарного станка, обеспечивает прижатие этих роликов к галтелям с двух сторон при помощи пневматической системы и звеньев механизма. Размеры элементов приспособления зависят от диаметра и радиуса галтели шейки коленчатого вала.

Почти у всех коленчатых валов усталостные трещины возникают сначала в галтельной части шатунных шеек, поэтому можно упрочнить только галтели шатунных шеек и кромки масляных отверстий, где иногда также возникают усталостные трещины. При накатке возможно частичное коробление коленчатого вала, в связи с чем при ремонте коленчатого вала следует соблюдать следующую последовательность операций: наплавка коренных и затем шатунных шеек, предварительное шлифование шатунных и затем коренных шеек, окончательное шлифование шатунных шеек, упрочнение галтелей, правка коленчатого вала, окончательное шлифование коренных шеек. Такая последовательность ремонта позволяет устраниТЬ небольшие коробления коленчатого вала при его окончательной правке. Рекомендуемые режимы упрочнения вращающимися роликами шатунных шеек коленчатых валов двигателей некоторых автомобилей приведены в табл. 13.2.

Таблица 13.2. Режимы упрочнения коленчатых валов двигателей путем обкатки галтелей шатунных шеек

Характеристика режима	Двигатель		
	ЗИЛ-130	ЯМЗ-236	МАЗ-200
Частота вращения детали, мин <sup>-1</sup>	40...50	35...40	35...40
Усилие давления ролика на галтель, кН	8...8,5	8...8,5	8...8,5
Машинное время обработки, мин	0,12...0,18	0,15...0,20	0,15...0,20
Радиус закрутления роликов, мм	1,5...1,7	5...6	5...6
Смазывающая жидкость		Индустриальное масло	
Предшествующая обработка		Шлифование	
Уменьшение диаметра галтели после упрочнения, мм	0,10...0,15	0,10	0,10
Класс чистоты поверхности после обработки	8...9	8...9	8...9

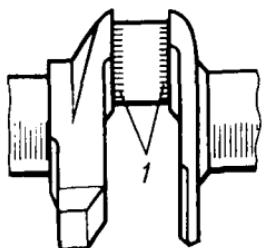
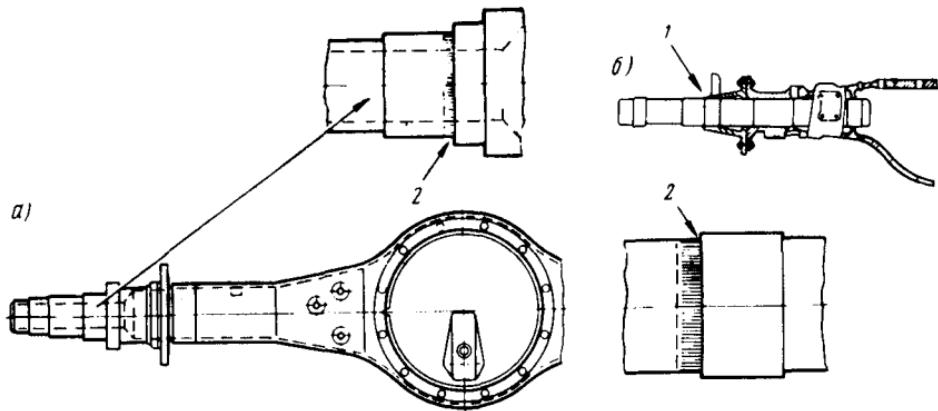


Рис. 13.3. Упрочняемые места галтели шатунной шейки автомобиля ЗИЛ-130

Рис. 13.4. Места упрочнения картера заднего моста



На рис. 13.3 показаны упрочняемые места 1 шатунной шейки двигателя ЗИЛ-130.

Усталостные трещины нередко возникают на галтелях шеек под внутренний подшипник кожухов полуосей, которые восстанавливаются вырезанием кольцевых канавок по трещинам, завариваются автоматической наплавкой под флюсом, затем обрабатываются механически и упрочняются.

На рис. 13.4 показаны места упрочнения картера заднего моста автомобилей ЗИЛ-130 (а) и МАЗ-200 (б), где 1 — упрочнение галтелей и 2 — упрочнение шеек под внутренний подшипник задних колес.

Усталостные трещины разного характера и в разных местах встречаются на поворотных цапфах автомобилей разных марок, которые можно восстанавливать автоматической наплавкой 1 под флюсом с последующим упрочнением (рис. 13.5). Режимы упрочнения поворотных цапф приведены в табл. 13.3.

На трубах полуосей без галтелей трещины возникают в местах выхода из картеров задних мостов. Изношенные шейки под подшипник на кожухах полуосей, цапфах ступиц колес и трубах полуосей восстанавливаются наплавкой с последующим упрочнением специальной пружинной державкой (рис. 13.6). Державка 4 имеет

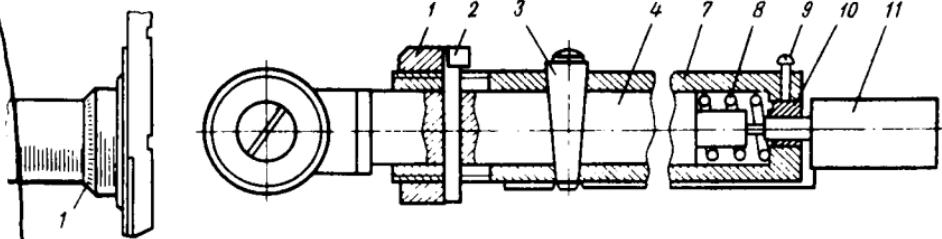


Рис. 13.5. Места упрочнения поворотной цапфы

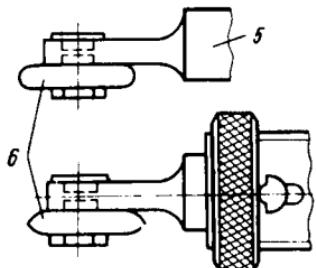


Рис. 13.6. Пружинная державка для упрочнения галтелей и цилиндрической поверхности детали

невращающийся ролик из сплава Т15В6, накидную гайку 1, упор 2, конусный (вставной) стопор 3, сменные штоки 5 с роликами 6, корпус 7, тарировочную пружину 8, стопорный винт 9, трубку 10 корпуса индикатора 11. При помощи накидной гайки по индикатор-

Таблица 13.3. Режимы упрочнения галтелей поворотных цапф автомобилей

Характеристика режима	Автомобиль		
	ГАЗ-53	ЗИЛ-130	МАЗ-200
Диаметр упрочняемой поверхности, мм	44,975 $-0,025$	54,988 $-0,020$	64,970 $-0,049$
Радиус галтели, мм	5...0,5	6...7	6 $^{+0,5}_{-1,0}$
Давление ролика на деталь, кН	1,3...1,5	1,6...1,8	1,9...2,1
Длина обработки шейки с выходом на галтель, мм	10...15	10...15	10...15
Продольная подача суппорта до галтели (с выходом на галтель, подача ручная), мм/об	0,20...0,25	0,20...0,25	0,20...0,25
Частота вращения детали, мин $^{-1}$	60...80	50...60	40...50
Число проходов	2	2	2
Радиус заточки ролика, мм	4,5	5...6	5...5,1
Предшествующая обработка		Шлифование	
Уменьшение диаметра шеек после обработки, мм	0,02...0,03	0,02...0,03	0,02...0,03
Смазывающая жидкость		Индустриальное масло	

Таблица 13.4. Параметры режима упрочнения галтелей валов рулевых сопок

Характеристика режима	Автомобиль		
	ГАЗ-53	ЗИЛ-130	МАЗ-200
Диаметр упрочняемой поверхности, мм	34,975 $-0,025$	37,975 $-0,025$	45,000 $-0,013$
Радиус галтели, мм	3,0	2,0	3,0
Давление ролика на деталь, кН	1,1...1,2	1,1...1,2	1,4...1,6
Длина обработки шейки с выходом на галтель, мм	18...20	20...22	20...25
Продольная подача суппорта до галтели (на галтели подача ручная) мм/об	0,20	0,20	0,20
Частота вращения детали, мин $^{-1}$	70...80	60...70	50...70
Число проходов	2	2	2
Радиус заточки ролика, мм	3,0	1,8...2,0	2,6...3,0
Уменьшение диаметра шеек после упрочнения, мм	0,02...0,03	0,02...0,03	0,02...0,03
Предшествующая обработка	Шлифование		
Смазывающая жидкость	Индустриальное масло		

Таблица 13.5. Параметры режима упрочнения кожухов полусосей

Характеристика режима	Кожухи полусосей автомобиля		
	ГАЗ-53	ЗИЛ-130	МАЗ-200
Диаметр упрочняемой поверхности, мм	74,980 $-0,045$	84,960 $-0,035$	89,964 $-0,022$
Радиус галтели, мм	8-0,5	8,0	1,0
Давление ролика на деталь, кН	1,6...2,0	1,8...2,3	2,2...2,6
Длина обработки шейки с выходом на галтель, мм	15...18	15...18	5...8
Продольная подача суппорта до галтели, мм/об (на галтели подача ручная)	0,20	0,20	0,20
Частота вращения детали, мин $^{-1}$	40...50	35...45	30...40
Число проходов	2	2	2
Радиус заточки ролика, мм	5...6	5...6	1,5...2,0
Предшествующая обработка	Шлифование		
Уменьшение диаметра шеек после упрочнения, мм	0,02...0,03	0,02...0,03	0,02...0,03
Смазывающая жидкость	Индустриальное масло		

ру устанавливается предварительный натяг пружины, равный 90...95 % требуемого давления ролика на деталь.

Режимы упрочнения ряда деталей некоторых автомобилей приведены в табл. 13.4 и 13.5.

Валы рулевых сошек, имеющие трещины, после восстановления наплавкой закаливаются т. в. ч. до  $HRC_3$  40...45. Однако галтель и шейку вала на расстоянии 10...12 мм от галтели не закаливают, а упрочняют вращающимся роликом пружинной державки.

## Г л а в а 14. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ И ПАЯННЫХ СОЕДИНЕНИЙ

### 14.1. Общий контроль

При выполнении ремонта сваркой или пайкой необходимо вести предварительный контроль, пооперационный контроль и контроль завершенной работы.

Предварительный контроль предусматривает проверку: сварочного и паяного оборудования, сборочно-сварочных и паяльных приспособлений, контрольно-измерительных приборов, инструментов, электродов, присадочных проволок, припоев, флюсов, защитных газов и других материалов, используемых при сварке и пайке.

Часто при пайке из-за отсутствия стандартных флюсов используются флюсы, приведенные в гл. 2. Пригодность их для пайки в каждом конкретном случае необходимо установить проверкой на активность технологической пробой на растекаемость припоя. Для этого на пластинку, изготовленную из материала, соответствующего материалу паяемого изделия, устанавливается припой и исследуемый флюс в определенных количествах. После этого пластинка с флюсом и припоеем нагревается до температуры пайки. При одинаковом количестве припоя и флюса чем больше площадь растекания, тем активнее флюс. Об активности флюса можно судить и по температуре пайки. Из двух флюсов, имеющих одинаковую температуру плавления, активнее тот, который обеспечивает растекание припоя одной и той же марки при более низкой температуре. Иногда качество флюса определяется простой пробой — плавлением небольшого количества флюса на пластинке, марка которой соответствует марке паяемого металла. Расплавленный флюс, если он имеет высокую активность, мгновенно очищает поверхность пластинки от окислов, и последняя становится блестящей.

К предварительному контролю относится также обеспеченность выполняемых работ всем необходимым по охране труда.

Пооперационный контроль включает: проверку подготовленности детали к ремонту сваркой или пайкой, режимов сварки и пайки, правильности наложения швов, чистоты соединяемых поверх-

ностей, зазоров между кромками, размеров перекрытий при сварке и пайке внахлестку, фиксации соединяемых деталей; контроль в процессе сварки или пайки за состоянием оборудования, качества и соответствия расходных материалов принятой технологии, исправности контрольно-измерительных приборов.

Контроль завершенной работы осуществляется различными способами, которые делятся на разрушающие с выводом из строя части сварного или паяного соединения и неразрушающие. Примущественно применяют неразрушающие способы контроля, однако иногда соединения целесообразно подвергать разрушению для получения более надежной и достоверной информации о них.

Необходимым и наиболее распространенным видом контроля при сварке или пайке является внешний осмотр соединения, осуществляемый невооруженным глазом и с помощью увеличительного стекла после тщательной очистки швов от шлака. Детали осматриваются как после прихваток, так и после наложения швов. Размеры швов замеряют специальными шаблонами и измерительными приборами непосредственно после сварки или пайки. Внешним осмотром при хорошем освещении объекта контроля выявляют: излом, неперпендикулярность осей и смещение кромок соединяемых элементов, несоответствие размеров и формы швов по высоте, катету и ширине шва, по равномерности усиления, чешуйчатости и т.п., трещины всех видов и направлений, наплыты, подрезы, прожоги, незаваренные кратеры, непровары, пористость, отсутствие плавных переходов от одного сечения к другому, непропай и другие дефекты.

Для определения механических свойств сварного соединения одновременно с ремонтируемым изделием на тех же технологических режимах сваривают пробные образцы для испытания. Материал образцов должен соответствовать материалу ремонтируемой детали. Размеры и формы образцов, изготовленных для механических испытаний, регламентированы ГОСТ 6996—66. Механическими испытаниями паяных соединений определяются прочность, пластичность и другие свойства.

Простейшим механическим испытанием паяного шва является проба на изгиб. Для этого образец (две пластинки 2 и 3 размером 50x10x1 мм, спаянные с нахлесткой 3 мм) зажимают в тисках 1 так, чтобы галтель с одной стороны перекрытия не захватывалась губками тисков (рис. 14.1, а). После этого ударом молотка со стороны галтели одна из паяных пластинок сгибается на 90° (удар наносится не по шву, а по пластинке). Если при этом припой не отрывается от пластинки, то это свидетельствует о высоком качестве пайки (рис. 14.1, б). При низкой прочности и пластичности соединения припой 4 легко отрывается от пластинки (рис. 14.1, в). Испытание на изгиб паяного шва рекомендуется при отработке режима пайки, а также при необходимости проверки пригодности флюса, атмосферы печи или припоя для пайки. Если технологическая

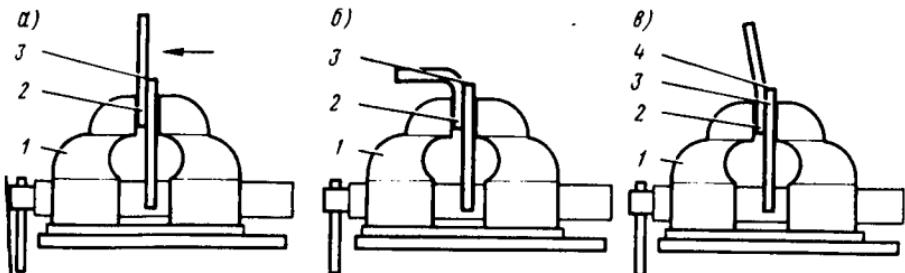


Рис. 14.1. Испытание паяного соединения

проба образца даст положительный результат, то следует производить выборочное испытание паяного изделия на срез или иногда на растяжение на обычных разрывных машинах.

Структуры и дефекты основного и наплавленного металлов выявляются металлографическими исследованиями, включающими в себя макро- и микроструктурные анализы. При макроструктурном исследовании невооруженным глазом или при помощи увеличительного стекла просматривают излом и макрошлиф — зашлифованный образец металла, протравленный 25 %-ным водным раствором азотной кислоты, вырезанный из сварного шва или пробных пластин. Анализ излома позволяет выявить такие дефекты, как флоксы. По излому можно судить, где произошло разрушение металла — по зерну или границе зерен.

При микроструктурном анализе исследуются структура и дефекты металла с помощью микроскопа при тщательно полированной и протравленной поверхности шлифа. Это позволяет установить качество металла, в том числе обнаружить пережог металла, наличие окислов по границам зерен, засоренность металла шва оксидами, сульфидами, размеры зерен металла, изменение состава металла при сварке или пайке, микроскопические трещины, поры и т.п. При необходимости производятся и коррозионные исследования сварных или паянных соединений.

## 14.2. Неразрушаемый контроль

К неразрушающим видам контроля относятся гидро- и пневмоиспытания натурных изделий, магнитный, ультразвуковой, радиационные (рентгено- и гаммаграфический) методы контроля.

Для гидравлического испытания изделие, отремонтированное сваркой или пайкой, наполняется водой или другой жидкостью и выдерживается под определенным давлением, установленным специальными техническими условиями на приемку. При этом в местах соединения, где имеются неплотности, появляются капли или струйки жидкости.

При пневматическом испытании в изделие нагнетают воздух под определенным давлением и погружают в воду. При наличии неплотности воздух пузырьками выходит через воду. Иногда вместо погружения изделия в воду его швы снаружи покрываются мыльной водой, и по образовавшимся мыльным пузырькам находят неплотность.

Магнитный контроль основан на исследовании магнитных полей рассеяния на намагниченном контролируемом изделии. В этом случае намагничивания изделия шов опыливают магнитным порошком, изготовленным из железной окалины, или покрывают суспензией — смесью магнитного порошка с керосином, маслом или другой жидкостью. В зоне дефекта порошок скапливается у краев пор, трещин и т.д., по которым определяют расположение дефектов в шве. Для большей наглядности магнитный порошок или суспензию окрашивают в яркие цвета.

С хорошим результатом магнитную дефектацию можно использовать для контроля коленчатых валов после наплавки и правки, тогда возможно образование трещин. При дефектации шейки вала посыпают сухим ферромагнитным порошком или поливают суспензией. При этом металлические части, собираясь над дефектным участком, образуют на поверхности осадок порошка в виде "жилки", по которому определяют наличие, форму и месторасположение дефекта.

Контроль осуществляется чаще всего на остаточной намагниченности после прекращения действия магнитного поля. Для выявления поперечных трещин целесообразно производить продольное намагничивание, а продольных — циркулярное намагничивание. Продольное намагничивание проводят в поле электромагнита или соленоида, циркулярное — пропусканием через коленчатый вал переменного или постоянного тока силой 2000...3000 А. Комбинированное намагничивание, т. е. продольное и циркулярное, позволяет выявлять дефекты любого направления за один прием. После магнитной дефектоскопии коленчатый вал размагничивают, для чего через вал пропускают ток с постепенным уменьшением его силы до нуля.

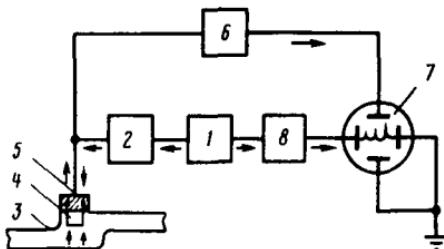
Для контроля коленчатых валов используются как универсальные дефектоскопы МЗД-2, МДП-2, так и специальные.

Ультразвуковой контроль сварных или паяных соединений дает возможность выявить внутренние дефекты. В настоящее время имеется несколько способов ультразвукового контроля: импульсный, теневой и др.

Импульсный метод контроля основан на так называемом принципе эхо-сигналов. Сущность этого явления состоит в том, что ультразвуковые волны, направленные от любого источника колебания, встретив в среде, где они распространяются, какое-либо препятствие, могут возвращаться обратно. При распространении ультразвуковых волн в металле таким препятствием может служить

Рис. 14.2. Схема ультразвукового дефектоскопа:

1 — задающий генератор; 2 — генератор импульсов; 3 — деталь; 4 — обнаруженный дефект; 5 — головка; 6 — генератор развертки; 7 — электронно-лучевая трубка; 8 — приемный усилитель



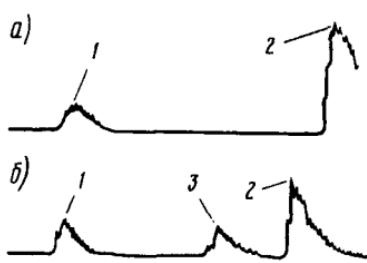
край (противоположная стенка) металла, трещины, раковины или другие дефекты внутри него. Таким образом, момент обратного возвращения ультразвуковых волн зависит от наличия или отсутствия дефектов.

Импульсный дефектоскоп имеет одну или две головки (щуп). В первом случае головка сначала излучает ультразвуковой сигнал, а затем воспринимает его отражение. Во втором случае одна головка дает сигналы, вторая же служит приемником отраженных волн.

На рис. 14.2 показана схема ультразвукового дефектоскопа. Задающий генератор вырабатывает электрический ток с частотой 400...500 Гц, передаваемый генератором импульсов и развертки. Генератор импульсов формирует короткие импульсы, поступающие к головке, для преобразования их в ультразвуковые колебания. При плотном наложении на исследуемое изделие головки луч распространяется по нему и спустя некоторое время отраженные волны возвращаются обратно. При этом на электродах головки появится электрический ток, который, как в посланный сигнал, через приемный усилитель подступает к пластинкам вертикального отклонения луча на электронно-лучевой трубке. Генератор развертки вырабатывает линейно возрастающее напряжение, подводимое к пластинкам горизонтального отклонения луча трубки. В зависимости от силы поступающего через приемный усилитель сигнала на экране трубы будут появляться кривые, характеризующие исследуемый объект. Крайние пики кривых соответствуют отправленному сигналу и его отражению от противоположной стенки. Все промежуточные пики показывают дефекты, имеющиеся внутри изделия.

Примерный характер изображения на экране дефектоскопа показан на рис. 14.3, где кривая *a* соответствует случаю, когда де-

Рис. 14.3. Характер изображения на экране ультразвукового дефектоскопа



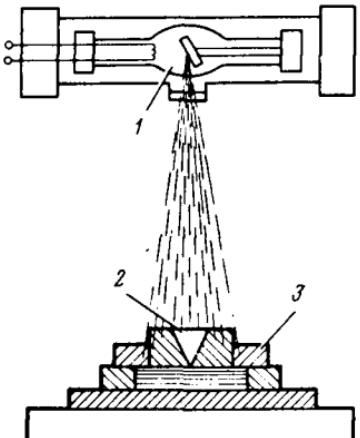


Рис. 14.4. Схема просвечивания рентгеновскими лучами:  
1 — рентгеновская трубка; 2 — дефект; 3 — просвечиваемая деталь

сигналы не импульсами, а непрерывно, что упрощает их конструкцию. Теневые дефектоскопы имеют две головки: одна посылает сигналы, другая воспринимает их. Головки устанавливаются в разных местах испытываемой детали. При этом если нет дефекта, то сигналы будут поступать равномерно. При наличии дефекта сигнал, улавливаемый приемником, ослабляется или усиливается в зависимости от скорости распространения волн в среде, представляющей дефект.

Наша промышленность выпускает ультразвуковые дефектоскопы УДМ-3, УД-55ЭМ, ДУК-13ИМ и др. Эти дефектоскопы обеспечивают выявление дефектов площадью  $2 \text{ mm}^2$  и более. Наиболее эффективны ультразвуковые дефектоскопы при толщине (диаметре) детали более 15 мм.

*Рентгено- и гаммаграфия, или радиационная дефектоскопия,* основаны на способности рентгеновского и гамма-излучения проходить через непрозрачные предметы и действовать на рентгеновскую пленку и некоторые химические элементы, благодаря чему последние флуоресцируют. Дефекты шва на рентгеновской пленке имеют вид пятен (раковины, поры) или полос (непровары, трещины). Обычно просвечивают 3...15 % общей длины шва и все швы, если конструкция особо ответственная. Контрольные аппараты имеют рентгеновскую трубку, источник питания и пульт управления. В качестве источника питания служат повышающий трансформатор с кенонатроном во вторичной цепи для выпрямления анодного тока и высоковольтные конденсаторы, позволяющие удвоить или утроить напряжение вторичной обмотки трансформатора.

Схема контроля приведена на рис. 14.4. В настоящее время широкое применение нашли рентгеновские аппараты ИРА-1Д, ИРА-2Д, РУП-120-5-1, РУП-200-5, РУП-400-5 и др.

talль не имеет дефекта, и б — когда внутри нее обнаружен дефект. В первом случае на экране будет два пика: 1 — посланный сигнал и 2 — его отражение от противоположной стенки детали. Во втором случае кривая имеет три пика — промежуточный пик 3 показывает, что обнаружен один дефект. Место расположения дефекта показывает глубиномер прибора.

При теневом способе контроля дефект определяется не по отражению, а по прохождению ультразвукового луча через обследуемую деталь. Теневые дефектоскопы обычно посылают

## Основы технологии пайки деталей

Процесс пайки начинается с рассмотрения требований, предъявляемых к основному материалу детали с учетом ее прочности и других свойств.

*Выбор припоя* производится на основании требований, которые предъявляются к припоям (см. гл. 2). При этом, прежде всего, надо учитывать природу основного металла и условия эксплуатации паяной конструкции. Детали, работающие в условиях коррозионной опасности, необходимо паять не только припоеем, стойким против коррозии в данной среде, но и стойким против коррозии в контакте с паяемым металлом. Для детали, которая должна иметь высокую электропроводность, важно применение не только основного металла с высокой электропроводностью, но и припоя. Некоторые рекомендации по выбору наиболее распространенных припоеv в зависимости от паяемых металлов даны в табл. 1.

*Установление режима пайки* заключается в выборе температуры пайки, продолжительности нагрева и скорости нагрева. Эти элементы режима пайки оказывают существенное влияние на качество паяного соединения.

При повышении температуры пайки уменьшается поверхностное натяжение припоя, улучшается растекаемость припоя, ускоряется диффузия припоя в основной металле и основного металла в припое. И наоборот, при понижении температуры затрудняется процесс пайки. Учитывая вышеизложенное, температуру пайки обычно устанавливают таким образом, чтобы она превышала температуру плавления припоя только на 25...50 °С.

Прочность паяного шва во многом зависит также от продолжительности нагрева при температуре пайки (или выдержки). Чем больше продолжительность нагрева, тем глубже происходит диффузия припоя в основной металле и основного металла в припое. Однако увеличение времени выдержки при пайке приводит к удлинению производственного цикла. Поэтому время выдержки устанавливается с учетом габа-

Таблица 1. Рекомендации по выбору припоеv\*

Паяемый материал	Припой					
	медный	медно-цинко-вый	медно-фосфористый	серебряный с фосфором	на основе алюминия	низкотемпературный
Сталь малоуглеродистая	+	+	-	-	-	+
Сталь легированная	x	+	-	-	-	+
Ковкий чугун	-	x	-	+	-	+
Медь	-	+	+	+	-	+
Медные сплавы	-	x	-	x	-	+
Алюминиевые сплавы	-	-	-	-	+	-

\* Условные обозначения: + — рекомендуется, x — не рекомендуется, но допускается с ограничением, — — не рекомендуется.

ритов паяемого изделия, зазора между паяемыми деталями, а также химического состава припоя и основного материала. Для крупногабаритных изделий требуется более продолжительный нагрев, чем для мелких. При большом зазоре между паяемыми изделиями также необходим длительный нагрев для обеспечения хорошей взаимной диффузии основного металла и припоя. От припоя и основного металла зависит склонность их к изменению структуры и химического состава при длительном нагреве и связанное с этим изменение качества паяного соединения. Выдержка при нагреве сказывается на свойствах шва только при высоких температурах пайки. При низких же температурах во многих случаях продолжительность пайки существенного значения не имеет.

Скорость нагрева паяемых деталей до температуры пайки определяется их размерами, а также теплопроводностью основного материала. Для крупногабаритных деталей нужен медленный нагрев во избежание коробления или образования трещин при пайке. Материалы, имеющие низкую теплопроводность (например, нержавеющие жаропрочные стали), следует нагревать также медленно. При пайке мелких деталей или деталей из материалов с высокой теплопроводностью для сокращения производственного цикла рекомендуется производить нагрев с повышенной скоростью.

*Подготовка деталей к ремонту пайкой* состоит в их очистке и сборке. Очистка паяемых кромок перед сборкой от грязи, краски, ржавчины, окалины, жиров и т.д. является обязательным процессом при подготовке изделия к пайке. Грязь и продукты, образовавшиеся в результате горения краски или жиров, попадая в шов, сильно снижают его качество. При наличии ржавчины или окалины на соединяемых поверхностях пайка может не произойти.

Очистку заготовки от грязи и краски можно производить керосино- или ацетиленокислородной горелкой, дающей широкий факел пламени. При быстром перемещении горелки металл почти не нагревается, а краска или другие посторонние вещества, имеющиеся на поверхности металла, успевают сгореть. Этот же способ применяют для очистки поверхности металла от окалины. При нагреве окалина расщекивается вследствие различия коэффициентов линейного расширения окалины и металла. После этого изделие тщательно очищают щеткой. Незначительные загрязнения и ржавчину обычно удаляют наждачной бумагой, пескоструйным аппаратом, шабером или стальной щеткой. В случае применения наждачной бумаги или пескоструйной обработки изделие необходимо обдать сухим сжатым воздухом для удаления остатков наждаца или песчинок. Жир с поверхности изделия удаляют, погружая изделие в раствор щелочи или поташа. После этого детали необходимо промыть водой и высушить. Пыль, грязь и следы жира удаляют бензином, ацетоном, трихлорэтиленом и четыреххлористым углеродом.

Для очистки поверхности заготовки от ржавчины или окалины, кроме механических способов, широко применяют химическое травление кислотой. Сущность удаления окислов травлением состоит в том, что при погружении паяемого изделия полностью или частично в раствор кислоты последний через поры или случайные трещины окислов вступает во взаимодействие с металлом, в результате чего выделяется водород, который при выходе на поверхность механически разрушает окисел или окалину. В некоторых случаях среда, в которой травят металл, образует с окислом растворимую в воде соль, смываемую потом водой. Для поверхностного травления металлов рекомендуется при пайке стальных изделий 10 %-ный раствор серной или соляной кислоты, при пайке меди и медных сплавов 10 %-ный раствор серной кислоты, при пайке алюминия и его сплавов 10 %-ный раствор едкого калия (температура ванны 50...60 °C).

Наряду с поверхностным травлением в ряде случаев может быть использовано глубокое травление места пайки для создания шероховатой поверхности. На такой поверхности, где множество мелких капилляров, растекание припоя происходит лучше. Кроме того, при глубоком травлении в кислотах растворяются главным образом межкристаллические вещества, расположенные по границам зерен, и создается чистая металлическая поверхность со множеством микроуглублений, которые в не-

сколько раз увеличивают площадь сцепления основного металла с припоеем. Это в свою очередь приводит к повышению прочности паяных швов. Глубокое травление стали производится в 25...30 %-ном растворе соляной кислоты.

После поверхностного или глубокого травления изделие тщательно промывают в проточной воде, растворе соды для нейтрализации остатков кислоты и снова в проточной воде. Травленое и промытое изделие вытирают насухо чистой ветошью или сушат при температуре 60...70 °С. Во избежание окисления детали должны после сушки немедленно поступать на пайку.

Часто изделие для пайки поступает после механической обработки. В таких случаях травление не всегда обязательно.

*Сборка деталей* производится, как правило, после очистки паяемых кромок от грязи, жиров и окалины. В зависимости от конструкции ремонтируемого изделия она выполняется различными способами.

Количество припоя, требуемого для осуществления пайки, можно определить по следующей формуле:

$$G = k l h \delta \gamma,$$

где  $G$  — масса припоя;  $k$  — коэффициент, учитывающий степень заполнения галтели паяного шва и другие факторы (принимается равным 1,5);  $l$  — протяженность паяного шва, см;  $h$  — высота (ширина) нахлестки, см;  $\delta$  — зазор между паяемыми деталями, см;  $\gamma$  — удельная масса припоя, г/см<sup>3</sup>.

Опыты показывают, что для получения максимальной прочности в паяных соединениях следует брать зазор в пределах 0,05—0,15 мм. Такой зазор обеспечивает и хорошую соосность деталей. Однако в ряде случаев без ущерба для прочности и нарушения соосности деталей может допускать зазоры между деталями в более широких пределах.

В табл. 2 даны допустимые (но не оптимальные) зазоры в соединениях при пайке различных металлов высокотемпературными припоями.

Способ введения припоя к месту пайки зависит от вида пайки. При пайке ручными паяльными инструментами припой, как правило, вводится в зазоры между паяемыми изделиями одновременно с их нагреванием. При высокопроизводительных способах пайки (например, при пайке в печах с газовой средой, пайке т.в.ч. и т.д.) введение припоя в место пайки должно производиться заранее, т.е. при подготовке изделия к пайке.

Припой употребляются в виде проволоки, фольги, ленты, порошков или пасты в смеси с флюсом. В условиях массового производства большую роль играет предва-

Таблица 2. Допустимые зазоры при пайке различными припоями

Паяемый металл	Припой		
	медный	медно-цинковый	фосфористый
Медь	—	0,08...0,3	0,08...0,3
Латунь и бронза	—	0,08...0,3	0,08...0,3
Сталь и чугун	0,04...0,10	0,05...0,25	

Примечание. Зазоры, мм, даны на диаметр.

рительная подготовка припоя, которая сводится к дозировке его определенными порциями для каждого изделия. Точная дозировка припоя способствует получению качественного шва, устраниет необходимость зачистки детали после пайки и дает значительную экономию припоя.

Определение количества припоя, необходимого для заполнения шва, производится расчетом (как указано выше) или опытным путем. Для дозировки проволоку из припоя навивают на специальные оправки, после чего разрезают на куски; отрезанному куску припоя придают форму, соответствующую форме паяемого шва. Колечко припоя устанавливают у шва так, чтобы при плавлении припой лучше заполнял зазоры между паяемыми деталями. Наиболее рациональным является размещение припоя сверху соединения. В этом случае под действием собственного веса припой лучше заполняет шов, особенно если длина нахлестки большая. Если колечко припоя располагается в нижней части соединения, то его высота поднятия после плавления может оказаться недостаточной для заполнения всего шва. Независимо от способа размещения припой не должен сползать с места посадки во время нагрева.

При большой площади спая, когда подача припоя с поверхности недостаточна, в стенках изделия делают кольцевые канавки, в которые закладывается припой. Такое размещение припоя допускается в тех случаях, когда канавка не снижает прочности изделия.

При пайке плоских поверхностей обычно используется припой в виде фольги. Дозировка припоя производится штамповкой фольги по форме, соответствующей форме паяемой поверхности. Фольга может закладываться также в зазоры между паяемыми круглыми изделиями.

Порошкообразные припой или пасты применяют в тех случаях, когда из сплава нельзя получить проволоку, фольгу или ленту из-за его хрупкости. В таких случаях припой размещают вверху соединения или в специальных пазах. Дозировку таких припоеv производят по массе или объему.

Иногда припой наносят на деталь разбрзгиванием в расплавленном состоянии (напыление). Такой метод применяют для припоеv, не содержащих легкоиспаряющихся компонентов, и особенно если припой хрупкий. Напыление не следует применять для нанесения на поверхность спая медно-цинковых и серебряных припоеv, содержащих цинк. Как и основной металл, поступающий на пайку, припой должен иметь чистую поверхность. Очистку припоя от окислов производят так же, как очистку основного металла.

Завершающей сборочной операцией является закрепление паяемых деталей. Для этой цели детали прихватываются дуговой, газовой или контактной сваркой. Иногда крепление осуществляется развалызовкой, связыванием никромовой проволокой и т.д. Подготовленные таким образом изделия подают на пайку.

*Нагрев деталей при пайке* осуществляется различными способами. Наиболее широкое распространение в настоящее время получил нагрев паяльником, пламенем горючих газов, электроконтактным способом, в ваннах с расплавленной солью или припоеv, а также в электропечах и ТВЧ. Способ нагрева определяет характер деформации при пайке и качество паяного соединения. Деформация изделия при нагревании удорожает его стоимость ввиду дополнительных затрат на правку. Кроме того, при правке детали в ней могут появиться трещины, что отразится на прочности соединения. Поэтому виды соединения, дающие минимальное коробление деталей при обеспечении других требований к ремонтируемой детали, являются наиболее желательными технологическими процессами. Со способом нагрева и используемым припоеm неразрывно связан процесс удаления окисной пленки.

Флюсы при газопламенной пайке целесообразно наносить до нагрева. Порошкообразный флюс при пайке сдувается газовым пламенем, поэтому флюс перед употреблением разводят обычно водой до кащеобразного состояния. Целесообразно нанести флюс заранее и высушить. При нагревании изделия вода испаряется, и в дальнейшем флюс превращается в жидкость и защищает шов от окисления. Если важный флюс в процессе нагревания вызывает окисление металла, в качестве раз-

бавителя следует применять спирт. Иногда для пайки металлов, чувствительных к воздействию воды, применяют порошкообразный флюс. Однако в таких случаях пламя следует направлять сначала не на флюс, а на близлежащий участок для разогрева паяемого места за счет теплопроводности металла. При этом флюс прилипает к горячему металлу и не сдувается пламенем, когда им нагревается непосредственно шов.

Менее совершенным способом применения флюса является нанесение его на предварительно нагретый участок. В этом случае поверхность шва в процессе нагревания покрывается значительным слоем окалины и очистка его, особенно в труднодоступных местах (в зазорах), флюсом значительно затрудняется. Поэтому при всех вариантах пайки газовым пламенем поверхность следует защищать от окисления до нагрева. Флюсом покрывают и прутки припоя. Для этого конец припоя погружают в раствор флюса в холодном состоянии или в порошкообразный флюс после предварительного нагрева прутка припоя пламенем.

Пайку с применением прутка припоя производят после разогрева шва до температуры пайки и плавления флюса. Расплавленный флюс затекает в зазоры между соединяемыми деталями и до введения припоя очищает паяемый участок от окислов.

Применение флюса при газопламенной пайке в отличие от кислородно-ацетиленовой сварки является почти всегда обязательным процессом. Исключение составляет пайка меди припоями, содержащими фосфор.

Сварка сталей, даже конструкционных легированных типов хромоникелевой и хромомолибденовой, производится без флюсов, тогда как пайка этих сталей без флюса никакого результата не дает. Объясняется это тем, что сварка осуществляется при более высокой температуре пламени и окислы металлов удаляются в ходе процесса. При пайке температура пламени относительно низкая, и для удаления окислов паяемых поверхностей восстановительных свойств пламени недостаточно.

Необходимо правильно выбрать номер наконечника. Для пайки материалов с низкой теплопроводностью (например, сталей, особенно легированных) целесообразно применять номер наконечника такой же, как при сварке данного металла. Для материалов с высокой теплопроводностью, как медь и медные сплавы, следует применять более крупные наконечники. При пайке изделий с различной толщиной наконечник выбирается по более массивной детали. Пламя при этом направляется на толстостенную деталь, а тонкостенная деталь нагревается за счет теплопроводности материала. Наконечник с многопламенным мундштуком должен соответствовать по расходу ацетилена одногламенному наконечнику. При пайке малокалорийными газами наконечник выбирают из расчета обеспечения эффективной мощности пламени горелки.

При пайке ацетилено-кислородной горелкой нагрев изделия нужно производить третьей зоной пламени, на расстоянии 15...20 мм от конца ядра, причем в момент введения припоя следует отвести пламя от шва на 30...40 мм, чтобы не вызвать перегрева припоя. Этим применение ацетилено-кислородной смеси при пайке существенно отличается от применения его при сварке, когда нагрев металла производится второй, так называемой сварочной зоной пламени, где имеется максимальная температура (около 3150 °C). Пайка горелкой с многопламенными мундштуками производится более высокотемпературной частью пламени. Высокотемпературная зона пламени применяется также при пайке малокалорийными газами — заменителями ацетилена.

Охлаждение изделия, отремонтированного пайкой, обычно производят на воздухе. В некоторых случаях, например при ремонте пайкой чугунных изделий, целесообразно охлаждение производить медленно (можно деталь зарыть в горячий песок). Особое внимание следует обращать на охлаждение деталей, паянных припоеем с большим интервалом затвердевания. При кристаллизации шовов, паянных такими припоями, может иметь место явление ликвации — неоднородность структуры и химического состава паяного шва. Ликвация может образоваться также вследствие

разницы в удельных массах или температурах плавания различных компонентов сплава, образованного в результате взаимного растворения припоя и основного металла. При этом наиболее тяжелый компонент оседает в нижней части шва. Тугоплавкие кристаллы припоя затвердевают ближе к основному металлу, где охлаждение происходит интенсивнее, чем в центре шва. Неоднородность структуры и химического состава шва создает неоднородность свойств в отдельных его местах, вследствие чего шов может иметь участки с низкой прочностью.

Размеры ликвации вследствие разницы в удельных массах в значительной степени зависят от скорости остывания сплава. Медленное охлаждение паяного изделия увеличивает ликвацию и, наоборот, быстрое охлаждение уменьшает ее. С другой стороны, необходимо учитывать, что скорость охлаждения, как и скорость нагрева, оказывает влияние на коробление изделия. Поэтому режим охлаждения следует устанавливать в каждом конкретном случае отдельно в зависимости от габаритов паяного изделия, его материала и использованного припоя.

*Обработка деталей после пайки* состоит в удалении остатков флюса, слоя обмазки, если она нанесена для защиты поверхности детали от обслуживания, а также в отделке паяного шва.

Остатки флюсов, особенно содержащих галогенные соединения (KF, NaF и др.), вызывают интенсивную коррозию деталей, поэтому они должны быть удалены сразу же после пайки. Для этого руководствуются указаниями, данными в гл. 2. Если применены флюсы, не вызывающие коррозию, то удаление их остатков нужно производить в тех случаях, когда это необходимо для осуществления контроля. Удаление защитной обмазки происходит попутно, когда деталь промывается от флюса. Отделочные работы состоят в удалении излишков припоя (потеки, наплывы), зачистке отдельных частей детали, окислившихся при пайке (если это требуется по техническим условиям) и устранении дефектов шва. Все эти работы выполняются обычно механическим способом.

*Контроль качества пайки и устранение обнаруженного брака* являются завершающими этапами технологического процесса. Методы контроля паяных соединений даны в гл. 5.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акулов А. И., Бельчук Г. А., Демянцевич В. П. Технология и оборудование сварки плавлением. М.: Машиностроение, 1977. 432 с.
2. Воловик Е. А. Справочник по восстановлению деталей. М.: Колос, 1981. 352 с.
3. Восстановление автомобильных деталей с применением пропанбутановой смеси. Алма-Ата: КазНИИНТИ, 1981. 15 с.
4. Восстановление автомобильных деталей с применением газопорошковой наплавки. Типовой технологический процесс. РСТ КазССР 748-8.
5. Геворкян В. Г. Основы сварочного дела. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1985. 168 с.
6. Горюхов В. А., Руденко П. А. Ремонт и восстановление коленчатых валов. М.: Колос, 1978. 348 с.
7. Доценко Н. И. Восстановление автомобильных деталей сваркой и наплавкой. М.: Транспорт, 1972. 352 с.
8. Думов С. И. Технология электрической сварки плавлением. Л.: Машиностроение, 1987. 165 с.
9. Дюмин И. Е., Какуевицкий В. А., Силкин А. С. Современные методы организации и технологии ремонта автомобилей / Под ред. В. А. Какуевицкого. Киев: Техника, 1974. 520 с.
10. Есенберлин Р. Е. Восстановление деталей автомобилей сваркой и наплавкой. М.: Изд-во МАДИ, 1984. 62 с.
11. Есенберлин Р. Е. Пайка металлов. М.: Машгиз, 1960. 180 с.
12. Жук Н. П. Курс теории коррозии. М.: Металлургия, 1976. 472 с.
13. Инструкция на восстановление чугунных автомобильных деталей механизированной сваркой проволокой ПАНЧ-11. М.: Изд-во НИИАТ, 1977. 22 с.
14. Капитальный ремонт автомобилей. Справочник / Под ред. Р. Е. Есенberлина. М.: Транспорт, 1989. 334 с.
15. Клименко Ю. В. Электроконтактная наплавка. М.: Металлургия, 1978. 128 с.
16. Липкинд А. Г., Гринберг Н. И., Ильин А. И. Ремонт автомобиля ЗИЛ-130. Изд. 2-е, перераб и доп. М.: Транспорт, 1978. 358 с.
17. Мотовилин Г. В., Масино М. А., Суворов О. М. Автомобильные материалы. Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: Транспорт, 1989. 464 с.
18. Особенности механической обработки восстанавливаемых деталей // Восстановление деталей и оборудование АПК / Обзорная информация. М.: Изд-во НИИТЭИИТО, 1989.
19. Ремонт автомобилей / Под ред. С. И. Румянцева. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Транспорт, 1986. 326 с.
20. Румянцев С. И., Синельников А. Ф., Штоль Ю. Л. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей. М.: Высшая школа, 1989. 272 с.
21. Сархошьян Г. Н., Маянов В. Н. Ремонт автомобиля ГАЗ-24 "Волга". М.: Транспорт, 1980. 224 с.
22. Сварка в машиностроении. Т. 3/ Под ред. В. А. Винокурова. М.: Машиностроение, 1979. 578 с. Т. 4/ Под ред. Ю. Н. Зорина. М.: Машиностроение, 1979. 512 с.

23. Сварка дуговая сталей, алюминия и титановых сплавов / Методические рекомендации № 191-86. М.: Изд-во ВНИИИМаш, 1986. 70 с.
24. Сварка контактная, точечная шовная сталей, алюминия и титана / Методические рекомендации МР ТЭО-85. М.: Изд-во ВНИИИМаш, 1985. 60 с.
25. Совершенствование организации и технологии ремонта автомобильного транспорта / Методический сборник. Саратов: Изд-во СПИ, 1981. 91 с.
26. Справочник по пайке. Изд. 2-е / Под ред. И. Е. Петрунина. М.: Машиностроение, 1984. 304 с.
27. Справочник по производственному контролю в машиностроении / Под ред. А. К. Кутай. Изд. 3-е, перераб и доп. Л.: Машиностроение, 1979.
28. Справочник технолога: обработка металлов резанием / Под ред. А. А. Попова. М.: Машиностроение. 1988. 736 с.
29. Справочник технолога авторемонтного производства / Под ред. Г. А. Малышева. М.: Транспорт, 1977. 418 с.
30. Справочник технолога-машиностроителя / Под ред. А. Т. Касимовой. Т. 2. М.: Машиностроение, 1986. 400 с.
31. Стеклов О. И. Оновы сварочного производства. М.: Машиностроение, 1981. 160 с.
32. Технология ремонта автомобилей / Под ред. Л. В. Дехтеринского. М.: Транспорт, 1979. 340 с.
33. Технология электрической сварки металлов и сплавов / Под ред. Б. Е. Патона. М.: Машиностроение, 1974. 760 с.
34. Черноиванов В. И., Андреев В. П. Восстановление деталей сельскохозяйственных машин. М.: Колос, 1983. 288 с.
35. Шадричев В. А. Основы технологииавтостроения и ремонт автомобилей. Л.: Машиностроение, 1976. 250 с.
36. Электросварочное оборудование. Каталог. Л.: Изд-во ВПИИСО, 1984. 26 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Г л а в а 1. Физико-химические основы восстановления деталей сваркой, наплавкой и пайкой .....</b>	<b>3</b>
1.1. Химический состав металла шва .....	3
1.2. Образование сварного и паяного швов .....	5
1.3. Структурные изменения в металлах шва и околошовной зоны .....	6
1.4. Деформация деталей при сварке .....	11
1.5. Механические свойства сварных и паяных соединений .....	13
1.6. Износостойкость поверхностей деталей, восстановленных наплавкой или пайкой .....	19
1.7. Коррозия сварных и паяных соединений .....	24
<b>Г л а в а 2. Материалы, применяемые при ремонте деталей сваркой, наплавкой и пайкой .....</b>	<b>26</b>
2.1. Особенности материалов, применяемых для изготовления деталей автомобиля .....	26
2.2. Присадочные материалы .....	27
2.3. Электроды для дуговой сварки .....	32
2.4. Припои .....	40
2.5. Флюсы .....	44
2.6. Защитные газы .....	54
2.7. Горючие газы, используемые для сварочных работ .....	56
<b>Г л а в а 3. Сварочное оборудование ремонтных предприятий .....</b>	<b>58</b>
3.1. Особенности оборудования для сварки и пайки .....	58
3.2. Оборудование для ручной дуговой сварки .....	61
3.3. Оборудование для автоматической наплавки под флюсом .....	70
3.4. Оборудование для сварки в защитных газах .....	74
3.5. Аппараты для электронно-лучевой и лазерной сварки .....	80
3.6. Оборудование для газовой сварки и наплавки .....	86
3.7. Оборудование для электроконтактной сварки и наплавки .....	90
3.8. Оборудование для пайки .....	97
<b>Г л а в а 4. Дефекты, устранимые сваркой, наплавкой и пайкой .....</b>	<b>102</b>
4.1. Типичные дефекты сварных швов .....	102
4.2. Влияние технологических дефектов на качество сварных соединений .....	109
4.3. Дефекты паяных соединений .....	110
4.4. Дефекты деталей, устранимые сваркой, наплавкой и пайкой .....	111
<b>Г л а в а 5. Дуговая сварка стали .....</b>	<b>119</b>
5.1. Свариваемость стали .....	119
5.2. Выходные характеристики процесса сварки .....	121
5.3. Дуговая сварка низкоуглеродистых и низколегированных сталей .....	124
5.4. Сварка низкоуглеродистых и низколегированных сталей в CO <sub>2</sub> .....	128
5.5. Особенности сварки средне- и высокоуглеродистых сталей .....	130
5.6. Восстановление стальных деталей дуговой сваркой .....	134
5.6.1. Заварка трещин .....	134
5.6.2. Подготовка к восстановлению элементов автомобиля, имеющих пробоины, изломы, коррозионные очаги и другие дефекты .....	137
5.6.3. Восстановление рамы .....	138
5.6.4. Восстановление составных частей автомобиля, изготовленных из листовой стали .....	140

5.6.5. Восстановление деталей сцепления и системы управления ..	143
<b>Г л а в а 6. Дуговая наплавка стальных деталей .....</b>	<b>144</b>
6.1. Легирование наплавленного металла .....	144
6.2. Способы наплавки .....	147
6.3. Восстановление стальных деталей дуговой наплавкой .....	150
6.3.1. Наплавка вручную .....	150
6.3.2. Механизированная наплавка под флюсом .....	151
6.3.3. Восстановление наплавкой коленчатых валов .....	153
6.3.4. Восстановление наплавкой деталей мостов, системы управления и коробки передач .....	156
6.4. Наплавка в углекислом газе .....	160
6.5. Вибродуговая наплавка стальных деталей .....	163
<b>Г л а в а 7. Газовая сварка и наплавка стальных деталей .....</b>	<b>172</b>
7.1. Особенности газовой сварки и наплавки стали .....	172
7.2. Восстановление стальных деталей сваркой .....	175
7.3. Восстановление стальных деталей газовой наплавкой .....	176
<b>Г л а в а 8. Сварка и наплавка деталей из алюминиевых и магниевых сплавов .....</b>	<b>178</b>
8.1. Особенности сварки алюминиевых сплавов .....	178
8.2. Аргонно-дуговая сварка .....	180
8.3. Дуговая сварка деталей .....	182
8.4. Газовая сварка .....	183
8.5. Восстановление деталей из алюминиевых сплавов .....	183
8.6. Сварка деталей из магниевых сплавов .....	186
<b>Г л а в а 9. Сварка и наплавка чугунных деталей .....</b>	<b>188</b>
9.1. Особенности сварки чугунных деталей .....	188
9.2. Горячая сварка чугуна .....	189
9.3. Холодная сварка чугуна .....	192
9.4. Восстановление чугунных деталей сваркой .....	197
9.5. Восстановление чугунных деталей наплавкой .....	203
9.6. Вибродуговая наплавка чугунных деталей .....	205
<b>Г л а в а 10. Контактная сварка и наплавка стальных деталей .....</b>	<b>209</b>
10.1. Контактная сварка как способ соединения металлов .....	209
10.2. Восстановление деталей контактной сваркой .....	213
10.3. Восстановление деталей контактной наплавкой .....	216
<b>Г л а в а 11. Новые виды сварки и наплавки .....</b>	<b>219</b>
<b>Г л а в а 12. Пайка .....</b>	<b>223</b>
12.1 Особенности пайки различных металлов .....	223
12.2. Восстановление деталей, изготовленных из стали, чугуна, меди и медных сплавов .....	228
12.3. Восстановление деталей из алюминиевых сплавов .....	231
<b>Г л а в а 13. Упрочнение деталей, отремонтированных сваркой и наплавкой</b>	<b>233</b>
13.1. Способы упрочнения и их назначение .....	233
13.2. Упрочнение деталей, восстановленных сваркой и наплавкой .....	236
<b>Г л а в а 14. Контроль качества сварных и паянных соединений .....</b>	<b>241</b>
14.1. Общий контроль .....	241
14.2. Неразрушающий контроль .....	243
<b>Приложение. Основы технологии пайки металлов .....</b>	<b>247</b>
<b>Список литературы .....</b>	<b>253</b>