

Л. С. Сапиро

# СПРАВОЧНИК СВАРЩИКА



**Л. С. Сапиро**

# **СПРАВОЧНИК СВАРЩИКА**

*Пособие для сварщиков,  
мастеров,  
технологов, конструкторов*

Издание 2-е, переработанное  
и дополненное

**Донецк „Донбас“ 1978**

## Глава I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СВАРКЕ МЕТАЛЛОВ

Процесс получения неразъемного соединения с применением местного нагрева или давления называется сваркой. Первоначальный ее вариант — кузнечная или горновая сварка, получаемая в результате спрессования нагретого металла, со временем был усовершенствован.

В 1802 г. профессор физики Санкт-Петербургской medico-хирургической академии В. В. Петров впервые зажег электрическую дугу, отметил сильное ее световое действие и высокую температуру, что позволило рекомендовать применение электрической дуги для электроосвещения и плавления металлов.

Практическое применение электрической дуги для целей сварки было предложено в 1882 г. русским инженером Н. Н. Бенардосом. В качестве электродов он использовал угольный стержень. Дуга возбуждалась электрической энергией от аккумуляторной батареи.

В 1888 г. инженер Н. Г. Славянов предложил способ дуговой сварки металлов плавящимся металлическим электродом. Этот способ и в настоящее время имеет широкое применение в промышленности, строительстве, при ремонтных работах и т. д.

Внедрению дуговой сварки и наплавки в промышленность способствовали работы Института электросварки имени Е. О. Патона, ЦНИИТмаша, МВТУ имени

Н. Э. Баумана, ВНИИЭСО, ВНИИАвтогенмаша, Ленинградского, Киевского, Свердловского, Челябинского политехнических институтов, а также многих заводов и исследовательских лабораторий.

## 1. КЛАССИФИКАЦИЯ СПОСОБОВ СВАРКИ

Способы сварки металлов разделяют на две группы: сварка плавлением и сварка давлением. К первой группе относятся электродуговая сварка, импульсно-дуговая, лазерная, электрошлаковая, плазменная, электронно-лучевая в вакууме, термитная и газовая. Ко второй группе — контактная, газопрессовая, ультразвуковая, диффузионная в вакууме, трением, холодная сварка, индукционная сварка или токами высокой частоты (т. в. ч.).

**Сварка плавлением.** Электродуговая сварка (ручная, полуавтоматическая, автоматическая) является наиболее распространенной; характеризуется использованием тепла электрической дуги для разогрева и плавления металла.

Импульсно-дуговая сварка характеризуется тем, что сварочный ток подается кратковременными импульсами в «дежурную» сварочную дугу.

Лазерная сварка предусматривает использование фотоэлектронной энергии. Плавление металла осуществляется световым лучом, полученным с помощью специальных устройств (лазеров).

Электрошлаковая сварка происходит в результате плавления основного и присадочного металла за счет тепла, выделяющегося при прохождении электрического тока через расплавленный шлак.

Плазменная сварка — процесс, в основе которого лежит плавление основного и присадочного металла плазменной струей, имеющей температуру до 30 000°С.

Электронно-лучевая сварка в вакууме осуществляется в камерах, имеющих разряжение до  $10^{-4}$ — $10^{-6}$  мм рт. ст. Металл плавится за счет тепла, выделяющегося в результате бомбардировки металла электронами, направленными специальной установкой.

Термитная сварка состоит в следующем. Место соединения формируют огнеупорным материалом. Над соединением устанавливают тигель с термитом (порошок алюминия и окиси железа), при горении которого восстанавливается окись железа и образуется жидкий металл. Заполняя форму, жидкий металл оплавляет кромки свариваемого металла и при остывании образует сварное соединение.

Газовая сварка — процесс, который происходит при нагреве и плавлении основного и присадочного металла за счет тепла газокислородного пламени, имеющего температуру до  $3200^{\circ}\text{C}$ .

Таким образом, все виды сварки плавлением различаются способом получения тепла, необходимого для нагрева и плавления металла.

**Сварка давлением.** Контактная сварка — это расплавление или разогрев до пластического состояния кромок свариваемого металла теплом, полученным при прохождении электрического тока через контактирующие между собой кромки, и последующее сжатие под определенным давлением (стыковая, точечная, роликовая, импульсная или конденсаторная).

Газопрессовая сварка отличается от контактной в основном тем, что свариваемые кромки нагревают многопламенными горелками без использования электрического тока.

Ультразвуковая сварка происходит за счет превращения электрических колебаний в механические высокой частоты. Это превращение сопровождается возникновением в местах соединения металлов высокой температуры и разогревом металла до пластического состоя-

ния, при котором возможно сплавление с применением сжатия.

Диффузионная сварка в вакууме происходит без нагрева, за счет взаимной диффузии частиц металлов соединяемой пары при сжатии.

Сварка трением — соединение металлов за счет тепла, возникающего при трении двух поверхностей свариваемого металла с применением последующего сжатия.

Холодная сварка основана на способности некоторых металлов создавать прочные соединения под высоким давлением, вызывающим пластическую деформацию.

Индукционная сварка (токами высокой частоты) — нагрев свариваемых деталей т. в. ч. до пластического состояния с применением последующего сжатия.

## **2. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА СВАРНЫХ И КОМБИНИРОВАННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

За последние десятилетия достигнуты значительные успехи в области внедрения сварных и комбинированных конструкций, которые уже почти полностью вытеснили клепаные и все больше вытесняют литые и кованные. Например, в современных угольных и горнодобывающих машинах вес сварных и комбинированных узлов составляет около 75% от общего веса машины. Клепаные конструкции практически не применяются.

Этот пример наглядно показывает то огромное значение, которое приобретает сварка металлов в современном машиностроении. Стремление применить сварку диктуется прежде всего технико-экономическими преимуществами ее по сравнению с другими видами соединения металлов, например клепкой, или в ряде случаев с такими способами изготовления, как литье иковка.

Замена клепаных конструкций сварными. Клепка в прошлом наиболее часто использовалась при изготовлении металлических конструкций и отдельных деталей машин из листового и профильного проката. Сейчас клепаные соединения применяются в основном в монтажных стыках и в том случае, когда требуется жестко соединить трудно свариваемые металлы.

Технико-экономические преимущества сварных конструкций перед клепаными рассмотрим на конкретном примере. До 1954 г. на Донецком машиностроительном заводе им. Ленинского комсомола Украины обечайки барабанов шахтных подъемных машин изготавливались клепаными, затем по предложению автора были заменены сварными (рис. 1, а и 1, б). Обечайка барабана со-

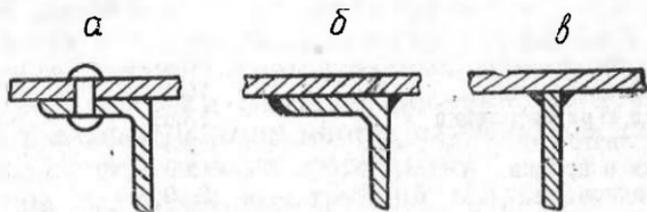


Рис. 1. Соединение ребер жесткости с обечайкой барабана шахтной подъемной машины:  
 а — клепка; б — сварка без изменения конструктивных форм; в — сварка с изменением конструктивных форм

стояла из двух полуобечайек и представляла собой свальцованный цилиндр (диаметр 2000, 2500 и 3000 мм, толщина листа 16 мм) с ребрами жесткости. В клепаном варианте и первом сварном ребра жесткости изготавливались из уголков. С изменением конструкции ребер их начали изготавливать из листов, вырезанных автоматической газовой резкой (рис. 1, в). Это дает дополнительную экономию горячекатаного металла и снижение трудоемкости.

Сварные обечайки не требуют сверловки и рассверловки более 500 отверстий под заклепки, что трудоемко

и ослабляет расчетное сечение конструкции, исключает процесс клепки и т. д.

В табл. 1 наглядно показано изменение трудоемкости изготовления одной обечайки (двух полуобечаек) по операциям в нормо-часах при переходе от клепаной конструкции к сварной.

Таблица 1. Трудоемкость изготовления обечайки барабана шахтной подъемной машины

Операции	Трудоемкость операций при изготовлении обечайки, нормо-ч	
	клепаной	сварной
Наметка	5,9	3,8
Разметка	4,8	—
Резка на ножницах	2,6	3,2
Резка на прессе	0,6	—
Сверловка на станке	10,0	7,2
Сверловка и рассверловка	13,6	—
Строжка листов	3,5	—
Вальцовка и правка	2,0	2,4
Гибка уголков	27,0	—
Ручная газовая резка	0,6	—
Автоматическая газовая резка	—	5,2
Обрубка	0,4	2,4
Сборка обечайки	36,0	28,0
Правка ручная	0,5	—
Электроприхватка	1,6	4,5
Сварка	7,8	7,0
Зачистка швов	1,4	3,8
Клепка	17,2	—
Итого	135,5	67,5

Если трудоемкость изготовления клепаной обечайки составляла 135 нормо-ч, то сварной — всего 67 нормо-ч, т. е. вдвое меньше. Снижение трудоемкости на 25% достигнуто за счет применения сварки вместо клепки, а остальное — за счет изменения конструкции и технологии изготовления ребер жесткости: гибка уголков на

вальцах заменена автоматической газовой резкой листового металла и т. д. В результате, если процесс изготовления клепаной обечайки состоял из 17 операций, то сварной — из 10. В изготовлении клепаной обечайки принимало участие 25 рабочих 16 различных профессий, сварной — 12 рабочих 10 профессий, т. е. высвободилось 13 рабочих шести различных профессий.

Замена клепаных обечаек барабанов сварными резко повысила культуру производства: в цехе не слышно стука клепальных молотков, исчезли камельки для нагрева заклепок, работавшие на коксе, ликвидирован весьма тяжелый физический труд клепальщиков и т. д.

Таким образом, независимо от изменения или сохранения конструктивных форм прежними замена клепки сваркой обеспечивает снижение трудоемкости и получение большого технико-экономического эффекта.

Сварные детали и узлы шахтных лебедок и подъемных машин по своим эксплуатационным качествам не уступают клепаным, а во многих случаях, как показала практика, значительно их превосходят.

Замена клепаных конструкций сварными получила широкое распространение в 30-х годах на железнодорожном транспорте, в судостроении и строительстве, при изготовлении котлов и различных других сосудов, работающих под давлением, где, как известно, к неразъемным соединениям предъявляются особенно высокие требования.

Велико по-прежнему применение клепаных соединений в авиации. Это связано с малой толщиной металла и возникновением при сварке деформаций, превышающих допустимые пределы.

Еще одним характерным примером применения клепаных соединений могут служить конструкции, у которых режущие органы выполняют из легированных и высоколегированных сталей, а основание — из обычных. Например, известные всем сучкорезы изготавливают из

сталей двух марок: ножи — из закаленной и плохо сваривающейся стали 9ХФ, державки — из хорошо сваривающейся низкоуглеродистой стали. Надежное соединение обеспечивается клепкой.

Клепка применяется также при соединении плохо сваривающихся сталей, обладающих пружинящими свойствами (тормозные ленты и т. д.).

Замена кованных и литых конструкций сварными, изготовление комбинированных конструкций. Ковка и литье являются весьма трудоемкими процессами производства, требующими много ручного труда. Особенно это характерно для индивидуального и мелкосерийного производства, где вспомогательные работы слабо механизированы.

При замене кованных и литых деталей сварными во многих случаях удается достичь получения экономического эффекта. Но внедрение сварки вместоковки и литья при изготовлении деталей машин — задача более сложная, чем, например, при замене клепки сваркой. Если при замене клепаной конструкции сварной всегда достигается значительный экономический эффект, то при замене кованой или литой конструкции величина экономического эффекта зависит от особенностей самой конструкции и технологической разработки, от характера производства и его технических возможностей.

Внедрение сварных конструкций вместо кованных и литых эффективно, если при этом уменьшается механическая обработка, устраняются трудоемкие процессы и снижается вес самой конструкции. Выполнение этих условий часто связано с рядом трудностей и не всегда возможно.

Иногда рационально применять комбинированные конструкции, сочетающие в себе прокат, литье и поковки. Если при изготовлении отдельных частей конструкции применяются ковка (сварно-кованные конструкции) или литье (сварно-литые конструкции), чтобы достичь доста-

точной точности размеров сопрягаемых поверхностей, то следует учитывать и дополнительную механическую обработку этих поверхностей. Когда сваркой заменяют ковку или литье полностью или частично, а при этом значительно увеличивается механическая обработка, экономический эффект от внедрения сварных конструкций может резко снизиться или отсутствовать. Но если при изготовлении отдельных элементов сварной конструкции будут использованы сварно-штампованные конструкции, то экономические преимущества сварки станут более очевидными, так как точность размеров и чистота поверхностей штамповок вполне достаточны для применения сварки без предварительной механической обработки заготовок. Следует учесть, что для штамповки заготовок больших размеров требуется мощное кузнечно-прессовое оборудование, хорошо развитое инструментальное хозяйство и дорогие штампы.

Как показала практика, во внедрении полностью сварных конструкций большую роль сыграла автоматическая газовая резка, которая позволяет обойтись без механической обработки при достаточной производительности, точности размеров и чистоте поверхностей. Рассмотрим ряд примеров.

На протяжении нескольких лет для шахтных подъемных машин вилку изготавливали ковальной (рис. 2, а). Материал вилки — сталь марки Ст3, чистая масса 12,9 кг, масса ковальной заготовки 22 кг. Изготовление вилки состояло из шести операций: ковка под молотом, точка хвостовика с нарезкой резьбы, разметка отверстия и паза, долбежка паза, фрезеровка скошенной части паза и сверловка. Общая трудоемкость изготовления составляла 12,4 нормо-ч. Ковка под молотом — операция трудоемкая, требовала завышенные припуски (резкие переходные сечения, глухой паз и т. д.), что усложняло механическую обработку и приводило к большой потере металла в стружку.

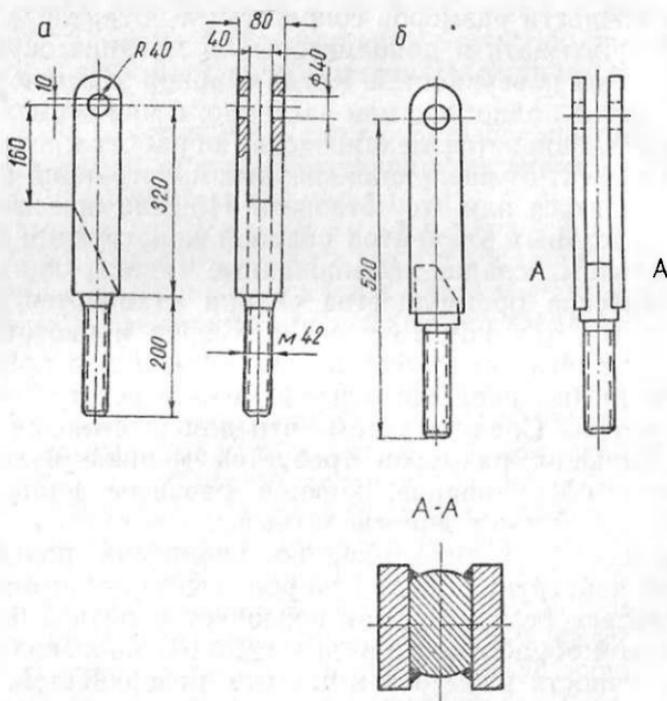


Рис. 2. Конструкция вилки стопора шахтной подъемной машины:

*а* — ковальной; *б* — сварной

Вилка сварной конструкции состоит из трех частей: хвостовика и двух планок (рис. 2, *б*). Хвостовик из круглого проката размечают и строгают; планки изготавливают с применением автоматической газовой резки на автомате АСШ-2. Толщина листовой заготовки составляет 20 мм. В большинстве случаев для вырезки планок используют отходы металла. После газовой резки планки зачищают по контуру пневматическим зубилом и подают на сборку и сварку.

Трудоемкость изготовления вилки по и т.д. расхода на сварку указана по операциям в табл. 2, из которой видно, что изготовление сварной вилки позволило снизить трудоемкость на 7,7 ч, или более чем в два раза. Поскольку на подъемную машину идет две вилки, трудоемкость изготовления машины снизилась на 15,4 нормо-ч.

Таблица 2. Трудоемкость изготовления вилки и шахтной подъемной машины

Операция	Трудоемкость изготовления вилки, нормо-ч	
	кованой	сварной
Ковка	3,5	—
Точка	2,7	2
Строжка	—	1
Разметка	0,2	0,2
Долбежка	3,5	—
Фрезеровка	2,2	—
Сверловка	0,3	0,3
Автоматическая газовая резка	—	0,3
Зачистка кромок	—	0,2
Сборка	—	0,3
Электроприхватка	—	0,1
Сварка	—	0,2
Зачистка швов	—	0,1
Итого	12,4	4,7

Характерной особенностью сварной конструкции является то, что в ней не требуется долбежка паза, внешний вид сварных вилок намного лучше, чем кованых. В частности, полукруг планок при автоматической газовой резке по копиру имеет более правильную форму, чем после свободнойковки под молотом.

Основное снижение трудоемкости произошло за счет ликвидации операцийковки, долбежки и фрезеровки. Стоимость эксплуатации и амортизации газорезательного

автомата и сварочного трансформатора во много раз меньше, чем парового молота, фрезерных и долбежных станков.

Таким образом, внедрение сварных вилок вместо кованных дало возможность резко снизить трудоемкость, значительно разгрузить металлорежущие станки, сократить расход металла и снизить общие расходы производства по другим статьям.

Рассмотрим пример замены литых конструкций сварными. Амортизация моделей, шпательных ящиков, формовка и изготовление шишек, приготовление формовочных смесей, подготовка и загрузка шихты в печь, плавка и разливка металла, выбивка из опок или земляных форм, очистка литья от горелой формовочной земли и от пригара, отрезка прибылей и литников, неизбежные потери от брака — все это делает литейный процесс трудоемким, а литье дорогим. Стоимость одной тонны стального литья в условиях индивидуального и серийного производства в среднем в три раза дороже проката. Кроме того, масса литых конструкций всегда больше, чем сварных, так как размеры литой конструкции часто завышаются по технологическим соображениям (во избежание резких переходов), увеличивается толщина тонких стенок и т. д.

Стремление заменить литые конструкции сварными из проката обусловлено требованиями снижения трудоемкости, массы самой конструкции и уменьшения брака. Возможность получения экономического эффекта и его размер зависят как от самой конструкции, так и от технологии ее изготовления.

Тормозные балки шахтных лебедок в довоенные годы изготавливали клепаными из листового и профильного проката, затем были разработаны два принципиально различных варианта их изготовления: из литой заготовки и сварно-кованой. Полностью литую конструкцию балки (рис. 3, а) массой в 130 кг отливали из стали мар-

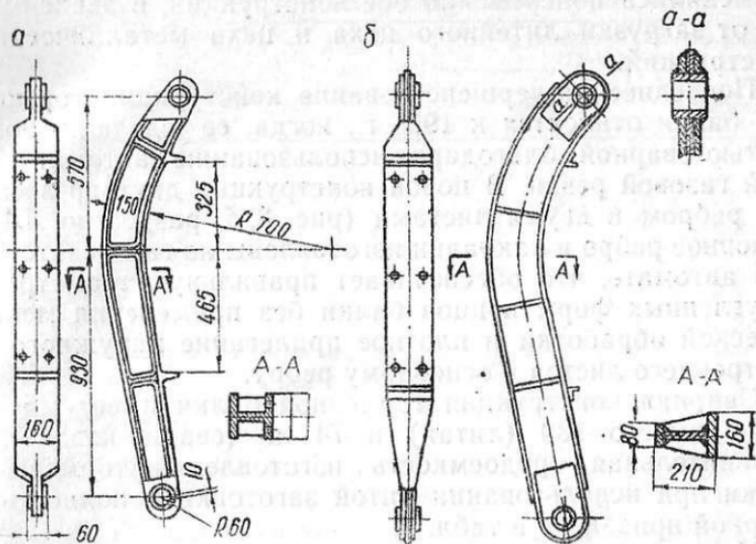


Рис. 3. Конструкция тормозной балки шахтной лебедки типа БЛ и 2БЛ:

а — литой; б — сварной

ки Ст35Л. С целью замены литой заготовки заготовкой из проката в качестве основного элемента конструкции был принят двутавр. Двутавр подвергался кузнечной операции — гибке в горячем состоянии, затем к нему приваривали заготовки из листового проката.

Механическая обработка сварно-кованой заготовки была несколько проще, чем литой, масса балки составляла только 74 кг (литой — 130 кг). Но наиболее трудоемкая кузнечная операция — гибка двутавра с нагревом на горне — полностью поглощала экономический эффект, полученный от внедрения сварки. В результате себестоимость литой тормозной балки и сварно-кованой практически была одинаковой. Поэтому долгое время

применялись попеременно обе конструкции, в зависимости от загрузки литейного цеха и цеха металлических конструкций.

Последнее усовершенствование конструкции тормозной балки относится к 1955 г., когда ее сделали полностью сварной благодаря использованию автоматической газовой резки. В новой конструкции двутавр заменен ребром и двумя листами (рис. 3, б, разрез по АА). Основное ребро и накладки изготовлены на газорезательном автомате, что обеспечивает правильную геометрию скругленных форм концов балки без применения механической обработки и плотное прилегание наружного и внутреннего листов к основному ребру.

Сварная конструкция тормозной балки имеет массу 57 кг вместо 130 (литая) и 74 кг (сварно-кованая). Сравнительная трудоемкость изготовления тормозной балки при использовании литой заготовки и полностью сварной приведена в табл. 3.

Применение проката, который примерно в три раза дешевле, чем стальное литье, и уменьшение массы самой балки сократили стоимость расходуемого металла почти в шесть раз. Применение автоматической газовой резки дало также возможность улучшить вид изделия за счет получения овальных профилей заготовок правильной геометрической формы. Если к этому добавить полное устранение брака, который имел место при изготовлении литой заготовки, то экономический эффект будет еще более значительным.

Проанализируем целесообразность изготовления сварно-литой конструкции барабана маневровой лебедки (рис. 4, а). Отметим, что сварно-литая (комбинированная) конструкция барабана, предусмотренная при проектировании лебедки, просуществовала в течение трех лет и была заменена полностью сварной.

Ступица барабана лебедки выполнена литой, диски вырезаны из листового проката толщиной 20 мм. Ступи-

Таблица 3. Трудоемкость изготовления тормозной балки

Операции	Трудоемкость изготовления балки, нормо-ч	
	литой	сварной
Формовка	15	—
Обрубка	5	—
Наметка	—	0,3
Резка на ножницах	—	0,5
Сверловка	—	0,1
Вальцовка	—	0,3
Гибка	—	0,3
Автоматическая газовая резка	—	0,8
Обрубка	—	0,4
Сборка	—	2,5
Электроприхватка	—	1,0
Сварка	—	3,3
Зачистка швов	—	0,5
Резка на пиле	—	0,2
Разметка	0,3	0,3
Сверловка	0,2	0,2
Сверловка и рассверловка	—	1,5
Расточка	3	—
Итого	23,5	12,2

цы приваривали к дискам двумя кольцевыми швами: угловым и стыковым. Отливали их в литейном цехе и после отрезки прибылей и очистки подавали в механический цех для предварительной обработки сопрягаемых мест. Диски вырезали в цехе металлических конструкций газовой резкой, затем передавали в механический для обработки сопрягаемого отверстия. После механической обработки ступица и диски поступали в цех металлических конструкций для сборки и сварки.

Сварно-литая конструкция перед полностью литой имеет следующие преимущества:

- толщина дисков из проката на 30—40% меньше;
- отливка ступицы не требует сложной модели;

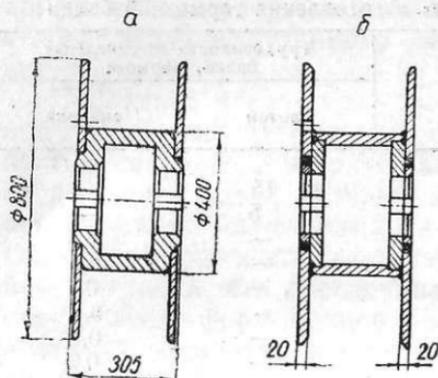


Рис. 4. Конструкция барабана маневровой лебедки типа ЛМГ:  
 а — сварно-литой; б — сварной

формовка ступицы значительно проще, чем формовка всего барабана;

дорогостоящей жидкой стали и формовочных материалов расходуется значительно меньше;

трудоемкость по очистке литья ниже;

уменьшается возможность появления брака по причине отклонения размеров, перекосов, недоливов и т. д.

Нужно, однако, заметить, что сложная коопе-

рация между цехами и, особенно, непредвиденные задержки литых ступиц на отдельных этапах ее изготовления (неисправность модели или брак в литейном цехе, большая загрузка обрубного участка или механического цеха и т. д.) весьма часто ставили под угрозу выполнение производственной программы. Иногда получалось так, что диски в цехе металлических конструкций готовы к сборке, а ступицы еще находятся в изготовлении. Таким образом, наряду с преимуществами сварно-литой конструкции (по сравнению с полностью литой) она имеет существенный недостаток, который вызван сложной межцеховой кооперацией, дополнительной транспортировкой, вынужденными задержками производства. Совершенно очевидно, что при внедрении полностью сварной конструкции барабана не только отпадают трудоемкие операции, связанные с производством литья, уменьшается масса изделия и снижается его себестоимость, но также уменьшается взаимозависимость цехов.

Сварная конструкция, которая внедрена и выпускается в настоящее время, показана на рис. 4, б. Как видно

из рисунка, роль ступицы в новой конструкции выполняют два наружных и два внутренних диска. При такой конструкции барабан полностью изготавливается в цехе мегаллических конструкций из проката без применения литых или кованных деталей. Внутренние диски крепятся к обечайке с помощью сварных «замковых» соединений, наружные соединяются с обечайкой угловыми швами и с внутренними дисками — четырьмя электрозаклепками. Все диски изготавливают из листового проката толщиной 20 мм. Как по наружному диаметру, так и по внутреннему предусмотрен припуск на механическую обработку — 6—8 мм на сторону. Перед сборкой внутренние диски точат по наружному диаметру для получения необходимого размера и снятия фасок под сварку.

Сборку и сварку производят в такой последовательности: собирают и сваривают полуавтоматической сваркой внутренние диски с обечайкой, затем устанавливают наружные диски и закрепляют их сваркой (угловые швы и электрозаклепки). Окончательная механическая обработка барабана выполняется после полной сборки и сварки.

При внедрении сварной конструкции барабана вместо сварно-литой масса барабана уменьшилась на 20%, себестоимость снижена на 30%, полностью ликвидированы трудоемкие литейные операции и брак литейного производства, улучшилось планирование работы цеха металлических конструкций.

Таким образом, замена в ряде случаев литых конструкций сварно-литыми или сварными дает возможность снизить трудоемкость изготовления, уменьшить массу конструкции, снизить или ликвидировать полностью литейный брак и повысить качество выпускаемой продукции.

## Глава II. ПРИМЕНЯЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Качество сварного шва определяется технологией процесса сварки, применяемыми материалами и т. д. Поэтому составление технологического процесса сварки включает выбор сварочной проволоки, электродов, флюсов, защитных газов.

### 1. ПРОВОЛОКИ ДЛЯ СВАРКИ И НАПЛАВКИ

Для сварки плавящимися электродами и наплавки применяются:

проволока стальная сварочная (ГОСТ 2246—70\*);

проволока стальная наплавочная (10543—75);

проволока сварочная из алюминия и алюминиевых сплавов (ГОСТ 7871—63);

прутки чугунные для сварки и наплавки (ГОСТ 2671—70);

порошковая проволока (по техническим условиям);

голая сплошная легированная проволока (по техническим условиям).

Проволоку стальную сварочную применяют при изготовлении покрытых электродов для ручной дуговой сварки, для автоматической и полуавтоматической сварки под флюсом и в среде защитных газов, а также в качестве присадочного металла при газовой сварке, аргонодуговой и других видах сварки.

Проволока стальная сварочная выпускается 77 марок, из которых 6 относятся к низкоуглеродистым, 30 — к легированным и 41 — к высоколегированным проволокам. Номинальный диаметр проволоки изменяется от 0,3 до 12 мм (0,3; 0,5; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0; 12,0).

По марке проволоки можно судить о ее химическом составе согласно условному обозначению содержания основных элементов в стандартах на марки стали (таб-

лицы 4 и 5). Аналогично расшифровывается тип электрода, гарантирующий химический состав металла шва.

Таблица 4. Условное обозначение элементов в марках сталей

Химический элемент и его обозначение	Условное обозначение элемента в марках сталей
Углерод	С
Марганец	Mn
Кремний	Si
Хром	Cr
Никель	Ni
Медь	Cu
Молибден	Mo
Вольфрам	W
Ванадий	V
Алюминий	Al
Титан	Ti
Азот	N
Бор	B
Кобальт	Co
Ниобий	Nb

После букв Св (сварочная) стоят цифры, которые показывают среднее или примерное содержание углерода в сотых долях процента, буквы и цифры показывают среднее содержание того или иного элемента в процентах.

Наибольшее распространение в промышленности получили низкоуглеродистые проволоки Св-08, Св-08А, Св-08ГА, Св-10ГА и низколегированная Св-08Г2С. Следует заметить, что есть еще сварочная проволока Св-08АА, которая отличается от проволоки Св-08А более низким содержанием серы и фосфора (по 0,020%). Буква А на конце условных обозначений марок низкоуглеродистой и низколегированной проволоки указывает на повышенную чистоту металла по содержанию серы и

Таблица 5. Проволока стальные оцинкованная (ГОСТ 2746—307)

Марка	Свойства проволоки, в зависимости от марки, в						Фасон Ф
	углерод	кремний	марганец	фосфор	сера	цинк	
<b>Швейцарского производства проволока</b>							
Св 08	0, 0	0,03	0,40—0,60	0, 0	0,30	0,040	0,040
Св 08 А	0,10	0,03	0,40—0,60	0,12	0,25	0,030	0,030
Св 08 А	0, 0	0,03	0,40—0,60	0, 0	0,25	0,020	0,020
Св 08 А	0, 0	0,03	0,40—1,10	0, 0	0,25	0,025	0,030
Св 10 А	0, 2	0,03	1, 0—1,40	0,20	0,30	0,025	0,030
Св 10 2	0,12	0,03	1,40—1,90	0,10	0,30	0,030	0,030
<b>Доминиканская проволока</b>							
Св 08ГС	0, 0	0,60—0,85	1, 0—1,70	0,20	0,2	0,025	0,030
Св 12ГС	0,4	0,60—0,90	0,80—1,50	0,20	0,3	0,025	0,030
Св-08Г2	0,05—0, 1	0, 0—0,95	1,80—2,00	0,20	0,30	0,025	0,030
<b>Виско-селектро проволока</b>							
Св 12Х13	0,09	0,14	0,30	0,10	0,60	0,05	0,030
Св 06Х19 9Т	0,08	0,40—0,60	2,00—2,50	0—20,00	8,0—10,0	0,05	0,030
Св 07Х25 13	0,09	0,50—0,60	2,00—2,50	0—26,50	12,00—14,00	0,08	0,025
Св 13Х25 18	0,15	0,50	2,00—2,50	0—26,50	17,00—20,00	0,05	0,025

Примечание: В проволоке Св 08ХСГТ содержание цинка 12,5—13,5% (1).

фосфора. Проволока Св-08А имеет пониженное содержание серы и фосфора по сравнению с проволокой Св-08, а Св-08АА — по сравнению с проволокой Св-08А (см. табл. 5).

Пример условного обозначения проволоки Св-08А диаметром 2 мм: проволока 2 Св-08А ГОСТ 2246—70\*.

Назначение проволоки должно оговариваться в заказе. Если проволока предназначена для изготовления электродов, то она условно обозначается с буквой Э (электрод): проволока 2 Св-08А-Э ГОСТ 2246—70\*.

По виду поверхности низкоуглеродистая и легированная проволока подразделяется на неомедненную и омедненную (0). Проволока сварочная диаметром 1,6 мм, марки Св-08Г2С, предназначенная для сварки или наплавки с омедненной поверхностью, обозначается: проволока 1,6 Св-08Г2С-0 ГОСТ 2246—70\*.

Если сварочная проволока по требованию заказчика выплавлена электрошлаковым (Ш) или вакуумно-дуговым (ВД) переплавом или в вакуумно-индукционных печах (ВИ), то в обозначение проволоки вводятся соответствующие указания (Ш, ВД, ВИ). Поэтому проволока сварочная диаметром 2,5 мм, марки Св-08ХГСМФА, предназначенная для изготовления электродов, из стали, выплавленной в вакуумно-индукционной печи, с омедненной поверхностью обозначается: проволока 2,5 Св-08ХГСМФА-ВИ-Э-0 ГОСТ 2246—70\*.

Указанные проволоки выпускают в мотках массой до 80 кг каждый. Внутренний диаметр мотка в зависимости от диаметра проволоки изменяется от 150 до 750 мм. К каждому мотку прикрепляют бирку с указанием наименования или товарного знака предприятия-изготовителя, условного обозначения проволоки, номера партии. Без бирки проволоку применять для целей сварки нельзя.

Проволока стальная наплавочная (ГОСТ 10543—75) предназначена для механизированной электродуговой наплавки. Диаметр ее изменяется от 0,3 до 8 мм (0,3; 0,5; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 6,5; 8,0). Проволока разделяется на три группы: углеродистая 9 марок (Нп-30, Нп-65 и т. д.), легированная 11 марок (Нп-30ХГСА, Нп-5ХНМ и др.) и высоколегированная 10 марок (Нп-20Х14, Нп-30Х13 и т. д.). Содержание углерода в этих проволоках изменяется от 0,22 до 1,2%, марганца — от 0,5 до 14,5%, кремния — от 0,17 до 1,2%, хрома — от 0,25 до 23,0%. Индекс Нп обозначает наплавочная. Пример условного обозначения проволоки Нп-30ХГСА диаметром 3 мм: проволока 3Нп-30ХГСА ГОСТ 10543—75. Используются наплавочные проволоки для восстановления изношенных осей, валов, шпинделей, опорных катков, колес и других подобных деталей, а также для наплавки вновь изготавливаемых деталей с целью экономии легированных сталей (наплавка штампов, ножей и т. д.). Состав некоторых наплавочных проволок приведен в табл. 6, примерная твердость и назначение наплавленного металла — в табл. 7.

Порошковые проволоки отличаются от проволок сплошного сечения тем, что они состоят из стальной оболочки и сердечника. Сердечник (заполнение) состоит из различных измельченных компонентов, назначение которых такое же, как и основных компонентов электродных покрытий (шлаковая защита, газовая, легирование, раскисление, повышение стабильности горения дуги). Краткая характеристика и назначение сварочных порошковых проволок приведены в табл. 8.

Сварку порошковыми проволоками следует вести на постоянном токе обратной полярности от источника с жесткой характеристикой. Все проволоки типа ПП-АН, кроме ПП-АН1, после длительного хранения необходимо прокалить при 230—250°C, проволоки ПП-1ДСК и

ПП-2ДСК — при 150—200°С. Проволока ПП-АН1, имеющая в сердечнике органические вещества, прокатке не подлежит.

Применяют также порошковые проволоки для наплавки (ток постоянный, полярность обратная): ПП-У15Х12М, ПП-У12Х12В1Ф, ПП-У20Х12В1Ф, ПП-3Х4В3Ф, ПП-6Х3В10, ПП-Г13 и др. Марка этих проволок характеризует состав наплавленного металла согласно табл. 4. Кроме того, имеются проволоки ПП-Р13 (наплавка быстрорежущей стали с повышенным содержанием вольфрама) и типа ППЧ (наплавка чугуна): ППЧ-1, ППЧ-2, ППЧ-3.

Проволока сварочная из алюминия и алюминиевых сплавов согласно ГОСТ 7871—63 выпускается следующих диаметров, мм: 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,5; 2,8; 3,0; 3,2; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 7,0; 8,0; 9,0; 10,0; 11,0; 12,0 и марок: СВА97, СВА5С, СВАМц, СВАМг3, СВАМг5, СВАМг6, СВАМг7, СВАК3, СВАК5, СВАК10, СВАК12.

Пример условного обозначения сварочной проволоки диаметром 2 мм из алюминиевого сплава АМц: проволока 2СВАМц ГОСТ 7871—63.

Прутки чугунные для сварки и наплавки согласно ГОСТ 2671—70 в зависимости от назначения разделяют на следующие марки:

А — для горячей газовой сварки;

Б — для газовой сварки с местным нагревом и для электродных стержней;

НЧ-1 — для низкотемпературной газовой сварки тонкостенных отливок;

НЧ-2 — для низкотемпературной газовой сварки толстостенных отливок;

БЧ и ХЧ — для износостойкой наплавки.

Размеры прутков всех марок, мм: диаметры 4 (длина 250), 6 (350), 8—10 и 12—16 (450).

Таблица 6. Проволока стальная

Содержание элементов,

углерод	марганец	кремний
---------	----------	---------

Углерод

0,22—0,30	0,50—0,80	0,17—0,37
0,27—0,35	0,50—0,80	0,17—0,37
0,32—0,40	0,50—0,80	0,17—0,37
0,35—0,45	0,50—0,80	0,17—0,37
0,42—0,50	0,50—0,80	0,17—0,37
0,45—0,55	0,50—0,80	0,17—0,37
0,60—0,70	0,50—0,80	0,17—0,37
0,75—0,85	0,50—0,80	0,17—0,37
0,82—0,90	0,50—0,80	0,17—0,37

Легиро

0,35—0,45	0,70—1,00	0,17—0,37
0,45—0,56	0,70—1,00	0,17—0,37
0,60—0,70	0,90—1,20	0,17—0,37
0,27—0,35	0,80—1,10	0,90—1,20
0,27—0,35	0,40—0,70	0,20—0,50
0,50—0,60	0,50—0,80	0,35
0,46—0,54	0,50—0,80	0,17—0,37
0,95—1,10	0,15—0,40	0,15—0,35

Высоколег

0,80	0,80
0,80	0,80
0,80	0,80
12,5—14,5	0,40
1,50	1,00

и а н е. В проволоке Нп-5ХНМ—0,15—0,30%

наплавочная (ГОСТ 10543—75)

не более или в пределах, %

хром	никель	сера	фосфор
------	--------	------	--------

листая

0,25	0,30	0,040	0,040
0,25	0,30	0,040	0,040
0,25	0,30	0,040	0,040
0,25	0,30	0,040	0,040
0,25	0,30	0,040	0,040
0,25	0,30	0,040	0,040
0,25	0,30	0,040	0,040
0,25	0,30	0,040	0,040

ванная

0,30	0,30	0,040	0,040
0,30	0,30	0,040	0,040
0,30	0,30	0,040	0,040
0,80—1,10	0,40	0,030	0,040
4,0—6,0	0,40	0,040	0,040
0,50—0,80	1,40—1,80	0,030	0,030
0,80—1,10	0,40	0,030	0,040
1,30—1,65	0,35	0,030	0,030

рованная

13,0—15,0	0,60	0,030	0,035
12,0—14,0	0,60	0,030	0,035
12,0—14,0	0,60	0,030	0,035
0,60	0,60	0,030	0,035
15,0—18,0	55,0—61,0	0,025	0,035

молибдена (М). Нп-50ХФА — 0,10—0,20% ванадия (Ф).

**Т а б л и ц а 7. Твердость и примерное назначение металла,  
наплавленного проволокой (ГОСТ 10543—75)**

Марка проволоки	Ориентировочная твердость наплавленного металла	Примерное назначение [наплаваемые изделия]
<b>Углеродистая</b>		
Нп-25	НВ 160—220	Оси, шпиндели, валы
Нп-30	НВ 160—220	То же
Нп-35	НВ 160—220	»
Нп-40	НВ 170—230	»
Нп-45	НВ 170—230	»
Нп-50	НВ 180—240	Натяжные колеса, скаты теле- жек, опорные ролики
Нп-65	НВ 220—300	Опорные ролики, оси
Нп-80	НВ 260—340	Коленчатые валы, крестовины карданов
<b>Легированная</b>		
Нп-40Г	НВ 180—240	Оси, шпиндели, ролики, валы
Нп-50Г	НВ 200—270	Натяжные колеса, опорные ро- лики гусеничных машин
Нп-65Г	НВ 230—310	Крановые колеса, оси опорных роликов
Нп-30ХГСА	НВ 220—300	Обжимные прокатные валки, крановые колеса
Нп-30Х5	HRC 37—42	Прокатные валки сортопрокат- ных станов
Нп-40Х3Г2МФ	HRC 38—44	Детали, испытывающие удары и абразивный износ
Нп-40Х2Г2М	HRC 54—56 после закалки	Детали машин, работающих с динамическими нагрузками — коленчатые валы, поворотные кулаки, оси опорных катков
Нп-50ХНМ	HRC 40—50	Ковочные и вырубные штампы горячей штамповки, валки ко- вочных машин

Марка проволоки	Ориентировочная твердость наплавленного металла	Примерное назначение [наплавляемые изделия]
Нп-50ХФА	HRC 43—50	Шлицевые валы, коленчатые валы двигателей внутреннего сгорания
Нп-50Х6ФМС	HRC 42—48	Валки трубопрокатных и сортопрокатных станов, обжимные прокатные валки, штампы горячей штамповки
Нп-105Х	HRC 32—38	Обрезные штампы холодной штамповки, валы смесителей

#### Высоколегированная

Нп-20Х14	HRC 32—38	Уплотнительные поверхности движков для пара и воды
Нп-30Х13	HRC 38—45	Плунжеры гидропрессов, шейки коленчатых валов, штампы
Нп-30Х10Г10Т	HB 200—220	Лопасты гидротурбин, гребные винты, гребные валы морских судов
Нп-40Х13	HRC 45—52	Опорные ролики тракторов и экскаваторов, детали транспортеров
Нп-45Х4В3Ф	HRC 38—45	Валки листопрокатных и сортопрокатных станов, штампы горячей штамповки
Нп-45Х2В8Т	HRC 40—46	Ножи для резки горячего металла, прессовый инструмент
Нп-60Х3В10Ф	HRC 42—50	Валки трубопрокатных и сортопрокатных станов, штампы горячей штамповки
Нп-Г13А	HB 220—280	Железнодорожные крестовины, щеки дробилок, зубья ковшей
Нп-Х15Н60	HB 180—220	Детали реторт и печей, работающих при высокой температуре
Нп-Х20Н80Т	HB 180—220	Выхлопные клапаны автомобильных двигателей

Таблица 8. Краткая характеристика сварочных порошковых проволок и их назначение

Марка	Тип электрода, которому соответствует проволока	Назначение
ПП-АН1	Э46	Полуавтоматическая и автоматическая сварка низкоуглеродистых сталей толщиной 4 мм и выше
ПП-АН3	Э50А	Полуавтоматическая и автоматическая сварка низкоуглеродистых и низколегированных сталей
ПП-АН4	Э50А	Полуавтоматическая и автоматическая сварка в углекислом газе ответственных конструкций из низкоуглеродистых и низколегированных сталей
ПП-АН5	Э42	Автоматическая сварка в углекислом газе вертикальных швов с принудительным формированием низкоуглеродистых и низколегированных сталей
ПП-АН6	Э42	Автоматическая приварка трубок к трубным решеткам с помощью аппарата А946 открытой дугой
ПП-АН7	Э50А	Полуавтоматическая и автоматическая сварка открытой дугой конструкций из низкоуглеродистых и низколегированных сталей толщиной 3 мм и больше
ПП-АН8	Э46А	Полуавтоматическая и автоматическая сварка конструкций из низкоуглеродистых сталей в углекислом газе. Обеспечивает высокое качество сварных швов и хорошее формирование металла
ПП-АН9	Э50А	То же, что и ПП-АН8; обладает пониженной токсичностью
ПП-АН10	Э50А	То же, что и ПП-АН8; обладает повышенными технологическими свойствами

Марка	Тип электрода, которому соответствует проволока	Назначение
ПП-1ДСК	Э46	Полуавтоматическая и автоматическая сварка открытой дугой конструкций из низколегированных сталей
ПП-2ДСК	Э50А	Полуавтоматическая и автоматическая сварка открытой дугой конструкций из низкоуглеродистых и низколегированных сталей

## 2. ЭЛЕКТРОДЫ

Электроды для ручной сварки и наплавки подразделяют на неплавящиеся и плавящиеся, по типу обмазки, назначению и т. д.

Неплавящиеся электроды представляют собой металлические стержни из вольфрама, а также стержни из электротехнического угля или синтетического графита. Они имеют высокую температуру плавления и испарения, обладают способностью поддерживать устойчивое горение дуги.

При сварке и наплавке цветных сплавов в защитных газах используют вольфрамовые электроды в сочетании с аргоном и азотом, угольные или графитовые электроды применяют для сварки и наплавки открытой дугой. Вольфрам имеет высокую температуру плавления (3377°C) и кипения (4700°C), обладает высокой электропроводностью и теплопроводностью.

При сварке вольфрамовым электродом применяют постоянный ток прямой полярности, поскольку на обратной полярности (+ на электроде) наблюдается повышенный расход электродов.

На практике применяют лантанированный вольфрам диаметром от 1 до 8 мм марки ВЛ-10, в котором содержится 1,5—2% окиси лантана. Наличие окиси лантана облегчает зажигание дуги и повышает ее устойчивость. Рабочий конец электрода затачивают под углом до 30°.

Угольные или графитовые электроды изготовляют в виде стержней диаметром от 6 до 30 мм и длиной до 300 мм. Рабочий конец электрода затачивают под углом 60—70°.

Графитовые электроды более электропроводны, чем угольные, и обладают более высокой стойкостью против окисления при высоких температурах, что позволяет использовать их на больших плотностях тока.

Стойкость угольных электродов повышается при омеднении их поверхности, что применяется на практике (омедненные электроды).

Плавящиеся металлические электроды изготовляют из сварочной проволоки и специального покрытия. Сварочную проволоку (ГОСТ 2246—70\*) по составу подразделяют на низкоуглеродистую, легированную и высоколегированную (см. табл. 5).

Покрытия или обмазки электродов предназначены для шлаковой и газовой защиты жидкого металла от азота и кислорода воздуха, раскисления жидкого металла, легирования необходимыми элементами и стабилизации горения сварочной дуги. В состав покрытий входят следующие компоненты (по назначению): шлакообразующие, газообразующие, раскисляющие, легирующие, стабилизирующие и связывающие или клеящие.

Шлакообразующие создают защитный шлаковый покров на поверхности капель жидкого металла и на поверхности сварочной ванны, способствуют снижению скорости остывания металла, облегчая удаление из сварочной ванны неметаллических и газовых включений и повышая пластические свойства металла. В качестве шлакообразующих компонентов покрытия используются

титановый концентрат, мрамор, мел, марганцевые руды, кварцевый песок и др.

Газообразующие создают газовую защиту из окиси углерода, углекислого газа, углеводородов, которая защищает жидкий металл от вредного влияния воздуха (азота и кислорода). В качестве газообразующих компонентов используются древесная мука, крахмал, пищевая мука, целлюлоза.

Раскисляющие компоненты предназначены для раскисления жидкого металла, т. е. снижения содержания в нем кислорода. К ним относятся ферросплавы, содержащие марганец (ферромарганец), кремний (ферросилиций), титан, алюминий и другие компоненты.

Легирующие компоненты предназначены для легирования жидкого металла отдельными элементами с целью придания ему необходимых свойств: повышенной прочности, пластичности, жаропрочности, износостойкости, устойчивости против коррозии и т. д. К легирующим элементам относят кремний, марганец, хром, никель, молибден, ванадий, титан и другие.

Стабилизирующие компоненты придают устойчивость горения дуги. К ним относятся элементы с небольшим потенциалом ионизации: калий, натрий, кальций и другие, которые в основном вводятся в виде соединений  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ .

Связывающие, или клеящие, компоненты предназначены для связывания всех компонентов покрытия между собой и со стержнем электрода. Большинство замесов покрытий делается на жидком стекле, иногда применяют декстрин, желатин.

Часто бывает, что один и тот же элемент или химическое соединение выполняет сразу несколько функций, например, марганцем и кремнием можно раскислять и легировать металл, графит раскисляет металл, стабилизирует горение дуги, повышает содержание углерода в металле и т. д.

Электроды характеризуются химическим составом и диаметром металлического стержня, химическим составом и толщиной покрытия, коэффициентом наплавки и другими показателями. Химический состав металлического стержня и покрытия, масса покрытия определяют состав наплавленного металла, его механические свойства, склонность к пористости и трещинам. В зависимости от диаметра электрода подбирают сварочный ток, с которым связана тепловая обработка жидкого и твердого металла, выгорание, разбрызгивание и многие другие процессы.

Важной характеристикой электродов являются их коэффициенты расплавления, наплавки и потерь.

Коэффициентом расплавления называется количество расплавленного электродного металла в граммах в течение часа, приходящееся на один ампер сварочного тока.

$$\alpha_p = \frac{G_p}{It},$$

где  $\alpha_p$  — коэффициент расплавления;

$G_p$  — масса расплавленного электродного металла за время  $t$ , г;

$I$  — сварочный ток, А;

$t$  — время горения дуги, равное 1 ч.

Коэффициент расплавления зависит от химического состава электродного стержня и покрытия, массы покрытия, приходящейся на единицу массы электрода, от рода тока и полярности.

Зная коэффициент расплавления, можно определить массу расплавленного металла  $G_p$  (г) при силе тока  $I$  (А) и времени горения дуги  $t$  (ч).

$$G_p = \alpha_p It.$$

Величина коэффициента расплавления составляет в среднем 8—12 г/А·ч.

Поскольку в процессе сварки часть расплавленного металла теряется за счет окисления, испарения и разбрызгивания, для подсчета массы наплавленного металла пользуются коэффициентом наплавки.

Коэффициентом наплавки называют количество наплавленного электродного металла в граммах в течение часа, приходящееся на один ампер сварочного тока

$$k_n = \frac{G_n}{I}$$

При сварке в нижнем положении коэффициент наплавки зависит от тех же исходных данных, что и коэффициент расплавления, при вертикальном расположении швов будет ниже. Величина его составляет в среднем 8—10 г/А·ч. Для практических целей это очень важная величина. Зная коэффициент наплавки, можно определить массу наплавленного металла

$$G_n = k_n I t$$

которая тем больше, чем больше сила сварочного тока и время горения дуги (в табл. 13 представлены коэффициенты наплавки некоторых распространенных электродов — с. 48).

Предположим, что согласно технологическому процессу требуется сварить изделие электродом марки АНО-5 диаметром 5 мм при токе 250 А. Коэффициент наплавки равен 11 г/А·ч. При непрерывном горении дуги в течение часа масса наплавленного металла могла бы составить 2750 г. С учетом смены электродов, подготовки рабочего места, кантовки изделия и других вспомогательных операций масса наплавленного металла одним сварщиком в час будет меньше и составит в среднем 1000—1500 г. Следовательно, производительность сварщика зависит от коэффициента наплавки, механизации сварочных работ, допускаемых пределов по току, соответствующих выбранной марке электрода, и т. д.

Разность между коэффициентом расплавления и коэффициентом наплавки характеризует потери электродного металла, которые определяются коэффициентом потерь. Коэффициент потерь  $\psi$  выражается в процентах и представляет собой отношение разности между массой расплавленного металла  $G_p$  и наплавленного  $G_n$  к массе расплавленного металла  $G_p$ .

$$\psi = \frac{G_p - G_n}{G_p} 100\%.$$

Коэффициент потерь зависит также от условий сварки: увеличивается с ростом плотности тока, длины дуги, зазоров между свариваемыми элементами, при переходе от сварки швов в нижнем положении к сварке швов в вертикальном и потолочном положениях. Коэффициенты потерь при сварке тонкопокрытыми электродами составляют 10—20%, толстопокрытыми — 5—10%; в защитных газах — 3—10%, под флюсом — 1—3%.

Электроды металлические для дуговой сварки сталей и наплавки согласно ГОСТ 9466—75 подразделяют по назначению, толщине покрытия, группам, связанным с точностью изготовления, виду покрытия, допустимому пространственному положению сварки или наплавки, роду и полярности тока, номинальному напряжению холостого хода источника переменного тока частотой 50 Гц.

По назначению электроды подразделяют:

для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву до 60 кгс/мм<sup>2</sup> с условным обозначением У;

для сварки легированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву свыше 60 кгс/мм<sup>2</sup> — Л;

для сварки легированных теплоустойчивых сталей — Т;

для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами — В;

для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами — Н.

По толщине покрытия в зависимости от отношения  $\frac{D}{d}$  ( $D$  — диаметр покрытия,  $d$  — диаметр стержня) электроды подразделяют:

- с тонким покрытием  $\left(\frac{D}{d} < 1,20\right) — М;$
- со средним покрытием  $\left(1,20 < \frac{D}{d} < 1,45\right) — С;$
- с толстым покрытием  $\left(1,45 < \frac{D}{d} < 1,80\right) — Д;$
- с особо толстым покрытием  $\left(\frac{D}{d} > 1,80\right) — Г.$

В зависимости от требований к качеству электродов в отношении точности изготовления, состояния поверхности покрытия, сплошности наплавленного металла шва и содержания серы и фосфора в наплавленном металле электроды подразделяют на группы 1, 2 и 3.

Предельные отклонения длины  $L$  электродов не должны превышать:

3,0 мм — для электродов — 1-й группы;

2,0 мм — для электродов 2 и 3-й групп.

Кривизна электродов не должна превышать:

0,004  $L$  — для электродов 1-й группы;

0,003  $L$  — для электродов 2-й группы;

0,002  $L$  — для электродов 3-й группы.

По видам покрытия электроды подразделяют:

с кислым покрытием — А;

с основным покрытием — Б;

с целлюлозным покрытием — Ц;

с рутиловым покрытием — Р;

с покрытием смешанного вида — соответствующее двойное условное обозначение;

с прочими видами покрытий — П.

При наличии в составе покрытия железного порошка в количестве более 20% к обозначению вида покрытия электродов следует добавлять букву Ж.

По допустимым пространственным положениям сварки или наплавки электроды подразделяются:

для всех положений — 1;

для всех положений, кроме вертикального сверху вниз, — 2;

для нижнего, горизонтального на вертикальной плоскости и вертикального снизу вверх — 3;

для нижнего и нижнего в лодочку — 4.

По роду и полярности применяемого при сварке или наплавке тока, а также по номинальному напряжению холостого хода используемого источника питания сварочной дуги переменного тока частотой 50 Гц электроды подразделяют в соответствии с табл. 9, размеры их приведены в табл. 10.

Т а б л и ц а 9. Обозначения электродов в зависимости от рода тока и напряжения холостого хода

Рекомендуемая полярность постоянного тока	Напряжение холостого хода источника переменного тока, В		Обозначения
	номинальное	предельное отклонение	
Обратная	--	—	0
Любая			1
Прямая	50	±5	2
Обратная			3
Любая	70	±10	4
Прямая			5
Обратная			6
Любая			7
Прямая	90	±5	8
Обратная			9

Примечание. Цифрой 0 обозначают электроды, предназначенные для сварки или наплавки только на постоянном токе обратной полярности.

Т а б л и ц а 10. Размеры электродов, мм

Номинальный диаметр электрода, определяемый диаметром стержня, $d$	Номинальная длина электрода $L$ со стержнем из сварочной проволоки		Длина защищенного от покрытия конца (предельное отклонение $\pm 5$ )
	низкоуглеродистой или легированной	высоколегированной	
1,6	200	150	20
	250	200 (250)	
2,0	250 (300)	200 250 (300)	20
	250 300 (350)	250 (300)	
3,0	300 350 (450)	300 350	25
	350 450	350 (450)	
5,0		350	30
6,0		450	
8,0	450	450	
10,0			
12,0			

Примечания: 1. Размеры, указанные в скобках, применять не рекомендуется.

2. Допускается изготавливать электроды номинальным диаметром 3,15; 6,3 и 12,5 мм.

3. При согласии изготовителя и потребителя может быть установлена иная длина электродов.

4. По соглашению с изготовителем и потребителем покрытие с одного конца электрода можно не зачищать, но оба конца должны быть зачищены как контактные.

5. Допускается округлая форма зачистки покрытия у контактного торца электрода.

Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки конструк-

ционных и теплоустойчивых сталей согласно ГОСТ 9467—75 должны изготавливаться следующих типов:

Э38, Э42, Э46 и Э50 — для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву до 50 кгс/мм<sup>2</sup>;

Э42А, Э46А и Э50А — для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву до 50 кгс/мм<sup>2</sup>, когда к металлу сварных швов предъявляют повышенные требования по пластичности и ударной вязкости;

Э55 и Э60 — для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву свыше 50 до 60 кгс/мм<sup>2</sup>;

Э70, Э85, Э100, Э125, Э150 — для сварки легированных конструкционных сталей повышенной и высокой прочности с временным сопротивлением разрыву свыше 60 кгс/мм<sup>2</sup>;

Э-09М, Э-09МХ, Э-09Х1М, Э-05Х2М, Э-09Х2М1, Э-09Х1МФ, Э-10Х1МНФБ, Э-10Х3М1БФ, Э-10Х5МФ — для сварки легированных теплоустойчивых сталей.

Тип электрода согласно ГОСТ 9467—75 характеризует механические свойства (табл. 11) металла шва (наплавленного металла) или химический состав (табл. 12) наплавленного металла.

Например, электрод марки АНО-5 относится к типу электродов Э42. Цифра после буквы Э (электрод) показывает гарантированное минимальное временное сопротивление наплавленного металла в кгс/мм<sup>2</sup>, которое обеспечивается при сварке электродами данного типа. Если металл шва (наплавленный металл) имеет повышенные пластические свойства, то к типу электрода добавляется буква А (Э42А, Э46А, Э50А). Одному типу электрода может соответствовать несколько марок электродов.

Электроды типа Э-09М, Э-05Х2М и им подобные обеспечивают гарантированное содержание легирующих эле-

ментов в наплавленном металле. Химический состав металла, наплавленного электродами для сварки конструкционных сталей, должен соответствовать требованиям технических условий или паспортов на электроды конкретных марок. При этом содержание серы и фосфора в наплавленном металле не должно превышать указанное в табл. 12.

Для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей применяются электроды, приведенные в табл. 13.

Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами согласно ГОСТ 10052—75 (взамен 10052—62) предназначены для сварки коррозионно-стойких, жаропрочных и жаростойких высоколегированных сталей и состоят из 49 основных типов:

Э-12Х13, Э-06Х13Н,	Э-07Х19Н11М3Г2Ф,
Э-10Х17Т, Э-12Х11НМФ,	Э-08Х24Н12Г3СТ,
Э-12Х11НВМФ,	Э-10Х25Н13Г2,
Э-14Х11НВМФ,	Э-12Х24Н14С2,
Э-10Х16Н4Ф,	Э-10Х25Н13Г2Б,
Э-08Х24Н6ТАФМ,	Э-10Х28Н12Г2,
Э-04Х20Н9,	Э-03Х15Н9АГ4,
Э-07Х20Н9,	Э-10Х20Н9Г6С,
Э-02Х21Н10Г2,	Э-28Х24Н16Г6,
Э-06Х22Н9,	Э-02Х19Н15Г4АМ3Б2,
Э-08Х16Н8М2,	Э-02Х19Н18Г5АМ3,
Э-08Х17Н8М2,	Э-11Х15Н25М6АГ2,
Э-06Х19Н14Г2М2,	Э-09Х15Н25М6Г2Ф,
Э-02Х20Н14Г2М2,	Э-27Х15Н35В3Г2Б2Т,
Э-02Х19Н9Б,	Э-04Х16Н35Г6М7Б,
Э-08Х19Н10Г2Б,	Э-06Х25Н40М7Г2,
Э-08Х20Н9Г2Б,	Э-08Н60Г7М7Т,
Э-10Х17Н13С4,	Э-08Х25Н60М10Г2,
Э-08Х19Н10Г2МБ,	Э-02Х20Н60М15В3,
Э-09Х19Н10Г2М2Б,	Э-04Х10Н60М24,
Э-08Х19Н9Ф2С2,	Э-08Х14Н65М15В4Г2,
Э-08Х19Н9Ф2Г2СМ,	Э-10Х20Н70Г2М2В,
Э-09Х16Н8Г3М3Ф,	Э-10Х20Н70Г2М2Б2В.
Э-09Х19Н14Г3М2Ф,	

Т а б л и ц а 11. Типы электродов в зависимости от механических свойств

Типы электродов	Механические свойства при нормальной температуре						Предельное содержание в наплавленном металле,													
	металла шва или наплавленного металла			сварного соединения, выполненного электродами диаметром менее 3 мм			серы			фосфора										
	σ <sub>т</sub> , МПа	σ <sub>0,2</sub> , МПа	δ <sub>5</sub> , %	σ <sub>т</sub> , МПа	σ <sub>0,2</sub> , МПа	δ <sub>5</sub> , %	Группа электродов по ГОСТ 9466-75													
							Не менее													
Э38	38	14	3	38	60															
Э42	42	18	8	42	150	0,045	0,040	0,035	0,050	0,045	0,040									
Э46	46	18	8	46	150															
Э50	50	16	7	50	120															
Э42А	42	22	15	42	180															
Э46А	46	22	14	46	180															
Э50А	50	20	13	50	150															
Э55	55	20	12	55	150	0,035	0,030	0,025	0,040	0,035	0,030									
Э60	60	18	10	60	120															
Э70	70	14	6																	
Э85	85	12	5																	
Э100	100	10	5																	0,035
Э125	125	8	4																	
Э150	150	6	4																	

Примечания: 1. Для электродов типов Э38, Э42, Э46, Э50, Э42А, Э46А, Э50А, Э55 и Э60 приведенные в таблице значения механических свойств установлены для металла шва, наплавленного металла и сварного соединения в состоянии после сварки (без термической обработки). Механические свойства металла шва, наплавленного металла и сварного соединения после термической обработки для электродов перечисленных типов должны соответствовать требованиям технических условий или паспортов на электроды конкретных марок.

2. Для электродов типов Э70, Э85, Э100, Э125 и Э150 приведенные в таблице значения механических свойств установлены для металла шва и наплавленного металла после термической обработки по режимам, регламентированным техническими условиями или паспортами на электроды конкретных марок. Механические свойства металла шва и наплавленного металла в состоянии после сварки для электродов перечисленных типов должны соответствовать требованиям технических условий или паспортов на электроды конкретных марок.

3. Показатели механических свойств сварных соединений, выполненных электродами типов Э70, Э85, Э100, Э125, Э150 диаметром менее 3 мм, должны соответствовать требованиям технических условий или паспортов на электроды конкретных марок.



Таблица 13. Краткая характеристика электродов для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей (ГОСТ 9467—75) и их назначение

Тип электрода	Марка электрода	Коэффициент наплавки, г/А·ч	Назначение
Э34	АН-1	9	Сварка ответственных конструкций во всех пространственных положениях переменным и постоянным током любой полярности. Покрытие стабилизирующее. Устойчивость к возникновению трещин повышенная. Перед сваркой сушить при 80—100°С в течение часа. При диаметрах электродов 3, 4, 5 и 6 мм величина тока для сварки в нижнем положении равна 100, 120, 210, 260 А. В ГОСТ 9467—75 тип Э34 отсутствует.
Э42	АНО-1	15	Высокопроизводительные электроды с большим содержанием железного порошка в покрытии. Сварка ответственных металлоконструкций из низкоуглеродистых и некоторых низколегированных сталей (например, типа 09Г2) в нижнем положении переменным и постоянным током любой полярности. Формирование шва хорошее, разбрызгивание незначительное, покрытие гигроскопично. Отсыревшие электроды перед сваркой следует сушить при 180—200°С в течение часа. При диаметрах электродов 4; 5 и 6 мм величина тока равна 210, 280 и 370 А.
Э42	КПЗ-32Р	8,0	Универсальные электроды для сварки низкоуглеродистых сталей во всех пространственных положениях. Легко перекрывают зазоры. Разбрызгивание повышенное. Ток переменный и постоянный любой полярности. Следует сваривать короткой дугой. Перед сваркой электроды сушить при

Тип электрода	Марка электрода	Коэффициент наплавки, г/А·ч	Назначение
Э42	АНО-5	11	<p>200°С в течение часа. При диаметрах электродов 3, 4, 5 и 6 мм величина тока для сварки в нижнем положении равна 120, 170, 220 и 260 А</p> <p>Универсальные электроды, содержащие железный порошок в покрытии. Сварка во всех пространственных положениях ответственных металлоконструкций и деталей машин, работающих при статических и знакопеременных динамических нагрузках. Ток переменный и постоянный любой полярности. Отличаются повышенной производительностью и благоприятными гигиеническими характеристиками. Перед сваркой отсыревшие электроды рекомендуется сушить при 180—200°С</p>
Э42	ВСЦ-2	10,5	<p>Предназначены специально для сварки первого слоя шва поворотных и неповоротных стыков трубопроводов из низкоуглеродистых и низколегированных сталей без подкладных колец во всех пространственных положениях постоянным током любой полярности. Покрытие гигроскопично, отсыревшие электроды необходимо сушить при 100—110°С в течение часа. Разбрызгивание очень большое, потери составляют до 30%. При диаметрах электродов 3, 4 и 5 мм величина тока для сварки в нижнем положении равна 100, 140 и 170 А</p>
Э42	ОМА-2	10	<p>Электроды с покрытием органического типа предназначены для сварки ответственных конструкций из низкоуглеродистых и низколегированных</p>

Тип электрода	Марка электрода	Коэффициент наплавки, г/А·ч	Назначение
			сталей малых толщин (0,8—3,0 мм) во всех пространственных положениях на переменном и постоянном токе любой полярности. Рекомендуется сварку вести короткой дугой, отсыревшие электроды перед сваркой сушить при температуре не выше 100°C в течение часа. При диаметрах электродов 2, 2,5 и 3 мм величина тока для сварки в нижнем положении равна 35, 50 и 65 А
Э42	АНО-6	8,5	Универсальные электроды с ильменитовым покрытием для сварки ответственных конструкций из низкоуглеродистых сталей во всех пространственных положениях, на переменном и постоянном токе любой полярности, средней и короткой дугой. При диаметрах электродов 4, 5 и 6 мм величина тока для сварки в нижнем положении равна 180, 230, 320 А
Э42А	СМ-11	9,5	Сварка особо ответственных металлоконструкций из низкоуглеродистых и низколегированных сталей во всех пространственных положениях на постоянном токе обратной полярности или на переменном токе. Сварку вести предельно короткой дугой методом опирания. Отсыревшие электроды перед сваркой нужно прокалить при 300—350°C в течение часа. При диаметрах электродов 4, 5 и 6 мм величина тока для сварки в нижнем положении равна 190, 225 и 290 А.
Э42А	УФ-1/45	10	Сварка ответственных конструкций из низкоуглеродистых, среднеуглеродистых и низколегированных сталей.

Тип электрода	Марка электрода	Коэффициент наплавки, г/А·ч	Назначение
Э42А	ОЗС-2	8,5	Сварные швы обладают высокой стойкостью против образования кристаллизационных трещин. Сварку можно вести во всех пространственных положениях, ток переменный и постоянный обратной полярности. Прокалка отсыревших электродов при 350—370°С в течение часа. При диаметрах электродов 2, 3, 4 и 5 мм величина тока для сварки в нижнем положении равна 55, 125, 150 и 200 А; электроды УП-2/45 имеют такое же назначение
Э46	АНО-3	8,5	Сварка ответственных металлоконструкций из низкоуглеродистых, среднеуглеродистых и низколегированных сталей. Пригодны для сварки во всех пространственных положениях на постоянном токе обратной полярности. Сварку нужно вести предельно короткой дугой методом опирания. Отсыревшие электроды перед сваркой следует прокалить при 250—300°С в течение часа. При диаметрах электродов 3, 4 и 5 мм величина тока для сварки в нижнем положении равна 90, 140 и 185 А
			Универсальные электроды с небольшим содержанием железного порошка в покрытии. Пригодны для сварки ответственных металлоконструкций из низкоуглеродистых сталей во всех пространственных положениях на переменном токе и постоянном любой полярности. Низкотоксичные. Отсыревшие электроды сушить при 190—200°С в течение 40 мин. При

Тип электрода	Марка электрода	Коэффициент наплавки, г/А·ч	Назначение
Э46	АНО-4	8,3	<p>диаметрах электродов 3, 4, 5 и 6 мм величина тока для сварки в нижнем положении равна 125, 180, 225 и 300 А</p> <p>Универсальные электроды для сварки ответственных металлоконструкций из низкоуглеродистых сталей. Пригодны для сварки во всех пространственных положениях на переменном токе и постоянном любой полярности. Допускают сварку на повышенных режимах. Менее склонны к образованию пористости в корне тавровых швов по сравнению с другими рutilовыми электродами. Отсыревшие электроды сушить при 190—200°С. При диаметрах электродов 3, 4, 5 и 6 мм величина тока для сварки в нижнем положении равна 130, 190, 230 и 300 А</p>
Э46	МР-3	7,8	<p>Универсальные электроды для сварки ответственных металлоконструкций из низкоуглеродистых сталей. Применяются при сварке во всех пространственных положениях на переменном и постоянном токе обратной полярности. Сушить при температуре 170—200°С в течение 1,5 ч. При диаметрах электродов 4, 5 и 6 мм величина тока при сварке в нижнем положении равна 180, 220 и 300 А</p>
Э46	ОЗС-4	8,5	<p>Универсальные электроды для сварки ответственных металлоконструкций из низкоуглеродистых сталей на переменном токе или постоянном любой полярности. Отсыревшие электроды сушить при температуре 100—120°С. При диаметрах электродов 3, 4, 5 и</p>

Тип электрода	Марка электрода	Коэффициент наплавкв, г/А·ч	Назначение
Э46	ОЗС-6	10,5	<p>6 мм величина тока при сварке в нижнем положении равна 90, 170, 220 и 270 А. Увеличение тока выше указанного может привести к возникновению пор в швах.</p> <p>Универсальные электроды с железным порошком в покрытии для сварки ответственных металлоконструкций из низкоуглеродистых сталей. Пригодны для сварки во всех пространственных положениях на переменном и постоянном токе любой полярности. В нижнем положении характеризуются повышенной производительностью. Отсыревшие электроды сушить при 150—180°С в течение часа. При диаметрах электродов 3, 4, 5, 6 и 8 мм величина тока при сварке в нижнем положении равна 100, 190, 250, 320 и 390 А</p>
Э46А	УОНИИ-13/45*	8,5	<p>Сварка низкоуглеродистых, углеродистых и низколегированных сталей, сварка особо ответственных металлоконструкций, работающих под динамическими нагрузками в условиях отрицательных температур, а также судов, работающих под давлением, судостроительных металлоконструкций и т. д. Сварка металла большой толщины. Металл шва отличается высокой стойкостью к образованию кристаллизационных трещин. Сварку</p>

\* Электроды УОНИ-13/45 ранее относили к типу Э42А. Согласно ГОСТ 9466—75 электроды УОНИ-13/45 должны обозначаться УОНИИ-13/45 и относиться к типу Э46А. Поэтому различные варианты электродов УОНИ в дальнейшем будут именоваться УОНИИ.

Тип электрода	Марка электрода	Коэффициент наплавки, г/А·ч	Назначение
			<p>можно вести во всех пространственных положениях, ток постоянный, полярность обратная. Отсыревшие электроды перед сваркой необходимо прокалывать при 350—370°C в течение часа. При диаметрах электродов 2, 3, 4 и 6 мм величина тока при сварке в нижнем положении равна 55, 90, 145, 185 и 225 А</p>
Э50	ВСН-3	9	<p>Сварка ответственных металлоконструкций из низколегированных сталей (10Г2), работающих при температурах до -70°C, во всех пространственных положениях, на постоянном токе обратной полярности. Сварку следует вести предельно короткой дугой методом опирания. Рекомендуется перед сваркой электроды прокалывать при 300°C в течение часа и сразу же начинать сварку, пока электроды еще не остыли. При диаметрах электродов 4 и 5 мм величина тока при сварке в нижнем положении равна 130 и 180 А</p>
Э50А	УОНИИ-13/55	9	<p>Сварка ответственных металлоконструкций из низкоуглеродистых, среднеуглеродистых и низколегированных сталей во всех пространственных положениях на постоянном токе обратной полярности. Характеризуются высокой стойкостью металла шва против возникновения кристаллизационных трещин. Сварку рекомендуется вести предельно короткой дугой методом опирания. Перед сваркой электроды прокалить при 350°C в течение часа. При диаметрах электродов 3, 4,</p>

Тип электрода	Марка электрода	Коэффициент наплавки, г/А·ч	Назначение
Э50А	ДСК-50	10	5 и 6 мм величина тока для сварки в нижнем положении равна 90, 140, 180 и 220 А
Э50А	АНО-7	9	Сварка мегаллоконструкций из низколегированных сталей 14ХГС, 15ХСНД и им подобных во всех пространственных положениях, на переменном токе и постоянном обратной полярности. Температура прокалки перед сваркой 350—370°С в течение часа. При диаметрах электродов 4 и 5 мм величина тока для сварки в нижнем положении равна 210 и 260 А
Э55	УОНИИ-13/55У	9,5	Сварка особо ответственных металлоконструкций из низко- и среднеуглеродистых сталей на постоянном токе обратной полярности. Применяются взамен электродов УОНИИ-13/55, обладают хорошими гигиеническими характеристиками. При диаметрах электродов 4 и 5 мм величина тока для сварки в нижнем положении 210 и 270 А. Отсыревшие электроды обязательно прокалить при 340°С в течение 30 мин.
			Сварка ванным способом стержневой арматуры из низко- и среднеуглеродистых, низколегированных сталей (и рельсов), а также дугевая сварка металлоконструкций из этих сталей на постоянном токе обратной полярности. Перед сваркой электроды прокалить при 300—350°С в течение часа. При диаметрах электродов 3, 4, 5 и 6 мм величина тока для сварки в нижнем положении равна 90, 140, 200 и 240 А

Тип электрода	Марка электрода	Коэффициент наплавки, г/А·ч	Назначение
Э60	УОНИИ-13/65*	9,0	Сварка среднеуглеродистых и низколегированных хромистых, хромомolibденовых и хромокремнемарганцевых сталей во всех пространственных положениях, на постоянном токе обратной полярности. Сварку вести предельно короткой дугой методом опирания. Отсыревшие электроды прокалить при 400°С в течение часа. При диаметрах электродов 3, 4, 5 и 6 мм величина тока для сварки в нижнем положении равна 90, 140, 180 и 220 А
Э85	УОНИИ-13/85	9,5	Сварка низколегированных сталей повышенной прочности во всех пространственных положениях на постоянном токе обратной полярности. Сварку вести предельно короткой дугой методом опирания. Отсыревшие электроды прокалить при температуре 370°С в течение часа. При диаметрах электродов 3, 4 и 5 мм величина тока для сварки в нижнем положении равна 90, 140, 180 А

рованной стали—типы Э42 и Э50А, марки УОНИИ-13/45, СМ-11; УП-1/45, УП-2/45, УОНИИ-13/55, ДСК-50, УП-1/55 и УП-2/55;

при сварке углеродистой с низколегированной сталью—тип Э42А, марки УОНИИ-13/45, СМ-11, УП-1/45 и УП-2/45 (электроды выбраны по менее прочной углеродистой стали).

\* Ранее электроды УОНИИ-13/65 относили к типу Э60А. В новом ГОСТ 9467—75 тип электрода Э60А отсутствует.

Электроды покрытые металлические для ручной дуговой наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами согласно ГОСТ 10051—75 (взамен ГОСТ 10051—62) применяют для наплавки различных деталей как в процессе их изготовления, так и в процессе восстановления изношенных. ГОСТ предусматривает 44 типа (табл. 14) электродов (Э-10Г2, Э-11Г3 и т. д.).

Таблица 14. Электроды для наплавки поверхностных слоев и основные области их применения (ГОСТ 10051—75)

Тип	Марка	Область применения
Э-10Г2	ОЗН-250У	Наплавка деталей, работающих в условиях интенсивных ударных нагрузок (осей, валов, автоцепок, железнодорожных крестовин, рельсов и др.)
Э-11Г3	ОЗН-300У	
Э-12Г4	ОЗН-350У	
Э-15Г5	ОЗН-400У	
Э30Г2ХМ	НР-70	
Э-16Г2ХМ	ОЗШ-1	Наплавка штампов для горячей штамповки
Э-35Г6	ЦН-4	
Э-30В8Х3	ЦШ-1	
Э-35Х12В3СФ	Ш-16	
Э-90Х4М4ВФ	ОЗИ-3	
Э-37Х9С2	ОЗШ-3	
Э-70Х3СМТ	ЭН-60М	
Э-24Х12	ЦН-5	
Э-20Х13	48Ж-1	
Э-35Х12Г2С2	НЖ-3	
Э-100Х12М	ЭН-Х12М	
Э-120Х12Г2СФ	Ш-1	
Э-10М9Н8К8Х2СФ	ОЗШ-4	
Э-65Х11Н3	ОМГ-Н	
Э-65Х25Г13Н3	ЦНИИН-4	Наплавка изношенных деталей из высокомарганцовистых сталей типов Г13 и Г13Л
Э-80В18Х4Ф	ЦИ-1М	Наплавка металлорежущего инструмента,
Э-90В10Х5Ф2	ЦИ-2У	

Тип	Марка	Область применения
Э-105В6Х5М3Ф3	И-1	а также штампов для горячей штамповки в тяжелых условиях (осадка, вытяжка, прошивки)
Э-08К15В7М5Х3СФ	ОЗИ-4	
Э-10К18В11М10Х3СФ	ОЗИ-5	
Э-95Х7Г5С	12АН/ЛИВТ	Наплавка деталей, работающих в условиях интенсивных ударных нагрузок с абразивным изнашиванием
Э-30Х5В212СМ	ТКЗ-Н	
Э-80Х4С	13КН/ЛИВТ	Наплавка деталей, работающих в условиях преимущественно абразивного изнашивания
Э-320Х23С2ГТР	T-620	
Э-320Х25С2ГР	T-590	
Э-350Х26Г2Р2СТ	X-5	
Э-300Х28Н4С4	ЦС-1	Наплавка деталей, работающих в условиях интенсивного абразивного изнашивания с ударными нагрузками
Э-225Х10Г10С	ЦН-11	
Э-110Х14В13Ф2	ВСН-6	
Э-175Б8Х6СТ	ЦН-16	
Э-08Х17Н8С6Г	ЦН-6М, ЦН-6Л	Наплавка уплотнительных поверхностей арматуры для котлов, трубопроводов и нефтеаппаратуры
Э-09Х16Н9С5Г2М2ФТ	ВПИ-1	
Э-09Х31Н8АМ2	УОНИИ-13/Н1-БК	
Э-13Х16Н8М5С5Г4Б	ЦН-12М, ЦН-12Л	
Э-15Х15Н10С5М3Г	ЦН-18	
Э-15Х28Н10С3ГТ	ЦН-19	
Э-15Х28Н10С3М2ГТ	ЦН-20	
Э-200Х29Н6Г2	ЦН-3	
Э-190К62Х29В5С2	ЦН-2	

Индекс Э означает: электрод для ручной дуговой наплавки, следующие две или три цифры указывают среднее содержание углерода в наплавленном металле в сотых долях процента, следующие буквы и цифры показывают среднее содержание элемента в процентах (см. табл. 4).

ГОСТ предусматривает также твердость наплавленного металла для каждого типа электрода. Например, электроды ОЗН-300У типа Э-11ГЗ, обеспечивающие среднюю твердость наплавленного металла 300НВ по Бринеллю, НРС 32 по Роквеллу и около 300 НВ по Виккерсу, без термической обработки после наплавки в обозначении имеют индексы: 300/32-1, с термической обработкой ставится цифра 2 вместо 1.

Приведенные данные с применением тех или иных материалов (электродов, проволок) ориентировочные, они однозначно не определяют выбор технологии.

Например, для наплавки уплотнительных поверхностей арматуры, где требуются жаростойкость и коррозионная стойкость металла, в отечественной промышленности и за рубежом широко применяют четыре сплава: хромокобальтовый ВЗК (стеллит) и хромоникелевый с бором и кремнием ХН80СР2, которые наплавляют плазменной дугой, и сплавы на основе железа — Х16Н7С5 (наплавляют электродами ЦН-6) и Х16Н7Г4М5Б (электродами ЦН-12).

Обозначение электродов для ручной дуговой сварки сталей и наплавки утверждено ГОСТ 9466—75. В документации электроды обозначают в одну строку, на этикетках или в маркировке коробок, пачек и ящиков — в две строки (см. примеры). Во второй строке указана группа индексов — характеристик наплавленного металла и металла шва.

Для сварки углеродистых и низколегированных сталей с временным сопротивлением разрыву до 60 кгс/мм<sup>2</sup> группа индексов характеризует механические свойства наплавленного металла и металла шва.

Электроды УОНИИ-13/45 (тип 46А) обеспечивают следующие механические свойства металла шва и наплавленного металла в состоянии после сварки при нормальной температуре:

временное сопротивление разрыву — не менее 46 кгс/мм<sup>2</sup>;

относительное удлинение — не менее 22%;

ударную вязкость при испытании образцов типа IX по ГОСТ 6996—66 не менее 3,5 кгс·м/см<sup>2</sup> при температуре —40°С.

По таблицам, приведенным в ГОСТ 9467—75, находим, что при минимальном временном сопротивлении, равном 46 кгс/мм<sup>2</sup>, принимается для условного обозначения электродов индекс 43, при минимальном относительном удлинении, равном 22%, — индекс 2, при минимальной ударной вязкости, равной 3,5 кгс/см<sup>2</sup> при температуре —40°С, — индекс (5). Поэтому во второй строке обозначения электродов УОНИИ-13/45 стоит индекс 43 2 (5).

Тогда электроды типа Э46А марки УОНИИ-13/45, диаметром 3,0 мм, для сварки углеродистых и низколегированных сталей У, с толстым покрытием Д, 2-й группы, с установленной по ГОСТ 9467—75 группой индексов, указывающих характеристики наплавленного металла и металла шва, 43 2 (5), с основным покрытием Б, для сварки во всех пространственных положениях 1, на постоянном токе обратной полярности 0 имеют следующую маркировку:

Э46А—УОНИИ-13/45—3,0—УД2      ГОСТ 9466—75,  
Е 43 2 (5)—Б10

ГОСТ 9467—75 — на этикетках или в маркировке короб, пачек и ящиков с электродами; электроды УОНИИ-13/45—3, 0—2 ГОСТ 9466—75 — в документации.

В условном обозначении электродов для сварки легированных конструкционных сталей с временным сопротивлением разрыву свыше 60 кгс/мм<sup>2</sup> группа индексов показывает среднее содержание основных химических элементов в наплавленном металле и минимальную тем-

пературу, при которой ударная вязкость металла шва и наплавленного металла при испытании образцов типа IX по ГОСТ 6996—66 составляет не менее 3,5 кгс·м/см<sup>2</sup>.

Например, электроды ЦЛ-18 (типа Э85) обеспечивают получение наплавленного металла со средним содержанием 0,18% углерода, 1% хрома, 1% марганца, ударную вязкость не менее 3,5 кгс·м/см<sup>2</sup> при температуре —10°С (индекс 2). Таким образом, обозначение 18Х1Г1—2 для электродов ЦЛ-18 характеризует химсостав и ударную вязкость.

Электроды типа Э-09Х1МФ по ГОСТ 9467—75, марки ЦЛ-20, диаметром 4,0 мм, для сварки легированных теплоустойчивых сталей Т, с толстым покрытием Д, 3-й группы, с установленной по ГОСТ 9467—75 группой индексов, указывающих характеристики наплавленного металла шва — 27, с основным покрытием Б, для сварки во всех пространственных положениях 1, на постоянном токе обратной полярности 0:

Э-09Х1МФ—ЦЛ-20—4,0—ТДЗ      ГОСТ 9466—75,  
Е—27—Б10

ГОСТ 9467—75 — на этикетках или маркировке коробок, пачек и ящиков с электродами, электроды ЦЛ-20—4,0—3; ГОСТ 9466—75 — в документации.

Электроды типа Э-10Х25Н13Г2Б по ГОСТ 10052—75, марки ЦЛ-9, диаметром 5,0 мм, для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами В, с толстым покрытием Д, 1-й группы, с установленной по ГОСТ 10052—75 группой индексов, указывающих характеристики наплавленного металла и металла шва, — 2075, с основным покрытием Б, для сварки в нижнем, горизонтальном, на вертикальной плоскости и вертикальном снизу вверх положениях 3, на постоянном токе обратной полярности 0:

Э-10Х25Н13Г2Б—ЦЛ-9—5,0—ВД1      ГОСТ 9466—75,  
Е-2075—Б30

ГОСТ 10052—75 — на этикетках или в маркировке коробок, пачек и ящиков с электродами; электроды ЦЛ-9—5,0—1 ГОСТ 9466—75 — в документации.

Электроды типа Э-11ГЗ по ГОСТ 10051—62, марки 03Н-300У, диаметром 4,0 мм, для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами Н, с толстым покрытием Д, 1-й группы, с установленной по ГОСТ 10051—62 группой индексов, указывающих характеристики наплавленного металла, — 300/32-1, с основным покрытием Б, для наплавки в нижнем положении 4, на постоянном токе обратной полярности 0:

Э-11ГЗ—03Н-300У—4,0—НД1

Е-300/32-1—Б40

ГОСТ 9466—75, ГОСТ 10051—75 на этикетках или в маркировке коробок, пачек и ящиков с электродами; электроды 03Н-300У—4,0—1 ГОСТ 9466—75 — в документации.

### 3. ФЛЮСЫ

При автоматической и полуавтоматической сварке металлов применяют флюсы, которые классифицируют по назначению, химическому составу и способу изготовления. По назначению флюсы разделяют на три группы: для сварки углеродистых и легированных сталей, цветных металлов. По химическому составу флюсы делят на кислые и основные, в зависимости от содержания в них кислых и основных окислов, низкокремнистые (содержание кремнезема до 35%) и высококремнистые, безмарганцевые (не более 1% марганца) и марганцевые. По способу изготовления флюсы делят на плавленные, полученные путем сплавления компонентов в печах, и неплавленные (керамические), полученные из порошкообразных материалов, замешанных на растворе жидкого стекла с последующей грануляцией, сушкой и прокалкой.

Плавленные флюсы выпускают в соответствии с ГОСТ 9087—69\* следующих марок: АН-348-А, АН-348-АМ, ОСЦ-45, ОСЦ-45М, АН-8, АН-20С, АН-20СМ, АН-20П, АН-22, АН-26С, АН-26П, АН-26СП, АН-60 и ФЦ-9.

ГОСТ 9087—69\* устанавливает состав перечисленных флюсов, размер зерен, объемный вес, методы испытаний, требования по маркировке, упаковке, транспортированию и хранению.

Флюсы марок АН-348-А, АН-348-АМ, ОСЦ-45, ОСЦ-45М, АН-60 и ФЦ-9 предназначены для механизированной сварки и наплавки углеродистых и низколегированных сталей углеродистой и низколегированной сварочной проволокой.

Флюс марки АН-8 предназначен для электрошлаковой сварки углеродистых и низколегированных сталей углеродистой и низколегированной сварочной проволокой.

Флюсы марок АН-20С, АН-20СМ и АН-20П предназначены для дуговой автоматической наплавки высоколегированных сталей и сварки легированных сталей соответствующей сварочной проволокой.

Флюс марки АН-22 предназначен для электрошлаковой сварки и дуговой автоматической наплавки легированных сталей легированной сварочной проволокой.

Флюсы марок АН-26С, АН-26П и АН-26СП предназначены для автоматической и полуавтоматической сварки нержавеющей, коррозионностойких и жаропрочных сталей соответствующей сварочной проволокой.

При надлежащем выборе технологии флюсы марок АН-8, АН-20С, АН-20СМ, АН-20П, АН-22, АН-26С и АН-26П могут применяться для сварки и наплавки иных типов стали в сочетании с соответствующей сварочной проволокой.

Индексы в наименовании марки флюса имеют следующие значения: М — мелкий; С — стекловидный; П — пемзовидный.

Стекловидный флюс с размером зерен не более 2,5 или 3 мм и пемзовидный флюс с размером зерен не более 4 мм предназначены для автоматической сварки проволокой диаметром не менее 3 мм.

Стекловидный флюс с размером зерен не более 1,6 мм предназначен для автоматической и полуавтоматической сварки проволокой диаметром не более 3 мм.

Пример условного обозначения флюса АН-348-А: флюс АН-348-А ГОСТ 9087—69\*.

Керамические флюсы выпускаются по различным ТУ. Для сварки углеродистых и конструкционных сталей применяют флюсы К-1, К-2, К-3, К-11, КВС-19 в сочетании с проволоками Св-08, Св-08А, флюс АНК-30 — в сочетании с проволоками Св-10Г2 и Св-10ГА (обеспечивает повышенную хладостойкость швов). Флюс К-3 можно использовать для сварки низколегированных сталей. Следует указать также на флюс-добавку АНК-3. Его добавляют к плавленным флюсам для повышения стойкости швов против образования газовых пор, что особенно важно при сварке сосудов, работающих под давлением, а также при сварке конструкций, работающих при знакопеременных нагрузках и в условиях низких температур.

Флюсы должны иметь влажность не более 0,1%. Влажный флюс необходимо сушить при температуре 250—300°С в течение 30—40 мин, используя плиты, шкафы и др.

#### 4. ЗАЩИТНЫЕ ГАЗЫ

Защитные газы подают в зону дуги для защиты жидкого металла от воздействия воздуха (азота и кислорода). Применяют активные (углекислый газ и др.) и инертные газы (аргон, гелий). Иногда используют смеси

газов, что позволяет изменять механические свойства металла шва, склонность его к пористости и т. д.

Активные газы, создающие окислительную атмосферу, защищают жидкий металл, главным образом, от азота, содержание которого в воздухе составляет около 78% (по объему), инертные газы (аргон и гелий) защищают жидкий металл как от кислорода, так и от азота. В небольших масштабах при сварке меди для защиты металла используют азот. По отношению к меди он — инертный газ (азотнодуговая сварка), и защита осуществляется фактически от кислорода, которого в воздухе около 21% по объему.

Из всех защитных газов наиболее часто в нашей стране применяется углекислый газ, затем — аргон. Применение гелия из-за его дефицитности пока ограниченное.

В среде углекислого газа плавящимся электродом сваривают низкоуглеродистые стали, низко- и среднелегированные, нержавеющие.

Сварку в аргоне ведут как плавящимся, так и неплавящимся (вольфрамовым) электродом. В аргоне сваривают жаропрочные хромоникелевые сплавы, алюминий, медь, титан и их сплавы, магниевые сплавы, цирконий, молибден и некоторые другие металлы и сплавы.

Гелий находит небольшое применение при сварке нержавеющих и жаропрочных хромоникелевых сплавов.

Для наплавочных работ в качестве защитной среды используют также водяной пар.

Углекислый газ (двуокись углерода) — бесцветный газ, со слабым запахом. При охлаждении под давлением превращается в жидкость, без давления — в сухой лед. Для сварки применяют пищевой углекислый газ (его необходимо тщательно осушать, предварительно удалив влагу из баллона) и сварочный 1-го и 2-го сортов с объемным содержанием чистого газа соответственно не менее 98,5, 99,5 и 99,0% (ГОСТ 8050—64\*\*\*). Плотность при 760 мм рт. ст. и 20°C составляет 1,98 кг/м<sup>3</sup>.

В стандартный 40-литровый баллон вмещается 25 кг жидкой углекислоты. Из 1 кг жидкой углекислоты при нормальных условиях (20°C и 760 мм рт. ст.) образуется при подводе тепла 509 л газа. Рабочее давление газа в баллоне 75 кгс/см<sup>2</sup>.

Баллоны с углекислым газом окрашены в черный цвет. Для пищевого углекислого газа применяют баллоны с желтой надписью «Углекислота», для сварочного — с желтой надписью «СО<sub>2</sub> сварочный».

А р г о н — бесцветный, неядовитый газ, почти в полтора раза тяжелее воздуха. С большинством элементов не образует химических соединений, в металлах практически нерастворим.

Согласно ГОСТ 10157—73 газообразный и жидкий аргон выпускается трех сортов: высший, 1-й сорт и 2-й (табл. 15).

Т а б л и ц а 15. Основные показатели аргона

Показатель	Нормы для сортов		
	высший	1-й	2-й
Содержание аргона, об.%, не менее	99,988	99,98	99,95
Содержание кислорода, об.%, не более	0,001	0,003	0,005
Содержание азота, об.%, не более	0,008	0,01	0,04
Содержание водяных паров, г/м <sup>3</sup> при нормальных условиях (20°C и 760 мм рт. ст.) не более	0,01	0,03	0,03

Поставляют аргон в баллонах с номинальным давлением газа 150±5 кгс/см<sup>2</sup> или 200±10 кгс/см<sup>2</sup>. При изменении температуры от -50 до +50°C ГОСТ предусматривает изменение давления газа в баллонах: от 94 до 170 кгс/см<sup>2</sup>, если номинальное давление при 20°C было равным 150 кгс/см<sup>2</sup>, и от 125 до 230 кгс/см<sup>2</sup>, когда номинальное давление 200 кгс/см<sup>2</sup>. Баллоны черного цвета с

белым верхом и черной надписью «Аргон чистый». При возврате баллонов предприятию-изготовителю остаточное давление аргона должно быть не ниже  $0,5 \text{ кгс/см}^2$ .

Гелий применяют технический I, в котором объемное содержание чистого газа не менее  $99,6\text{--}99,7\%$ , и технический II с содержанием чистого гелия не менее  $98,5\text{--}99,5\%$  (ВТУ МХП 0446—54). Рабочее давление в баллоне составляет  $150\pm 5 \text{ кгс/см}^2$ . Баллоны окрашивают соответственно в коричневый цвет без надписи и в коричневый цвет с белой надписью «Гелий».

Азот — газ без цвета и запаха, нетоксичен и невзрывоопасен, в газообразном состоянии при обычной температуре обладает высокой инертностью. Согласно ГОСТ 9293—74 выпускается пяти марок; технический газообразный азот высшего сорта (содержание азота, % по объему —  $99,994$ ), 1-й сорт ( $99,5$ ), 2-й сорт ( $99,0$ ), 3-й сорт ( $97,0$ ), особой чистоты ( $99,996$ ). Газообразный азот должен поставляться в стальных баллонах по ГОСТ 949—73, автореципиентах под давлением  $150\pm 5$  или  $200\pm 10 \text{ кгс/см}^3$  и по трубопроводу. Технический газообразный азот высшего сорта должен поставляться только по трубопроводу. Для сварки металлов применяют азот 1-го и 2-го сортов. Гарантийный срок хранения газообразного азота — шесть месяцев со дня изготовления. Баллоны окрашены в черный цвет с поперечной коричневой полоской и желтой надписью «Азот».

Смесь газов повышает стабильность процесса сварки и качество сварного шва. Например, смесь аргона с кислородом ( $95\%$  аргона и  $5\%$  кислорода) применяют при сварке плавящимся электродом тонкого металла марок 30ХГСА и Х18Н9Т. Добавка кислорода к аргону повышает стабильность горения дуги, жидкотекучесть металла и растекание его, улучшает сплавление, позволяет повысить скорость сварки и устойчивость металла шва к пористости. При добавке кислорода к углекислому газу повышаются пластические свойства металла шва, усили-

вается растекание шлака. Институт электросварки им. Е. О. Патона рекомендует применять смесь углекислого газа и кислорода в сочетании с повышенным вылетом электрода (повышение производительности процесса и качества шва).

Водяной пар в качестве защитной среды был впервые внедрен на Донецком машиностроительном заводе им. Ленинского комсомола Украины при консультации Института электросварки им. Е. О. Патона в 1959 г., получил распространение и продолжает внедряться далее в качестве защитной среды на ремонтных предприятиях при автоматической дуговой наплавке изношенных деталей машин с целью их восстановления.

Челябинским политехническим институтом разработана вибродуговая наплавка изношенных деталей в водяном паре, которая в ряде случаев имеет преимущества по сравнению с вибродуговой наплавкой в жидкости, так как позволяет подавать охлаждающую жидкость на некотором расстоянии от дуги и регулировать тем самым твердость наплавленного слоя, повышает устойчивость наплавленного металла к трещинам, обеспечивает более стабильную защиту дуги и т. д. Наплавка в водяном паре производится как на стальные, так и на чугунные детали. Вырабатывается водяной пар в специальных паробразователях.

Особенно широкое распространение получила наплавка в водяном паре на предприятиях «Сельхозтехники». Этот способ применяют более 100 ремонтных предприятий.

Что касается сварки в водяном паре, то она представляет собой частные решения. Например, на Донецком машиностроительном заводе им. Ленинского комсомола Украины автоматическая сварка в водяном паре применяется при массовом изготовлении роликов транспортеров. На заводе двумя автоматами в водяном паре сваривается около 70 км шва в год.

## Глава III. СВАРКА СТАЛЕЙ

Свариваемость сталей (металлов) — это прежде всего их способность обеспечивать определенные свойства сварного соединения. Решающее влияние на свариваемость оказывает химический состав стали. Рассмотрим классификацию наиболее распространенных сталей, маркировку и влияние отдельных элементов на свойства и свариваемость.

### 1. КЛАССИФИКАЦИЯ, МАРКИРОВКА И ПРИМЕНЕНИЕ

Сталь — это сплав железа с углеродом и другими химическими элементами, содержащий до 2,14% углерода. В 1977 г. выпуск сталей в отечественной промышленности составил около 150 млн. т., более 1500 марок. Все стали классифицируют по химическому составу, микроструктуре, способу производства и назначению.

По химическому составу сталь делят на углеродистую, свойства которой определяются количеством углерода, и легированную, в состав которой могут входить хром, никель, ванадий, вольфрам и другие легирующие элементы, придающие ей высокую прочность, износостойкость, жаропрочность, кислотостойкость и другие специальные свойства.

В зависимости от содержания углерода углеродистые стали подразделяют на низкоуглеродистые — с содержанием углерода до 0,25%, среднеуглеродистые — 0,25—0,6% и высокоуглеродистые — 0,6—2,14%.

Легированные стали в зависимости от содержания легирующих элементов подразделяют на низколегированные, среднелегированные и высоколегированные, у которых суммарное содержание легирующих элементов (кроме углерода) составляет соответственно до 2,5%, от 2,5 до 10% и свыше 10%.

По микроструктуре стали делят на классы: перлитный, мартенситный, аустенитный, ферритный и карбидный.

По способу производства стали подразделяют на сталь обыкновенного качества, качественную с пониженным содержанием серы и фосфора — до 0,04% и высококачественную с содержанием серы и фосфора до 0,03 и 0,035% соответственно.

Сортамент выпускаемых сталей, применяемых для сварки, состоит главным образом из листового и профильного проката.

Большое распространение при изготовлении сварных конструкций получила, например, сталь листовая горячекатаная (ГОСТ 19903—74), которая выпускается шириной 500 мм и более; при поставке в листах она имеет толщину от 0,5 до 160 мм, в рулонах — от 1,2 до 12 мм. Возможная длина листов согласно ГОСТу изменяется при изменении толщины и ширины листа.

Стали углеродистые обыкновенного качества (ГОСТ 380—71) обозначают буквами Ст (сталь) и цифрами 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, которые определяют условный номер марки стали, химический состав и механические свойства: Ст0, Ст1, ..., Ст6. С увеличением цифр в марках стали увеличивается содержание в них углерода, но не превышает 0,49%.

Сталь углеродистую обыкновенного качества подразделяют на три группы:

А — по механическим свойствам;

Б — по химическому составу;

В — по механическим свойствам и химическому составу.

По степени раскисления стали углеродистые обыкновенного качества делят на кипящие (содержание кремния до 0,05—0,07%), полуспокойные (0,05—0,17% кремния) и спокойные (более 0,12% кремния), что в марках

стали указывается индексами: кп, пс, сп. Сталь выплавляют следующих марок:

группы А — Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст3Г, Ст4, Ст5, Ст5Г, Ст6;

группы Б — БСт0, БСт1, БСт2, БСт3, БСт3Г, БСт4, БСт5, БСт5Г, БСт6;

группы В — ВСт2, ВСт3, ВСт3Г, ВСт4, ВСт5, ВСт5Г.

Спокойная сталь Ст3 группы В обозначается: ВСт3сп, группы Б — БСт3сп, группы А — Ст3сп.

В зависимости от нормируемых показателей стали обыкновенного качества делятся также на категории:

группа А — 1, 2, 3; группа Б — 1, 2; группа В — 1, 2, 3, 4, 5, 6.

Например, для сталей группы А категории 1 ГОСТ регламентирует временное сопротивление и относительное удлинение, для категории 2 — дополнительно изгиб в холодном состоянии, для категории 3 — еще и предел текучести.

Сталь листовая углеродистая и низколегированная для котлов и сосудов, работающих под давлением, имеет следующие марки:

углеродистая — 12К, 15К, 16К, 18К, 20К,

легированная — 16ГС, 09Г2С, 10Г2С1.

Химический состав и механические свойства регламентируются ГОСТ 5520—69. Эти стали обладают высокими механическими свойствами и хорошей свариваемостью.

Стали типа 16ГС и 09Г2С называются кремнемарганцовистыми, поскольку в них кроме 1 и 2% марганца (Г и Г2) содержится до 1% кремния (С).

Сталь 16ГС, как видно по маркировке, содержит в среднем 0,16% углерода, сталь 09Г2С — 0,09%.

Сталь углеродистую качественную конструкционную (ГОСТ 1050—74 взамен ГОСТ 1050—60) маркируют: 05кп, 08кп, 08пс, 08, 10кп

10пс, 10, 15кп, 15пс, 15, 20кп, 20пс, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 58, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 60Г, 65Г, 70Г.

В обозначении марки стали цифры означают среднее содержание углерода в сотых долях процента, буква Г — содержание марганца — (около 1%). Например, сталь 20 содержит 0,17—0,24% углерода, сталь 25—0,22—0,30%, сталь 30 — 0,27—0,35 и т. д.

Все стали без индекса относят к спокойным (10, 20, 30 и т. д.).

Сталь низколегированная толстолистовая и широкополосная универсальная (ГОСТ 19282—73 взамен ГОСТ 5058—65 в части листового и широкополосного проката и ГОСТ 500—58 в части низколегированной стали) изготавливается следующих марок:

- марганцовистая — 14Г2, 09Г2;
- марганцовистая с медью — 09Г2Д;
- кремнемарганцовистая — 12ГС, 16ГС, 17ГС, 17Г1С, 09Г2С, 10Г2С1;
- кремнемарганцовистая с медью — 09Г2СД, 10Г2С1Д;
- марганцово-ванадиевая — 15ГФ, 15Г2СФ;
- марганцово-ванадиевая с медью — 15ГФД, 15Г2СФД;
- марганцово-ванадиевая с азотом — 14Г2АФ, 16Г2АФ, 18Г2АФпс,
- марганцово-ванадиевая с азотом и медью — 14Г2АФД, 16Г2АФД, 15Г2АФДпс, 18Г2АФДпс;
- марганцово-ниобиевая — 10Г2Б;
- марганцово-ниобиевая с медью — 10Г2БД;
- хромокремнемарганцевая — 14ХГС;
- хромокремненикелевая с медью — 10ХСНД, 15ХСНД;
- хромоникелефосфористая с медью — 10ХНДП.

В ГОСТ входят новые марки стали, например, 15Г2СФ, 15Г2СФД, 18Г2СФД, 18Г2АФпс, 18Г2АФД, выпуск которых производится с 01.01.1977 г.

Все указанные низколегированные стали имеют более высокие прочностные показатели, чем широко распро-

страненные при изготовлении сварных металлических конструкций стали углеродистые обыкновенного качества СтЗкп, СтЗпс, СтЗсп и подобные. Однако эти низколегированные стали (особенно отдельные из них) требуют более внимательного подхода к выбору технологии обработки и сварки, о чем будет сказано далее.

Сталь легированная конструкционная (ГОСТ 4543—71) маркируется по группам: хромистая (15Х, 15ХА, 20Х, 30Х, 30ХРА, 35Х, 38ХА, 40Х 45Х, 50Х), марганцовистая (15Г, 20Г, 25Г, 30Г, 35Г, 10Г2, 30Г2 и др.), хромомарганцевая (18ХГ, 18ХГТ, 30ХГТ, 25ХГМ и др.), хромкремнистая (40ХС и др.) и подобные с никелем, молибденом, ванадием и т. д.

Первые две цифры указывают среднее содержание углерода в сотых долях процента: сталь 30Х содержит 0,24—0,32% углерода, сталь 40Х — 0,36—0,44% и т. д.

Буквенные обозначения в маркировке сталей так же, как и для сварочной проволоки (см. табл. 5), характеризуют примерное содержание того или иного элемента. Например, стали 15Г и 20Г содержат в среднем 0,15 и 0,20% углерода и повышенное содержание марганца, то есть около 1%. Стали 10Г2 и 30Г2 содержат углерода около 0,10 и 0,30% и марганца около 2%.

Стали высоколегированные и сплавы коррозионно-стойкие, термостойкие и жаропрочные (ГОСТ 5632—72\*) подразделяют на три группы:

1 — коррозионно-стойкие (нержавеющие) стали и сплавы, обладающие стойкостью против электрохимической и химической коррозии (атмосферной, почвенной, щелочной, кислотной, солевой), межкристаллитной коррозии, коррозии под напряжением и т. д.; к этим сталям и сплавам относят: 20Х13, 12Х13, 25Х13Н2, 12Х17, 08Х17Т, 12Х18Н9 и подобные;

2 — жаростойкие (окалиностойкие) стали и сплавы, обладающие стойкостью против химического разруше-

ния поверхности в газовых средах при температурах выше 550°C, работающие в ненагруженном или малонагруженном состоянии: 15X5, 12X13, 12X17, 12X18H9T, ХН60ВТ и другие, из которых изготавливают клапаны моторов, трубы турбин, детали газовых систем;

3 — жаропрочные стали и сплавы, способные работать в нагруженном состоянии при высоких температурах в течение определенного времени и обладающие при этом высокой жаропрочностью: 15X5М, 12X8ВФ, 2СХ13, 12X18H9Т, Х60Ю и им подобные.

Многие указанные стали и сплавы обладают совокупностью свойств.

В зависимости от структуры стали разделяют на классы: мартенситный, мартенситно-ферритный, ферритный, аустенитно-мартенситный, аустенитно-ферритный и аустенитный.

Сварка перечисленных сталей часто бывает связана с большими трудностями из-за возникновения трещин, хрупких зон и участков, участков с пониженной устойчивостью к коррозии, высокой температуре.

Сталь теплоустойчивая (ГОСТ 20072—74 взамен ГОСТ 10500—63) предназначается для изготовления деталей, работающих в нагруженном состоянии при температуре до 600°C в течение длительного времени: 12X1МФ, 20X3МВФ и др. При сварке этих сталей возникают трудности, аналогичные указанным выше.

Сталь инструментальная углеродистая (ГОСТ 1435—74 взамен ГОСТ 1435—54\*) обозначается буквой У и цифрами, указывающими примерное содержание углерода в десятых долях процента (в предыдущих случаях было в сотых долях процента): сталь 20, сталь 30 и т. д.

К инструментальным углеродистым относят стали: У7, У8, У8Г, У9, У10, У11, У12, У13, У7А, У8А, У8ГА, У9А, У10А, У11А, У12А, У13А. Без буквы А — качественные стали, с буквой А — высококачественные, более чистые

по содержанию серы, фосфора и примесей других элементов. Буквенные обозначения: У — углеродистая сталь, Г — содержание марганца до 1%.

Наиболее часто сваривают углеродистые стали обыкновенного качества и низколегированные, которые обеспечивают максимальную прочность соединения при хорошей свариваемости и способности сопротивляться возникновению хрупких зон и трещин при самых неблагоприятных условиях сварки (СтЗкп, СтЗпс, СтЗсп, 09Г2С и др.).

Спокойная сталь СтЗсп применяется для особо ответственных конструкций, полуспокойная СтЗпс — для конструкций средней ответственности, кипящая СтЗкп — для неответственных конструкций общего назначения. Хорошо свариваемые низколегированные стали позволяют получить более высокие механические свойства сварных соединений, а это в ряде случаев способствует снижению веса сварных конструкций; сохраняют высокие механические свойства при низких температурах, что очень важно для конструкций, работающих в условиях Севера.

Рассмотрим пример использования хорошо свариваемых сталей на Донецком машиностроительном заводе им. Ленинского комсомола Украины. Завод изготавливает воздухоборники на рабочее давление 8 кгс/см<sup>2</sup> (ГОСТ 9028—59). Марки сталей подбирают в зависимости от условий работы изделия (табл. 16).

Согласно Правилам Госгортехнадзора (см. таблицу) для районов с температурой выше минус 30°С воздухоборники изготавливают из углеродистых сталей группы В согласно ГОСТ 380—71. Для этих районов поставляют полуспокойные стали (пс) категорий 3 и 5, которые регламентируют поставку по химическому составу и по механическим свойствам: временное сопротивление, предел текучести, относительное удлинение, изгиб в холодном состоянии, ударная вязкость (для категории 3 при плюс

Таблица 16. Выбор сталей для изготовления воздухоборников согласно ГОСТ 9028—59 и техническим условиям завода

Минимальная температура района поставки	Марка стали	ГОСТ
Выше минус 30°C	ВСтЗпс3 ВСтЗпс5 ВСтЗГпс5 ВСтЗпс5	380—71
Ниже минус 30°C: от минус 30 до минус 40°C	ВСтЗсп5 09Г2С 10Г2С1 16ГС	19282—73
Ниже минус 40°C	09Г2С	

20°C, для категории 5 при минус 20°C и после механического старения).

При поставке воздухоборников в районы с температурой от минус 30° до минус 40°C углеродистые полуспокойные стали исключаются, применяется более качественная углеродистая спокойная сталь группы В категории 5 и низколегированные с повышенным содержанием марганца и кремния.

Для районов с температурой ниже минус 40°C воздухоборники поставляют только из низколегированной стали 09Г2С, которая обладает как хорошей свариваемостью, так и повышенной прочностью и пластичностью при низких температурах.

## 2. СВАРИВАЕМОСТЬ

Классификация сталей по свариваемости. Все стали в зависимости от содержания в них углерода и легирующих примесей условно делят на четыре группы: хорошо сваривающиеся; удовлетворительно сваривающиеся; ограниченно сваривающиеся; плохо сваривающиеся.

К хорошо сваривающимся сталям относят:

стали углеродистые обыкновенного качества Ст0 Ст1кп, Ст1пс, Ст1сп, Ст2кп Ст2пс, Ст2сп, Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, Ст3Гпс, Ст4кп, Ст4пс, Ст4пс (ГОСТ 380—71), которые содержат от 0,06 до 0,27% углерода;

стали углеродистые качественные 05кп, 08кп, 10, 15, 20 с содержанием углерода до 0,24% (ГОСТ 1050—74);

стали углеродистые для котлов 12К, 15К, 16К, 18К, 20К, которые содержат 0,09—0,24% углерода, низколегированные 16ГС, 09Г2С, 10Г2С1 с содержанием углерода до 0,18% (ГОСТ 19282—73);

стали низколегированные конструкционные 09Г2, 09Г2С, 14Г2, 12ГС, 17ГС, 15ГФ, 14ХГС, 10ХСНД с содержанием углерода до 0,22% (ГОСТ 19282—75), а также 15Х, 15ХР, 15ХМ, 12Х2Н4А с содержанием углерода до 0,23% (ГОСТ 4543—71);

стали для отливок 15Л и 20Л с содержанием углерода до 0,25% (ГОСТ 977—75).

Сварка перечисленных сталей в общем случае производится без предварительного подогрева и последующей термической обработки. Стали с содержанием углерода, близким к верхнему пределу (0,27%), требуют подогрева до 100°C, особенно при выполнении первых слоев на массивных деталях, при температуре воздуха ниже минус 5°C.

Необходимость предварительного подогрева должна определяться в каждом конкретном случае. Иногда необходимость и температура подогрева оговариваются специальными правилами или ТУ. Например, «Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов», утвержденные Госгортехнадзором СССР 30 августа 1966 г. (обязательны для всех министерств и ведомств), предусматривают условия подогрева в зависимости от содержания углерода, толщины свариваемого металла и температуры окружающего воздуха (табл. 17).

Таблица 17. Минимальная температура воздуха при сварке котлов

Тип стали	Толщина свариваемых элементов, мм	Минимальная температура окружающего воздуха, при которой разрешается сварка, °С	Дополнительные условия в случае сварки при отрицательной температуре
Углеродистая сталь с верхним пределом содержания углерода по ГОСТ или ТУ не более 0,24%	$\leq 16$ $> 16$	—20 —20	Нет Подогрев стыка до $150 \pm 50^\circ\text{C}$
Углеродистая сталь с верхним пределом содержания углерода по ГОСТ или ТУ более 0,24% и легированная сталь	В соответствии с требованиями инструкции по сварке		

Еще один пример. Согласно общим правилам сварки строительных конструкций (СНиП III-18-75), которые распространяются на конструкции из углеродистых сталей классов С38/23—С60/45 (дробь показывает отношение временного сопротивления к пределу текучести), ручную и полуавтоматическую дуговую сварку конструкций из стали классов до С52/40 включительно при температурах стали, ниже указанных в табл. 18, следует вести с предварительным подогревом стали в зоне сварки до  $120\text{—}160^\circ\text{C}$  на ширине 100 мм с каждой стороны соединения.

Сварка листовых объемных конструкций из стали толщиной более 20 мм должна выполняться способами, обеспечивающими уменьшение скорости охлаждения: каскадом, горкой, двусторонней сваркой, секциями.

Сваривать конструкции из стали класса С60/45 следует при температуре не ниже минус  $15^\circ\text{C}$  при толщине стали до 16 мм и не ниже  $0^\circ\text{C}$  при толщине стали свыше 16 до 25 мм. При более низкой температуре сварку стали указанных толщин следует производить с предварительным подогревом до температуры  $120\text{—}160^\circ\text{C}$ .

Т а б л и ц а 18. Минимально допустимая температура при сварке сталей классов до С52/40 без подогрева

Толщина стали, мм	Минимально допустимая температура стали, °С			
	углеродистой		низколегированной до класса С52 40 включительно	
	Швы сварных соединений в конструкциях			
	решетчатых	листовых, объемных и сплюсн-стенчатых	решетчатых	листовых, объемных сплюсн-стенчатых
До 16 (включительно)	-30	-30	-20	-20
От 16 до 30	-30	-20	-10	0
От 30 до 40	-10	-10	0	+5
Свыше 40	0	0	+5	+10

При толщине стали свыше 25 мм предварительный подогрев обязательный во всех случаях, независимо от температуры окружающей среды.

Автоматическая сварка строительных конструкций разрешается без подогрева:

а) из углеродистой стали толщиной до 30 мм, если температура стали не ниже минус 30°С, а при больших толщинах — не ниже минус 20°С;

б) из низколегированной стали толщиной до 30 мм, если температура стали не ниже минус 20°С, а при больших толщинах стали — не ниже минус 10°С.

Автоматическую сварку при температурах ниже указанных в табл. 18, следует производить только на повышенных режимах, обеспечивающих увеличение тепловложения и снижение скорости охлаждения.

Электрошлаковая сварка конструкций из углеродистой и низколегированной стали допускается без ограничения температуры стали.

При этом следует подчеркнуть, что в общем случае не существует резкой границы, которая точно определяла бы в зависимости от марки стали необходимость подогрева: чем выше содержание углерода и легирующих примесей, больше толщина металла и жесткость свариваемого контура, ниже температура окружающего воздуха, тем больше необходимость и выше должна быть температура предварительного подогрева свариваемого металла (свариваемых кромок при местном подогреве).

Иногда применяют отжиг или высокий отпуск сварных конструкций для снятия напряжений.

К удовлетворительно свариваемым сталям относят:

стали углеродистые обыкновенного качества Ст5 всех групп с содержанием углерода 0,28—0,37% и Ст5Гпс с содержанием углерода 0,22—0,30% (ГОСТ 380—71);

стали углеродистые качественные конструкционные 30 и 35 с содержанием углерода до 0,40% (ГОСТ 1050—74);

стали низколегированные 15ХСНД, 25Г2С, 20ХГ2Ц с содержанием углерода до 0,30% (ГОСТ 5058—65\*), а также 12ХНЗА, 20Х2Н4А (ГОСТ 4543—71);

стали для отливок 25Л, 30Л и 35Л с содержанием углерода до 0,40% (ГОСТ 977—75).

Для неотчетливых конструкций (опорные плиты, щиты, стеллажи) сварка этих сталей возможна без подогрева при температуре в цехе выше 5°C, отсутствии жесткого контура и небольшой толщине металла (до 16 мм). Во всех остальных случаях нужен подогрев до 100—150°C, а при содержании углерода близком к 0,40% — подогрев до 200—250°C с последующим отжигом или высоким отпуском, в зависимости от условий работы и ответственности конструкции.

К ограниченно свариваемым сталям относят:

стали углеродистые обыкновенного качества типа Ст6пс, БСт6пс с содержанием углерода 0,38—0,49% (ГОСТ 380—71);

стали углеродистые качественные конструкционные 40, 45, 50 с содержанием углерода до 0,55% (ГОСТ 1050—74);

стали легированные конструкционные 30ХМА, 30ХГС, 35ХМ, 35ХГСА, 20ХН4А с содержанием углерода до 0,40% (ГОСТ 4543—71);

стали для отливок 40Л, 45Л, 50Л с содержанием углерода до 0,55% (ГОСТ 977—75).

При сварке этих сталей необходим подогрев до 250—350°, после сварки рекомендуется отжиг или высокий отпуск, а для ответственных изделий отжиг и отпуск необходимы.

К плохо сваривающимся сталям относят:

стали углеродистые качественные конструкционные 60, 65, 70, 75, 80, 85 (ГОСТ 1050—74) с содержанием углерода до 0,90%;

стали легированные конструкционные 40Г2, 45Г2, 50Г2, 40ХГ, 40ХГР, 40ХС, 40ХФА, 50Х (ГОСТ 4543—71) с содержанием углерода в пределах 0,36—0,54%;

стали инструментальные углеродистые У7, У8, У8Г, У9, У10, У11, У12, У13, У7А, У8А, У8ГА, У9А, У10А, У11А, У12А, У13А (ГОСТ 1435—74) с содержанием углерода в пределах 0,65—1,35%.

При сварке изделий из сталей этой группы требуется обязательный подогрев до 300—450°С независимо от температуры окружающего воздуха, жесткости изделия и толщины свариваемого металла. После сварки обязательна термическая обработка, за исключением сварных швов, выполненных аустенитными электродами.

Знание характеристик свариваемости различных сталей облегчает выбор ориентировочной технологии сварки, которая обязательно должна быть проверена на об-

разцах и непосредственно на свариваемом изделии в зависимости от условий сварки.

### 3. СВАРКА НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

Низкоуглеродистые стали (до 0,25% углерода) обладают хорошей свариваемостью, обеспечивают получение сварных швов с высокой пластичностью и устойчивостью. Для сварки низкоуглеродистых сталей применяют: электроды типа Э42, Э42А, Э46, Э46А, Э50, Э50А (см. табл. 11); для автоматической и полуавтоматической сварки — проволоку Св-08Г2С в углекислом газе, Св-08, Св-08А, Св-08ГА, Св-10ГА под флюсом АН-348-А и др.; порошковую проволоку (см. табл. 8).

Применяемые материалы и технология сварки низкоуглеродистых сталей обеспечивают равнопрочность наплавленного металла и сварного соединения с основным металлом.

Для обеспечения высокой устойчивости швов к трещинам и сохранения высокой пластичности металла шва применяемые материалы должны содержать меньше углерода, чем основной металл, что компенсируется дополнительным легированием шва (кремнием, марганцем). И наплавленный металл, и основной хорошо обрабатываются на металлорежущих станках. Сварку следует вести на максимально возможных режимах, обеспечивающих высокую производительность и хорошее качество сварного шва и соединения. Под качеством подразумевается прежде всего отсутствие таких дефектов, как газовые поры, подрезы, отслаивание металла шва, некровар, шлаковые включения, а также получение механических свойств, соответствующих техническим условиям.

Сварка низкоуглеродистых сталей в общем случае не требует предварительного подогрева, отпуска или отжига конструкции после сварки. Предварительный подогрев применяется в редких случаях (см. табл. 17, 18),

когда сваривается толстый металл при низкой температуре окружающего воздуха, чтобы исключить возникновение хрупких участков шва, а иногда и трещин в первом слое. На практике наблюдались трещины в первом слое при сварке хорошо сваривающихся сталей толщиной 50 мм в зимних условиях. Предварительный подогрев до 150°C позволил избежать возникновения трещин и улучшить механические свойства наплавленного металла на уровне основного.

Отпуск или отжиг конструкции из хорошо сваривающихся сталей применяется редко, в порядке исключения, для снятия внутренних напряжений, во избежание коробления конструкции после сварки и механической обработки, а также для повышения работоспособности сварного соединения при работе в сложных условиях.

Если необходимо получить равнопрочность наплавленного и основного металла, то тип электрода подбирают по прочности основного металла. Например, согласно ГОСТ 380—71 сталь СтЗсп имеет временное сопротивление или предел прочности, равный 38—44 кгс/мм<sup>2</sup>. Средний предел прочности равен 41 кгс/мм<sup>2</sup>. В этом случае можно принять тип электрода Э42, который обеспечивает предел прочности наплавленного металла, равный 42 кгс/мм<sup>2</sup>. Согласно типу электрода (Э42) можно выбрать марку электрода (см. табл. 13).

Для более ответственных конструкций в этом случае принимают электроды типа Э42А.

#### 4. СВАРКА СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

Среднеуглеродистые стали содержат 0,25—0,60% углерода. При таком содержании углерода в процессе резкого остывания металла шва и околошовной зоны возникают хрупкие закаленные участки металла, большие внутренние напряжения, которые могут вызвать возникновение трещин. Чем выше содержание углерода в

стали, тем сильнее она воспринимает закалку при резком остывании, выше ее хрупкость и склонность к трещинам.

Для получения пластичного металла шва и околошовной зоны необходим предварительный и сопутствующий подогрев, а также медленное остывание сварного шва. Кроме того, для повышения пластичности металла шва и устойчивости к трещинам следует снижать глубину проплавления (диаметр электрода и ток), применять электроды типа Э42А, Э46А, Э50А.

Температура предварительного подогрева должна быть тем выше, чем больше содержание углерода в сталях, и находиться в интервале 100—450°C. Чтобы обеспечить более надежную работу сварной конструкции, рекомендуется после сварки отжиг или высокий отпуск. Наилучшие результаты достигаются, если сразу же после сварки поместить конструкцию в отжигательную печь, нагретую до 675—700°C, и после выдержки медленно охладить с печью до 150—100°C, дальнейшее охлаждение — на воздухе.

Предварительный подогрев небольших конструкций (деталей) легко вести в печи. Если конструкция массивная и объем сварки большой, нужно температуру подогрева повысить с учетом того, что в процессе выгрузки конструкции из печи, транспортировки ее к месту сварки и кантовки она будет охлаждаться. В таких случаях удобнее применять предварительный и сопутствующий подогрев газовой горелкой.

Сварка при температуре окружающей среды ниже плюс 5°C не рекомендуется, особенно при содержании углерода от 0,4% и выше из-за возможного возникновения хрупкости и трещин.

Температуру предварительного и сопутствующего подогрева можно определить с помощью термоиндикаторов, к которым относятся термокарандаши (термоиндикаторные карандаши) и термокраски. Термоиндикаторы представляют собой вещества, которые меняют свой

внешний вид или состояние при достижении определенной температуры, называемой критической ( $T_{кр}$ ).

Все термоиндикаторы разделяют на химические и термоиндикаторы плавления. Рижский лакокрасочный завод выпускает химические термоиндикаторы в виде красок для контроля температур в диапазоне 45—800°C и в виде термокарандашей для контроля температур в диапазоне 130—470°C, а также термоиндикаторы плавления (ТП), начиная от ТП-36 до ТП-254 (от 36 до 254°C).

В производственных условиях для контроля температур свариваемого металла нашли применение термокарандаши (табл. 19).

Таблица 19. Химические термоиндикаторы в виде карандашей

Марка	$T_{кр}$	Цветовой переход	
		до воздействия $T_{кр}$	после воздействия $T_{кр}$
110	130	Желтый	Оранжевый
240	240	Бирюзовый	Белый
250	250	Зеленый	Светло-коричневый
260	360	Охристый	Красно-коричневый
380	380	Бледно-зеленый	Серый через светло-коричневый
440	400	Белый	Светло-коричневый через бежевый
410	410	Голубой	Светло-бежевый через серый
470	470	Сине-зеленый	Белый через темно-зеленый

Термокарандаши представляют собой цилиндрические восковые стержни диаметром 8—10 мм и длиной 100—120 мм. Для измерения температуры металла на его поверхность термокарандашом наносят штрихи-отметки. О температуре судят по изменению цвета нанесенных штрихов. Одним термокарандашом можно нанести около 2000 штрихов-отметок.

## 5. СВАРКА ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

Высокоуглеродистые стали содержат 0,6—2,14% углерода и потому относятся к плохо сваривающимся. Эти стали еще в большей степени, чем среднеуглеродистые, воспринимают закалку, склонны к трещинам. Поэтому при сварке их предварительный подогрев и отжиг после сварки совершенно необходимы. Режимы нагрева и охлаждения определяются содержанием в стали углерода.

Сварка высокоуглеродистых сталей при температуре окружающей среды ниже плюс 5°C, как и на сквозняках, категорически запрещается.

## 6. СВАРКА ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Стали со специальными свойствами, которые придают им легирующие элементы (хром, никель, молибден, ванадий и др.), называют легированными.

Низколегированные хорошо сваривающиеся стали типа 09Г2С в общем случае не требуют ни предварительного подогрева, ни термообработки после сварки. Хорошо свариваются ручной, полуавтоматической и автоматической сваркой под флюсом и в углекислом газе. В отдельных случаях применяют предварительный подогрев, если создаются условия, аналогичные предусмотренным в таблицах 17, 18, и термообработку ответственных сварных конструкций для снятия напряжений.

К хорошо сваривающимся низколегированным сталям относится также сталь 10ХСНД (СХЛ-4). Однако качество сварных соединений при сварке этой стали иногда бывает ниже, чем при сварке стали 09Г2С. Не случайно ее не рекомендуют для изготовления воздухосборников, работающих под давлением согласно ГОСТ 9028—59 (см. табл. 16).

Стали с более высоким содержанием углерода типа

15ХСНД (СХЛ-1, НЛ-2) и подобные им склонны в процессе быстрого остывания после сварки получать закалку, что снижает пластические свойства металла и увеличивает внутренние напряжения. Для повышения работоспособности сварных конструкций при толщине изделий из этой стали больше 15—20 мм после сварки рекомендуется высокотемпературный отпуск на 550—650°C, а при сварке толстого металла в зимних условиях необходим предварительный подогрев.

Для ручной сварки сталей 09Г2С, 15ХСНД, 14ХГС и подобных применяют электроды типа Э50А марок АНО-7 и др. (см. табл. 13). Для автоматической и полуавтоматической сварки этих сталей применяют флюсы АН-348-А, АН-348-АМ, ОСЦ-45, ОСЦ-45М в сочетании с проволоками Св-08, Св-08А, Св-08ГА, Св-10ГА, Св-20ГС, а также керамические флюсы К-2, К-4, К-11. Для автоматической и полуавтоматической сварки этих сталей открытой дугой применяют сварку в среде углекислого газа с использованием проволоки Св-08Г2С и сварку порошковой проволокой как без защиты дуги, так и с защитой углекислым газом (см. табл. 8).

При дальнейшем повышении содержания углерода свариваемость низколегированных сталей еще более затрудняется. Низколегированные стали повышенной прочности типа 25ХГС, 30ХГС и 35ХГС легче воспринимают закалку, чем сталь 15ХСНД, поэтому металл шва и околошовная зона могут иметь пониженные пластические свойства, даже возможно возникновение трещин. Особенно это характерно для стали 35ХГС, в которой углерода содержится от 0,30 до 0,40%.

Для ручной сварки таких сталей применяют электроды УОНИИ-13/55, УОНИИ-13/65, УОНИИ-13/85 и другие (см. табл. 13).

Чтобы обеспечить получение качественного сварного соединения из сталей 20ХГС, 25ХГС, 30ХГС и 35ХГС, делают предварительный подогрев до температуры

200—300°C и высокий отпуск после сварки с нагревом до 650—680°C и выдержкой примерно в течение часа на каждые 25 мм толщины свариваемого металла.

С увеличением содержания углерода и легирующих элементов в сталях такого типа температура предварительного подогрева должна быть увеличена, отжиг или высокий отпуск совершенно необходимы.

Стали 12МХ, 15ХМ и 20МХЛ, работающие при 550°, при толщине свариваемых элементов до 20—30 мм сваривают электродами ЦЛ-14. При сварке сталей 12МХ и 15ХМ требуется предварительный подогрев до 200°C, при сварке стали 20МХЛ — до 250—300°C. После сварки рекомендуется высокий отпуск при температуре 710°C. Для стали 12МХ электроды ЦЛ-14 можно заменить электродами ГЛ-14.

Стали 20ХМФ, 20ХМФЛ, 12Х1М1Ф и подобные, работающие при температуре до 570°C, сваривают электродами ЦЛ-20-63 или ЦЛ-45. Сварку производят короткой дугой с предварительным и сопутствующим подогревом изделия до 300—350°C. После сварки рекомендуется высокий отпуск с выдержкой при 700—740°C в течение 3 ч.

Стали типа Х5 и 15Х5МФА, работающие в агрессивных средах при температуре до 450°C, сваривают электродами ЦЛ-17-63. Необходим предварительный и сопутствующий подогрев изделия до 300—450°C. После сварки рекомендуется высокий отпуск с выдержкой при 760°C в течение 3 ч, охлаждение до 500°C с печью, а затем на воздухе.

Стали типа 0Х18Н10Т, 0Х18Н10, 00Х18Н10, Х18Н10Т и подобные, когда к металлу шва предъявляются требования стойкости против межкристаллитной коррозии\*,

---

\* Снижение коррозионной стойкости вследствие образования карбидов хрома. Предупредить это явление можно применением быстрого охлаждения (водой или сжатым воздухом) после сварки. Методы испытания на межкристаллитную коррозию нержавеющей сталей и сварных швов обусловлены ГОСТ 6032—58.

сваривают электродами 03Л-14. Если стали работают при температурах до 350°C, а также при отсутствии агрессивных жидких сред при температурах от минус 253 до плюс 800°C сваривают электродами 03Л-8. При этом стойкость металла шва против межкристаллитной коррозии обеспечивается только после термической обработки при температуре выше 900°C.

Если стали работают при температурах до 750°C в отсутствии жидкой агрессивной среды, а также при сварке наружного слоя облицовочного шва двухслойных сталей с высоколегированным слоем из сталей X18H10T, OX13, когда к наплавленному металлу не предъявляются требования стойкости против межкристаллитной коррозии, применяют электроды Л-39. Наплавленный металл обладает стойкостью против межкристаллитной коррозии до 350°C после термической обработки при температуре выше 900°C.

Если стали работают при температуре 600°C в агрессивных средах, когда к металлу шва предъявляются требования стойкости против межкристаллитной коррозии, применяют электроды Л-38М, Л-40М. При работе сталей в агрессивных средах применяют электроды 03Л-7. Сопrotивляемость коррозионному разрушению резко повышается после стабилизирующего отжига при 870—920°C.

При сварке сосудов сверхвысокого давления, работающих при температурах 580—660°C, применяют электроды ЦТ-15. Обеспечивается повышенная стойкость против межкристаллитной коррозии. При сварке первого слоя рекомендуются электроды ЦТ-15-1. Электроды ЗИО-3 позволяют обойтись без электродов ЦТ-15-1.

Если стали работают в агрессивных средах, сварка производится электродами ЦЛ-11. Металл шва после стабилизирующего отжига на 870—920°C отличается повышенной коррозионной стойкостью при температурах 450—600°C.

Стали типа 0X13, 1X13, 2X13, X14 и X17, когда по условиям работы допускается пониженное содержание хрома, сваривают электродами УОНИИ/10X13. Применяются также электроды СЛ-16 и ЛМЗ-1. Сталь типа X17 может свариваться также электродами УОНИИ/10X17Т, когда изделие будет работать при температурах выше 600°C в агрессивных и окислительных средах. Во избежание образования трещин необходим предварительный подогрев до 250—400°C и последующий отпуск при 720—750°C в течение 1 ч. Охлаждение с печью.

Стали типа 1X11МФ, 15X12ВМФ, а также литые стали X11Л-А и X11Л-Б, работающие при 535—580°C, сваривают электродами КТИ-10-62. При сварке необходим подогрев до 350—400°C, после сварки — отпуск при 720—730°C в течение 5 ч.

Стали типа X17Н13М2Т сваривают электродами ЭА-898/21, ЭА-400/10У, ЭНТУ-3М, ЦЛ-4, СЛ-28, НЖ-13, типа X15Н9Ю — электродами НИАТ-6, типа X17Н5МЗ — электродами НИАТ-6АМ, типа 10X18Н3ТЗД2-Л — электродами ЦЛ-33, типа 1X21Н5Т и X25Н5ТМФ — электродами 15М,  $\frac{08X25Н5ТМФ}{Н-48}$ , 03Л-11.

Стали типа X23Н13, X23Н18, 4X18Н25С2, работающие при температуре 1100°C, сваривают электродами 03Л-6. Этими же электродами сваривают стали X25Т, X28, X28АН и другие, работающие при этой же температуре, но без циклических резких изменений ее и в средах, не содержащих сернистого газа. Если изделия из указанных сталей работают при температурах 900—1100°C, то применяют электроды 03Л-4, которые обеспечивают высокую устойчивость к трещинам.

Если стали X23Н13, X23Н18, X25Т, X28, X28АН работают при температуре 850°C, то применяют электроды ЦЛ-35.

Стали типа Х23Н18, работающие в окислительных и науглероживающих средах при температурах 900—1050°C, сваривают электродами 03Л-9А. Этими же электродами можно сваривать стали 4Х18Н25С2, Х18Н35С2, Х25Н20С2, работающие при температурах до 1100°C. В последнем случае для сварки первого слоя следует применять электроды ГС-1 или 03Л-5.

Стали типа Х25Н20С2, работающие при температурах 900—1100°C, сваривают электродами 03Л-5 и ЦТ-17. Эти стали и сталь типа 35Х25Н20С2, работающие при температурах 900—1100°C, сваривают электродами

03Л  
АНЖ -16. Если стали работают при температуре 1100°C, когда к металлу не предъявляются требования жаростойкости и жаропрочности, их сваривают электродами 03Л-9-1. При многослойной сварке первый слой необходимо варить электродами ГС-1. Огневая подготовка кромок под сварку указанных сталей не допускается.

Стали типа 1Х16Н14В2БР, работающие при температурах до 700°C, сваривают короткой дугой электродами ЦТ-16. Во избежание горячих трещин первые слои и корень шва следует сваривать электродами ЦТ-16-1. При работе до 600°C (а также для наплавки арматуры, работающей при температурах до 540°C) применяют электроды ЦТ-1. Применяют также электроды АЖ-13-18, ЦТ-13, ЦТ-23. Если изделие работает при температурах до 600°C, применяют электроды ЦТ-1, которые обеспечивают повышенную устойчивость металла шва против образования горячих трещин. Паропроводы и пароперегреватели сверхвысокого давления, работающие при той же температуре, сваривают: первый слой электродами Ц-7-1, когда не предъявляются требования стойкости металла шва против межкристаллитной коррозии, последующие слои — электродами ЦТ-7. После сварки — отжиг при 750—800°C.

Литые или кованные стали типа 15Х14Н1, 4М2ВФБТ,

X23H13, работающие при температурах 550—600°C, сваривают электродами КТИ-5-62. Они же используются и для исправления брака литья из этих сталей. Подобные по составу стали, работающие при 600—850°C, сваривают электродами ЦТ-26, первый слой—электродами ЦТ-26-1.

Стали типа X213H13 и 4X18H2502, работающие при температуре 1050°C, когда к металлу предъявляются требования повышенной стойкости против охрупчивания, сваривают электродами 03Л-9, при многослойной сварке необходимо применять электроды 03Л-9 поочередно с электродами 03Л-4, 03Л-5, 03Л-6 и ГС-1. Огневая подготовка свариваемых кромок не допускается.

Стали X23H13, X25T, X28 и им подобные, работающие при температурах 900—950°C в условиях газовых сред, содержащих сернистые соединения, сваривают электродами 03Л-2.

Стали типа ХН35ВТ сваривают электродами КТИ-7-62, при работе до 750°C эти стали и типа Х15Н35 — электродами ЦТ-22.

Стали типа ХН78Т, ХН67ВМТЮ, ХН77ТЮ, ХН60В сваривают электродами ИМЕТ-4, ИМЕТ-10. Обеспечивается повышенная устойчивость к трещинам. Эти стали сваривают также электродами ЦЛ-28, НИАТ-7, НИАТ-8А, ЦЧМ-3.

Выбор технологии для получения качественных сварных соединений при сварке средне- и высокоуглеродистых сталей, а также легированных при ручной сварке, автоматической и полуавтоматической под флюсом и в среде защитных газов во многом зависит от условий работы сварных конструкций [9].

## **7. ПОДГОТОВКА МЕТАЛЛОВ И ТИПЫ ШВОВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИИ**

Поверхность свариваемого металла перед сваркой должна быть зачищена до полного удаления ржавчины,

окалины, смазочных материалов и других загрязнений. При сварке и наплавке литья следует удалять и вскрытые внутренние дефекты (шлаковые включения, газовые раковины и т. д.), поскольку загрязнения поверхности и неметаллические включения в процессе сварки соприкасаются с жидким металлом и способствуют возникновению непровара и пористости швов. Прихватки в процессе сборки следует делать качественными электродами с последующей тщательной зачисткой швов.

Большое влияние на качество сварных швов оказывает геометрия свариваемых деталей (углы скоса кромок, притупление, зазор между свариваемыми элементами).

При ручной дуговой сварке основные типы швов сварных соединений и конструктивные элементы выполняют согласно ГОСТ 5264-69:

швы стыковых соединений с отбортовкой, без скоса кромок, V-образные, К-образные, Х-образные;

швы угловых соединений с отбортовкой, без скоса кромок, со скосом одной кромки, с двумя скосами одной кромки, со скосом двух кромок;

швы тавровых соединений без скоса кромок, с одним скосом кромки, с двумя скосами одной кромки;

швы соединений внахлестку без скоса кромок, с удлиненным отверстием.

Форма подготовленных кромок по каждому виду соединений принимается согласно ГОСТу для определенных толщин металла, имеет буквенно-цифровые условные знаки типа шва.

Например, стыковое соединение с V-образным скосом двух кромок применяется при толщине свариваемого изделия 3—50 мм, буквенно-цифровое обозначение его — С-15 (С — стыковое соединение, 15 — порядковый номер). Если при таком соединении применяется шов с подваркой корня, то шов сварного соединения обозначается С18.

ГОСТом предусмотрено 25 вариантов стыковых соединений (С1, С2, ..., С25), 10 угловых (У1, У2, ..., У10), 11 тавровых (Т1, Т2, ..., Т11) и три нахлесточных (Н1, Н2, Н3).

Каждый тип соединения и элементы шва имеют строго определенные размеры. Для швов сварных соединений, которые образуют между собой угол в 90 или 180°, следует пользоваться ГОСТ 5264—69. Для швов соединений, свариваемых ручной дуговой сваркой и образующих между собой острые и тупые углы, разработан ГОСТ 11534—65. Для швов сварных соединений, свариваемых автоматической и полуавтоматической сваркой под флюсом, рекомендуются ГОСТ 8713—70 и ГОСТ 11533—65. Условные изображения и обозначения швов сварных соединений на чертежах устанавливает ГОСТ 2.312—72.

Основные типы и конструктивные элементы сварных соединений при электродуговой сварке в защитных газах установлены ГОСТ 14771-69, который рекомендует следующие обозначения способов сварки:

ИН — в инертных газах неплавящимся вольфрамовым электродом без присадочного материала;

ИНп — то же, но с присадочным материалом;

ИП — в инертных газах и их смесях с активными газами плавящимся электродом;

УП — в углекислом газе плавящимся электродом.

Основные типы и конструктивные элементы сварных соединений и швов при электрошлаковой сварке установлены ГОСТ 15164—69. Обозначения способов сварки:

ШЭ — электрошлаковая проволочным электродом;

ШМ — электрошлаковая плавящимся мунштуком;

ШП — электрошлаковая электродом большого сечения, соответствующим форме поперечного сечения сварочного пространства.

Основные типы и конструктивные элементы сварных соединений, выполняемых контактной электросваркой,

устанавливает ГОСТ 15878—70. Обозначения способов контактной электросварки следующие:

Кт — контактная точечная;

Кр — контактная роликовая;

Кв — контактная рельефная;

Кс — контактная стыковая;

Кс.о — контактная стыковая оплавлением;

Кс.с — контактная стыковая сопротивлением.

Основные типы и конструктивные элементы сварных заклепочных соединений установлены ГОСТ 14776—69:

ЭФЗ — под флюсом;

ЭУЗ — в углекислом газе;

ЭПлЗ — в аргоне плавящимся электродом;

ЭНпЗ — в аргоне неплавящимся электродом.

Необходимо пользоваться также ГОСТ 14806—69 на швы сварных соединений конструкций из алюминия и алюминиевых термически неупрочняемых сплавов при толщине кромок от 0,8 до 60,0 мм включительно, а также ГОСТ 16038—70 на основные типы и конструктивные элементы швов сварных соединений трубопроводов из меди марки МЗр и сплава марки МНЖ5-1.

## Глава IV. СВАРКА И НАПЛАВКА ЧУГУНА

Сварка и наплавка чугуна применяются при исправлении дефектов чугунного литья и при ремонте деталей машин (сварка сломанных и наплавка изношенных деталей). Технологической сварки, которая заранее проектируется при изготовлении продукции, для чугунных деталей практически не существует.

### 1. ЧУГУН И ОСОБЕННОСТИ ЕГО СВАРКИ

Чугуном называют сплав железа с углеродом, содержащий свыше 2,14% углерода. Наиболее распростра-

ненные чугуны содержат до 4% углерода, 0,5—5,5% кремния, 0,2—1,5% марганца. Применяемые для сварки чугуны в основном разделяют по структуре — серый и белый и по химическому составу — легированный и нелегированный.

В сером чугуне (излом серый) углерод находится как в свободном состоянии — в виде графита, так и в химически связанном — в виде цементита, обладающего высокой твердостью и хрупкостью.

В белом чугуне (излом белый) почти весь углерод находится в химически связанном состоянии (цементит), а потому белый чугун отличается высокой твердостью и хрупкостью. Способность чугуна к отбелу зависит от скорости остывания чугуна и содержания в нем углерода, кремния, никеля. Чем меньше скорость остывания и выше содержание указанных элементов, тем меньше отбел.

В состав легированного чугуна входят легирующие элементы (хром, никель), которые придают ему специальные свойства.

Сварке и наплавке чаще всего подвергается серый чугун, марки которого согласно ГОСТ 1412—70 состоят из двух букв и двух цифр: Сч 12-28, Сч 15-32, ..., Сч 44—64. Сч — означает серый чугун, первые две цифры — среднее временное сопротивление разрыву, вторые — временное сопротивление изгибу. С увеличением прочности растет твердость чугуна от НВ 143 до 289.

В редких случаях сваривают и наплавляют ковкий чугун и высокопрочный.

Ковкий чугун получают из белого в результате термической обработки — отжиг или томление в песке при 800—850°C; при этом цементит распадается и часть углерода выделяется в свободном состоянии, т. е. в виде графита. Ковкий чугун обладает более высокой пластичностью и вязкостью, чем серый. Согласно ГОСТу он маркируется: КЧ 30-6, КЧ-33-8, ..., КЧ 63-2. Маркировка ковкого чугуна расшифровывается несколько иначе, чем се-

рого. Первые две цифры — временное сопротивление, третья — относительное удлинение в процентах. С увеличением прочности относительное удлинение снижается от 6 до 2%, а твердость растет от НВ 163 до 269.

Высокопрочный чугун отличается от других чугунов тем, что графит в нем шаровидной формы, которая обеспечивает высокое временное сопротивление (40—120 кгс/мм<sup>2</sup>) и удовлетворительную пластичность.

Отливки из высокопрочного чугуна (ГОСТ 7293—70) изготавливают из чугуна марок: ВЧ 38-17, ВЧ 42-12, ВЧ 120-4. Первые две цифры определяют временное сопротивление (кгс/мм<sup>2</sup>), вторые — относительное удлинение (%).

Сваривают также антифрикционный чугун (ГОСТ 1585—70) различных марок: антифрикционный чугун серый (АЧС-1, АЧС-2, ..., АЧС-6), антифрикционный чугун высокопрочный (АЧВ-1, АЧВ-2), антифрикционный чугун ковкий (АЧК-1, АЧК-2).

В процессе сварки следует стремиться избегать отбела чугуна, потому что отбеленный имеет высокую твердость, хрупкость и, следовательно, склонность к трещинам за счет больших внутренних напряжений. Чтобы избежать отбела, нужно обеспечить медленное остывание наплавленного металла и зоны термического влияния. Этого можно достичь, применяя предварительный общий или местный подогрев детали или электроды из цветных сплавов.

## 2. СПОСОБЫ СВАРКИ И НАПЛАВКИ ЧУГУНА

Существует три основных способа сварки и наплавки чугуна: металлическим плавящимся электродом, неплавящимся угольным электродом, газовой сваркой. В качестве присадочного металла применяют низкоуглеродистую сталь, цветные металлы и чугун.

В зависимости от исходной температуры свариваемой детали различают три разновидности сварки чугуна: холодную — без предварительного подогрева, полугорячую — с предварительным подогревом всей детали или свариваемого участка до температуры 300—400°C и горячую — с нагревом всей детали до температуры 600—650°C.

Для холодной сварки чугуна используют газовую сварку; порошковую проволоку; стальные электроды с обычным и специальным покрытием (электроды УОНИИ-13/45 и ЦЧ-4); специальные электроды, имеющие стержни из различных металлов и сплавов, например, медноникелевых сплавов (электроды МНЧ-1), железоникелевых (электроды ЦН-3А), меди (с железным порошком в покрытии, электроды ОЗЧ-1), хромоникелевого сплава с медной оболочкой (электроды АНЧ-1), чугуна с повышенным содержанием никеля; обычные покрытые электроды с использованием шпилек, анкеров и стальных планок.

Полугорячая сварка более трудоемка, чем холодная, но она позволяет снизить скорость остывания наплавленного металла и зоны сплавления, что способствует предотвращению отбела чугуна, снижает внутренние напряжения и склонность к трещинам.

Горячая сварка еще более трудоемка, но она обеспечивает самые благоприятные условия для предотвращения отбела, закалки и трещин.

В зависимости от требований к наплавленному металлу и зоне сплавления сварка и наплавка чугуна имеют следующие назначения, которые определяют выбор технологии сварки и наплавки:

декоративная, когда к наплавленному металлу и зоне сплавления не предъявляется высоких требований, например, при исправлении дефектов чугунолития;

под механическую обработку, когда наплавленный

металл и зона сплавления не должны иметь твердых участков;

на прочность при ремонте сломанных деталей машин, работающих в условиях статических или динамических нагрузок;

на плотность, когда требуется заварить течи в емкостях или в чугунных сосудах под давлением;

на коррозионную стойкость в атмосферных условиях, в морской воде или в какой-либо другой среде;

на устойчивость к износу трением при наплавке изношенных деталей машин.

Чтобы в производственных условиях выбрать технологию сварки чугуна, нужно прежде всего знать, каких результатов следует добиться от сварки и наплавки. Применяются следующие способы.

Автоматическая и полуавтоматическая сварка порошковыми проволоками ППЧ-1, ППЧ-2, ППЧ-3 на постоянном токе обратной полярности. Способ разработан Институтом электросварки им. Е. О. Патона. Проволока ППЧ-1 предназначена для сварки чугуна без подогрева (холодная сварка), проволоки ППЧ-2 и ППЧ-3 — для сварки с местным или общим подогревом (полугорячая и горячая сварка). При диаметре проволоки 3 мм принимают: ток — 260 А, напряжение — 30 В, скорость подачи проволоки — 180 м/ч. При сварке ответственных изделий рекомендуется защита дуги углекислым газом.

Автоматическая и полуавтоматическая сварка и наплавка чугуна порошковыми проволоками выполняются на стандартном оборудовании и имеют такие преимущества: высокая производительность за счет механизации; возможность получения наплавленного металла того же состава, что и чугуна (практически любого заданного состава).

Области применения: сварка чугунных деталей при ремонтных работах, исправление дефектов чугунного ли-

тья под механическую обработку, а также на плотность.

Сварка чугуна электродами ЦЧ-4 ведется без подогрева, но, если детали массивные, то их подогревают до 150—250°C. Electroды состоят из стального стержня с фтористо-кальциевым покрытием, разработанным в отделе сварки ЦНИИТмаша. Наплавленный металл отличается повышенным содержанием ванадия (9,5%) и низким содержанием углерода (до 0,15%). Для уменьшения отбела чугуна в зоне сплавления и для облегчения механической обработки глубина проплавления свариваемого чугуна должна быть минимальной.

Сварка чугуна медно-никелевыми и медно-кобальтовыми электродами МНЧ-1 ведется без подогрева. Electroды МНЧ-1 изготавливают по ГОСТ 9466—75 из проволоки НМЖМц (монель) или МНМц (константан) с фтористо-кальциевым покрытием.

Распространение получили electroды из монель-металла. Многие заводы получают проволоку НМЖМц (никель — 60%, медь — 35%, железо — 3%, марганец — 1,5%) и наносят покрытие самостоятельно. Простейший состав покрытия на жидком стекле: графит—40%, мел — 60%. Electroды из монель-металла дорогие, но обладают рядом достоинств. Наплавленный металл представляет собой железоникельмедный сплав с твердостью НВ 135, в переходной зоне — НВ 160, что позволяет свободно вести механическую обработку. Недостатки electroдов МНЧ-1 в том, что они не обеспечивают металл шва с высокой устойчивостью к возникновению пор и трещин, потому сварку ведут предельно короткой дугой валиками длиной 15—20 мм. После обрыва дуги рекомендуется валик проковывать и возобновлять сварку только после его охлаждения до 50—60°C. При увлажнении покрытия electroды следует просушить при 150—200°C в течение 1—1,5 ч.

На рис. 5, а, б представлены микрофотографии зоны сплавления при сварке чугуна покрытым электродом из монель-металла. В нижней части рисунков виден серый чугун с характерными выделениями свободного графита (в виде темных штрихов), в верхней — сплав чугуна, никеля и меди. Как видим, отбеленной полоски чугуна в

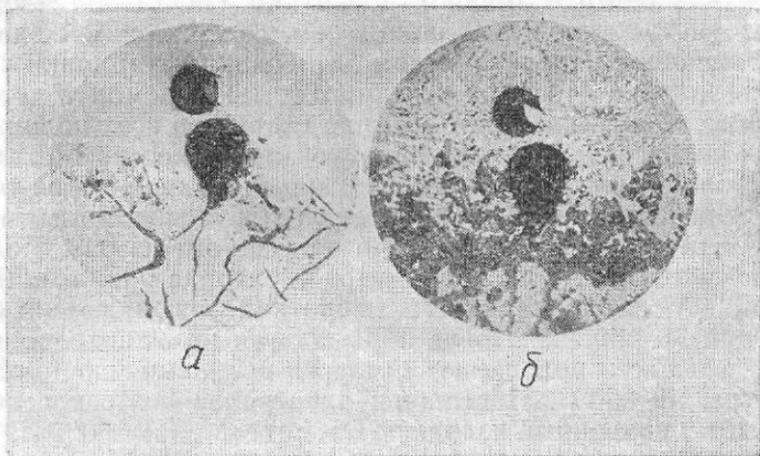


Рис. 5. Зона сплавления при сварке чугуна монель-металлом: а — без травления; б — с травлением трехпроцентным раствором азотной кислоты. Увеличение в 100 раз

зоне сплавления нет (свободный графит контактирует с основанием шва). Это позволяет вести механическую обработку, способствует снижению внутренних напряжений и склонности к трещинам. В основании шва видны две газовые микропоры.

Электроды МНЧ-1 выпускает Московский опытный сварочный завод. Поскольку эти электроды дорогие, то при больших сечениях наплавленного металла рекомендуется применять их только для подложки и в последних обрабатываемых слоях. Промежуточные слои можно

варить менее дорогими и дефицитными стандартными электродами (03Ч-1).

Сварка и наплавка чугуна медно-железными электродами возможна в нескольких вариантах, лучший из них — с использованием стандартных электродов марки 03Ч-1. Их изготавливают по ГОСТ 9466—75 из медной проволоки (ГОСТ 2112—62) с фтористо-кальциевым покрытием, содержащим железный порошок. Предназначены для сварки и наплавки чугуна, заварки дефектов чугунного литья и ремонта деталей без подогрева. Пригодны для сварки во всех положениях на постоянном токе обратной полярности. Металл шва пластичный, плотный и прочный, механическая обработка затруднена, выполняется твердосплавным инструментом. Наплавленный металл состоит из 89% меди и 11% железа. На 1 мм диаметра электрода принимается ток 35 А, наплавка ведется короткой дугой валиками длиной 30—60 мм. После обрыва дуги валики проковывают, сварку продолжают после их остывания до температуры 50—60°C. Поставщик электродов — Московский опытный сварочный завод.

Для сварки и наплавки чугуна железоникелевыми электродами используют стандартные электроды ЦЧ-3А, разработанные в отделе сварки ЦНИИТмаша. Некоторые машиностроительные заводы изготавливают их самостоятельно (отливают прутки и наносят обмазку).

Электроды ЦЧ-3А состоят из проволоки Св-08Н50 (ГОСТ 2246—70) с фтористо-кальциевым покрытием. Целевое назначение: сварка высокопрочного магниевого чугуна со сфероидальным графитом. Используют также для сварки и наплавки серого чугуна. Электроды обеспечивают высокую прочность сварного соединения и удовлетворительную механическую обработку.

Часто сломанные детали станочного оборудования, сваренные железоникелевыми электродами с проковкой

валиков и выдержкой для остывания, хорошо работают на протяжении многих лет.

Наплавленный металл содержит: углерода — 0,3%, кремния — 5,25%, никеля — 50%. Металл шва имеет временное сопротивление — 52,3 кгс/мм<sup>2</sup>, предел текучести — 33,9 кгс/мм<sup>2</sup>, относительное удлинение — 7,3%.

Сварка ведется постоянным током обратной полярности с минимальным проплавлением чугуна на пониженном режиме: на 1 мм диаметра электрода принимают ток 30 А. Рекомендуется варить короткими швами длиной 70—100 мм, через каждые 20—30 мм делать повторно-возвратные движения электродом. После наложения каждого шва необходима проковка металла в горячем состоянии и остывание чугуна в околшовной зоне до 50—60°C.

Сварка чугуна медно-хромоникелевым электродом АНЧ-1 разработана Институтом электросварки им. Е. О. Патона. Электроды изготавливают из проволоки марок Св-04Х19Н9 и Св-04Х19Н9Т, оболочка из красной меди марки М2 или М3 (ГОСТ 859—66), покрытие фтористо-кальциевое. Применяется постоянный ток обратной полярности (30 А на 1 мм диаметра электрода).

Наплавленный металл содержит: углерода — 0,13%, хрома — 4,50%, никеля — 2,50%, марганца — 0,65%, кремния — 0,40%, остальное — медь и железо.

Сварку нужно вести короткими участками с проковкой шва в горячем состоянии сразу же после обрыва дуги. Перед заваркой следующего участка деталь охлаждают до 40—50°C. Прокалка электродов перед сваркой при 300—350°C в течение часа обязательна. При холодной сварке чугуна обрабатываемость на металлорежущих станках удовлетворительная.

Сварку и наплавку чугуна электродами из никелевого чугуна применяют для исправления дефектных мест в отливках. Чугунный стер-

жень содержит 2,5% углерода, 2—2,5% кремния, 0,6—0,8% марганца, 20—22% никеля, 5% меди, 0,05—0,06% серы и 0,1—0,2% фосфора. Покрытие электрода состоит из 70% карборунда и 30% углекислого бария, замешанных на жидком стекле. Используют переменный и постоянный ток. Механическая обработка сваренных или наплавленных мест в зоне сплавления при холодной сварке сильно затруднена. При многослойной сварке обрабатываемость несколько лучше. Более желательна горячая сварка и медленное остывание.

Сварка и наплавка чугуна стальными низкоуглеродистыми электродами ведется без предварительного подогрева (холодная сварка) с использованием сварочной проволоки марок Св-08 и Св-08А (ГОСТ 2246—70), содержащей не более 0,1% углерода. Применяются как тонкопокрытые, так и толстопокрытые (или качественные) электроды. Для ответственных работ применяют качественные электроды. При сварке рекомендуется соблюдать следующие правила: минимальное проплавление чугуна за счет использования электродов малого диаметра и низких токов; сварка короткими валиками (40—60 мм и несколько более) с перерывами для их остывания до температуры 60—80°C; последовательное наложение валиков в различных участках разделки; усиление шва последними слоями по высоте и ширине.

Лучшие результаты, как установлено практикой многих заводов, получают при использовании электродов УОНИИ-13/45 на постоянном токе обратной полярности. Однако высокого качества свариваемого соединения при этом не достигается. В результате быстрого остывания чугуна в зоне сплавления отбеливается, металл первого валика, в котором содержание углерода повышенное, закаливается. Отбел и закалка затрудняют последующую механическую обработку. Большие внутренние напряжения и хрупкость наплавленного металла приводят к воз-

никновению в нем трещин. Получить плотные сварные швы при этом весьма трудно. Многослойная наплавка позволяет несколько снизить твердость металла в зоне сплавления и наплавленного металла, благодаря чему, хотя и с большими трудностями, становится возможной механическая обработка наплавленных мест, хотя скорость резания снижается в 1,5—2 раза и расход дорогостоящих пластинок из твердых сплавов повышается.

При ванном способе сварки или наплавки чугуна стальным электродом можно достичь удовлетворительной обрабатываемости за счет разогрева основного металла, снижения доли основного металла в сварочной ванне и медленного остывания.

Чаще всего стальные электроды используют для декоративной и полудекоративной наплавки при исправлении дефектов чугунного литья с последующей пневмошлифовкой наплавленных участков. Используют их также при сварке чугунных изделий с помощью шпилек (рис. 6). Этот способ применяется на ремонтных работах, главным образом при сварке металла толщиной 8 мм и более. Вначале разделяют кромки деталей (угол разделки 90°), затем в шахматном порядке засверливают отверстия и нарезают в них резьбу. В отверстия ввертывают шпильки. При толщине металла от 10 до 30 мм и более диаметр шпилек увеличивают от 10 до 16 мм и более. Сварку ведут качествен-

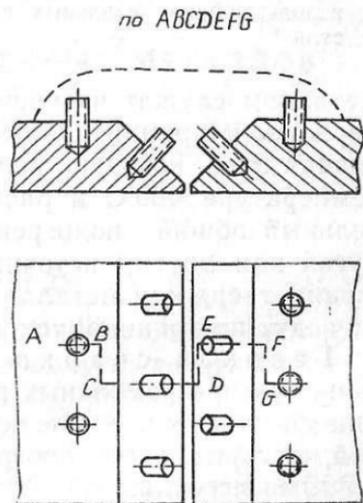


Рис. 6. Схема сварки чугуна стальным электродом с применением шпилек

ными электродами типа Э42 и Э42А. Вначале обваривают шпильки кольцевыми швами, затем сваривают кольцевые швы между собой. Глубина резьбы должна составлять около двух диаметров шпильки.

Можно применять стальные полосы, которые накладывают на свариваемые детали и приваривают их к деталям и шпилькам.

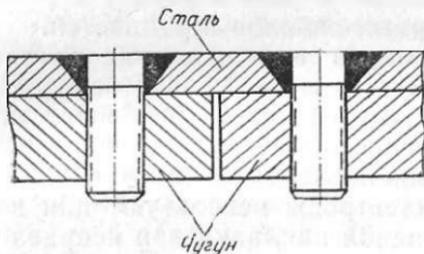


Рис. 7. Схема сварки чугуна с использованием стальных пластин

Хорошие результаты от применения стальных пластин (рис. 7) неоднократно подтверждались работой отремонтированных шахтных машин и механизмов (чугунные тормозные шкивы, корпуса компрессоров и т. д.).

При сварке чугуна угольным электродом присадочным металлом служат чугунные стержни с повышенным содержанием кремния. Флюсом является техническая безводная бура, которую перед сваркой прокаливают при температуре 400°C и растирают в порошок. Предварительный общий подогрев детали и местный подогрев дугой или другим источником тепла способствуют снижению твердости металла шва и зоны сплавления. Сварку ведут постоянным током прямой полярности.

Газовая сварка (и пайка) чугуна применяется при ремонтных работах и обеспечивает хорошие результаты, особенно при сварке небольших деталей, которые легче прогреть газовым пламенем или другими источниками тепла. Сварку ведут ацетиленокислородным пламенем. Присадочным материалом служат стержни из чугуна (см. с. 27) или стальная сварочная проволока марок Св-08 и Св-08А. Для пайки приме-

няют латунные прутки. В качестве флюса для сварки и пайки используют буру.

Чтобы избежать после сварки трещин, нужно обеспечить медленное остывание детали. Поэтому заваренные участки сразу же после сварки надо засыпать древесным углем или сухим песком. Желательно помещать деталь в печь с температурой  $500^{\circ}\text{C}$  и охлаждать с печью. Особенно это важно для ответственных деталей, работающих при ударных или знакопеременных нагрузках.

Приведенные примеры и рекомендации дают лишь общее представление о существующих способах сварки и наплавки чугуна.

Получение качественных сварных соединений при сварке чугуна, как и любых металлов, требует не только выбора и разработки правильной технологии сварки, но и высокой квалификации сварщиков.

## Глава V. СВАРКА ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

К цветным металлам относятся: медь, алюминий, никель, титан и др. Эти металлы и их сплавы обладают различными свойствами, а потому требуют при сварке применения различной технологии.

### 1. СВАРКА МЕДИ

Медь (ГОСТ 859—66) обладает высокой теплопроводностью (в шесть раз выше, чем у железа), теплоемкостью и способностью окисляться при нагревании, что создает особые трудности при сварке. Температура плавления составляет  $1083^{\circ}\text{C}$ , плотность —  $8,9 \text{ г/см}^3$ , предел прочности —  $20 \text{ кгс/мм}^2$ , относительное удлинение— $50\%$ . При расплавлении медь, соединяясь с кислородом, образует черную пленку окиси  $\text{CuO}$  и закись меди  $\text{Cu}_2\text{O}$ , которые препятствуют получению плотного сварного шва.

Закись меди образует с медью эвтектический сплав, имеющий температуру плавления ниже, чем чистая медь, на 15°C. Этот сплав в период кристаллизации создает по границам зерен меди жидкие прослойки, чем вызывает ее охрупчивание, усиливает красноломкость и склонность к трещинам. Красноломкость усиливают также висмут и сера. Следовательно, содержание в меди кислорода, висмута и серы должно быть минимальным. Кроме того, закись меди взаимодействует с водородом с образованием водяного пара, который вызывает пористость сварных швов. Поэтому перед сваркой меди нужно обязательно электроды прокалить.

Согласно ГОСТ 859—66 в зависимости от химического состава устанавливаются следующие марки — в скобках указана чистота, в %, не менее: МОО (99,99), МО (99,95), МОб (99,97), М1 (99,90), М1р (99,90), М2 (99,70), М2р (99,70), М3 (99,50), М3р (99,50), М4 (99,0). Медь с более высокой чистотой обладает лучшей свариваемостью.

При сварке медь нужно подогревать до 300—500°C из-за ее высокой теплопроводности и теплоемкости. Не требуется подогрев деталей толщиной до 2—6 мм, когда основной металл легко прогреть за счет тепла сварочной дуги.

Перед сваркой поверхность меди тщательно очищают металлической щеткой от загрязнений или промывают 10%-ным раствором каустической соды.

Наиболее известны следующие способы дуговой сварки меди: сварка угольным или графитовым электродом; сварка металлическим электродом; сварка в среде защитных газов; сварка под флюсом. Применяют также сварку меди газовым (ацетилено-кислородным) пламенем.

Выбор способа диктуется толщиной и составом металла, требованиями к сварному шву (прочность, плотность, коррозионная стойкость), наличием оборудования, мате-

риалов и обученных специалистов — сварщиков, характером и срочностью работы (разовые и аварийные работы, связанные с ремонтом, случайные работы индивидуального или массового характера, освоение постоянной технологической сварки при индивидуальном или массовом производствах и т. д.).

Сварку меди угольным или графитовым электродами (табл. 20) ведут постоянным током прямой полярности при толщине металла более 0,5 мм. Длина дуги при этом 30—40 мм. В качестве присадочного металла используют прутки из меди М1, М2 или из меди с повышенным содержанием фосфора (до 0,2%).

Таблица 20. Ориентировочные режимы сварки меди угольным и графитовым электродами

Толщина свариваемого металла, мм	Диаметр присадочного прутка, мм	Диаметр электрода, мм		Сила тока, А
		угольного	графитового	
до 1,5	1,5	8	6	130—180
1,5—2,5	2,0	10	8	180—230
2,5—4,0	3,0	15	10	230—300
4,0—8,0	5,0	18	15	300—400
8,0—15,0	8,0	25	18	400—600

Чтобы уменьшить окисление меди и обеспечить перевод окислов в шлак, нужно применять флюс: 70% буры, 10% борной кислоты и 20% поваренной соли. Предварительно буру прокачивают до получения порошка. Для ответственных работ применяют чистую буру после прокалики. Флюс или буру насыпают на свариваемый металл перед сваркой, а также вводят нагретым концом прутка.

При сварке угольным электродом очень важно, чтобы свариваемый металл хорошо смачивался жидким металлом. Если капля жидкого металла, попадая на поверх-

ность свариваемого, не растекается, а принимает шарообразную форму, то сварку вести нельзя. Плохое растекание или смачивание говорит о слабом сцеплении (низкой адгезии) между молекулами жидкого металла и твердой поверхности.

Растеканию жидкого металла могут препятствовать загрязнение поверхности основного металла или его низкая температура. Поэтому до присадки жидкого металла свариваемый металл должен быть очищен от загрязнений и прогрет дугой, а если мощность дуги для этого недостаточна, применить предварительный или сопутствующий подогрев другим источником тепла (газовой горелкой и т. д.).

При односторонней сварке медь толщиной до 4 мм сваривают без разделки кромок, свыше 4 мм — с разделкой. При двусторонней сварке толщина свариваемого изделия без разделки может быть увеличена до 6 мм.

Режимы, условия и техника сварки меди должны тщательно отрабатываться на образцах и технологических пробах и окончательно проверяться на образцах, соответствующих по составу и геометрии свариваемому металлу.

Сварку меди металлическим плавящимся электродом применяют при толщине металла свыше 2 мм. Ток постоянный, обратной полярности. Необходимость подогрева, как и при сварке угольным электродом, сохраняется.

Для сварки меди, содержащей не более 0,01% кислорода, и сварки меди с низкоуглеродистой сталью применяют электроды «Комсомолец-100». Стержень этих электродов изготавливают из медной проволоки по ГОСТ 2112—62, покрытие — фтористо-кальциевое. Электроды пригодны для сварки в нижнем положении на постоянном токе обратной полярности. Коэффициент наплавки 14 г/А·ч. Расход электродов на 1 кг наплавлен-

ного металла 1,4 кг. Химический состав наплавленного металла, %: марганец — 2,2, кремний — 0,7, железо — 1,4, остальное — медь. Механические свойства: временное сопротивление — 27 кгс/мм<sup>2</sup>, относительное удлинение — 23%, ударная вязкость — 5 кгс·м/см<sup>2</sup>, угол загиба (изгиба) — 160°. На 1 мм диаметра электрода принимается ток 60 А. Сварка производится короткой дугой. При сварке листов толщиной до 16 мм требуется подогрев основного металла до 300—400°С, а при большей толщине необходим сопутствующий подогрев.

Электроды изготавливают заводы: «Комсомолец» (Тамбов), Балтийский им. Орджоникидзе (Ленинград), Московский опытный сварочный.

При сварке меди в среде защитных газов используют аргон или (в редких случаях) азот. Электроды можно применять как плавящиеся, так и неплавящиеся.

Сварку меди плавящимся электродом выполняют на постоянном токе обратной полярности (короткой дугой), электродным материалом служит медная проволока марок М1, Бр. КМц 3-1, Бр. ОЦ 4-3. При толщине металла 6—8 мм и больше требуется подогрев до 300—400°С, при толщине 16—20 мм и выше — еще и сопутствующий подогрев.

При сварке меди на прочность и плотность плавящимся электродом Институт электросварки им. Е. О. Патона рекомендует проволоку Бр. КМц 3-1 варить в среде аргона или азота с предварительным подогревом изделия, а при больших толщинах изделий применять и сопутствующий подогрев.

Сварку меди неплавящимся (вольфрамовым) электродом в среде защитных газов ведут на постоянном токе прямой полярности, присадочный материал — прутки из меди М1, М2, М3. При диаметре вольфрамового электрода 2,4; 3,2 и 4,8 мм ток назначают соответственно 100, 200 и 400 А, расход арго-

на — 3,6 и 8 л/мин. Необходимость предварительного и сопутствующего подогревов сохраняется.

Автоматическую сварку меди под флюсом можно выполнять неплавящимися угольным электродом и плавящимися электродами: сплошной и порошковой проволоками. Применяют плавящиеся флюсы ОСЦ-45, АН-20, АН-348-А и керамический ЖМ-1. Электродная проволока — из меди М1, М2, М3 диаметром 1,6—5 мм, постоянный ток обратной полярности. Керамический флюс ЖМ-1 дает возможность применять переменный ток.

При автоматической сварке угольным электродом используют специальные сварочные головки, для сварки металлическими электродами — обычные.

Газовую сварку меди ведут ацетилено-кислородным пламенем с использованием присадочных прутков из меди М1, М2, М3 и флюсов. При изменении толщины свариваемых деталей от 1 до 15 мм и выше рекомендуются наконечники сварочной горелки от № 1 до 7. Присадочные прутки применяют иногда с повышенным содержанием фосфора (0,2—0,7%) или фосфора (0,2%) и кремния (0,15—0,30%). Простейшим флюсом, который часто применяется при газовой сварке меди, служит бура. Предварительный и сопутствующий подогревы, как и при дуговой сварке, не исключаются.

Газовая сварка меди по производительности в большинстве случаев уступает дуговой, но отличается простотой и потому находит широкое применение при ремонтных работах, при индивидуальном и мелкосерийном характере производства.

## 2. СВАРКА ЛАТУНИ

Латунь представляет собой сплав меди (55—97%) и цинка. Латунь, или медно-цинковые сплавы, обрабатываемые давлением, регламентированы ГОСТ 15527—70.

Для получения различных механических и физических свойств в латуни вводят марганец, алюминий, железо, никель и другие элементы. Сварка латуни осложняется тем, что основная составляющая ее — цинк — кипит при температуре 905°C. Окисление паров цинка на воздухе приводит к образованию окиси цинка, вредной для здоровья (ядовита), почему требуется хорошая вентиляция участка сварки. Выгорание цинка к тому же означает снижение его содержания в сварном шве.

Изделия из латуни толщиной свыше 8—10 мм перед сваркой следует подогреть до 300—500°C, а при толщине 20—30 мм и более, кроме предварительного, необходим сопутствующий подогрев. Рекомендуется швы после сварки проковывать, а изделие отжигать при температуре 600—700°C.

Латунь сваривают ручной и автоматической дуговой сваркой неплавящимися угольным и вольфрамовым электродами в среде защитных газов, а также газовой сваркой. Иногда сваривают плавящимися электродами, но из-за высокой токсичности этот процесс распространения не получил.

При ручной дуговой сварке угольным электродом применяют такие же режимы и флюсы, как и при сварке меди. Присадочным металлом служат прутки из латуни ЛК 62-05, ЛМц 40-4,5, ЛК 80-3, ЛМц 58-2, ЛМцЖ 55-3-1.

По марке латуни можно ориентировочно судить о ее составе. Латунь ЛК 62-05 содержит в среднем 62% меди и 0,5% кремния (К). Аналогично можно судить о среднем содержании марганца (Мц), железа (Ж).

Ручную дуговую сварку плавящимся электродом ведут на постоянном токе прямой полярности, применяемые стержни по составу такие же, как и присадочные прутки при сварке угольным электродом. На стержни наносят покрытие в два слоя. Состав первого слоя покрытия, %: марганцевая руда—30, титановый

концентрат — 30, ферромарганец — 15, мел — 20, сернокислый калий — 5. Толщина покрытия 0,2—0,3 мм, сушка на воздухе в течение 4—5 ч, прокалка при 180—200°C в течение 1,5—2 ч. Второй слой имеет толщину 0,8—1,1 мм, состоит из борного шлака (получается сплавлением без доступа воздуха смеси из 5% магнезия и 95% прокаленной буры), разведенного на жидком стекле. На 1 мм диаметра электрода назначают ток 50 А.

Автоматическую сварку латуни выполняют на постоянном токе прямой полярности под флюсами ОСЦ-45 и АН-348-А с применением электродных проволок из латуни марок ЛК 60-0,5, ЛК 80-3, из бронзы марок Бр. ОЦ-4-3, Бр. КМц-3-1, а также из меди М1, М2 и МЗ.

Дуговую сварку латуни неплавящимся вольфрамовым электродом выполняют на постоянном токе прямой полярности. Режимы сварки такие же, как и при аргоно-дуговой сварке меди. Состав присадочного металла должен соответствовать составу основного.

Газовая сварка латуни выполняется с использованием ацетилено-кислородного пламени и присадочных прутков, соответствующих по составу основному металлу. Большое распространение получила присадка проволоки или полос латуни ЛК 62-0,5. Флюсом служит борный шлак.

### 3. СВАРКА БРОНЗЫ

Бронзой называют сплав меди с оловом, алюминием, кремнием, марганцем и цинком. В зависимости от содержания олова бронзы делятся на безоловянные (ГОСТ 493—54\*) и оловянные, обрабатываемые давлением (ГОСТ 5017—74).

К безоловянным относятся бронзы марок (по марке бронзы можно ориентировочно судить о ее составе). Бр. А5 (4—6% алюминия), Бр. АМц 9-2 (8—10% алюми-

ния, 1,5—2,5% марганца), Бр. АЖ 9-4 (8—10% алюминия, 2—4% железа), Бр. КМц 3-1 (2,75—3,5% кремния, 1,15% марганца).

К оловянным относятся бронзы БрОФ6,5-0,15 (6—7% олова, 0,1—0,25% фосфора), БрОЦ4-3 (3,5—4,0% олова, 2,7—3,3% цинка), Бр. ОЦС 4-4-2,5 (3—5% олова, 3—5% цинка, 1,5—3,5 свинца).

Благодаря высоким антифрикционным свойствам и устойчивости к коррозии бронза широко применяется при изготовлении деталей, работающих на трение в некоторых агрессивных средах. В производственных условиях в основном применяется наплавка бронзой: изготовление биметаллических деталей (наплавка бронзы на стальную основу), восстановление изношенных деталей, исправление дефектов бронзового литья.

Бронзу можно сварить угольным электродом, металлическим плавящимся и неплавящимся (вольфрамовым) при обязательном предварительном подогреве до 250—300°C.

При сварке оловянной бронзы угольным электродом присадочным металлом служат прутки, отлитые в металлическую форму, следующего состава: 95—96% меди, 3—4% кремния, 0,25% фосфора. Флюсами служит прокаленная бура или борный шлак.

Состав стержня покрытого электрода: 8% цинка, 6% свинца, 3% олова, 0,2% фосфора, 0,3% железа, 0,3% никеля, остальное — медь. На металлические стержни наносят покрытия толщиной 1,2—1,5 мм на сторону, приготовленные на жидком стекле. Состав покрытий, %: алюминия — 15, мрамора — 70, графита — 15.

Для сварки безоловянных бронз угольным и металлическим электродами применяют присадочный металл и электрод, по составу соответствующие свариваемому.

При автоматической наплавке деталей металлургического оборудования под флюсом широко используется

алюминиевая бронза. Тонкий слой бронзы целесообразно наплавлять в среде аргона, заваривать дефекты литья — в азоте. Оловянные и свинцовые бронзы при изготовлении биметаллических втулок и вкладышей подшипников наплавляют под флюсом.

Хорошие результаты получаются при использовании порошковых проволок и ленточного электрода, состав которых разработан в Институте электросварки им. Е. О. Патона. Для наплавки под флюсом разработаны и нашли применение порошковые проволоки ПП-Бр. ОЦС 6-6-3 и ПП-Бр. ОС 8-21. Оболочка проволоки изготавливается из медной ленты толщиной 0,5—0,8 и шириной 10—16 мм. Для наплавки в азоте разработаны порошковые проволоки ПП-Бр. АЖ 9-4А и ПП-Бр. ОС 10-10А.

Механизированная наплавка бронзы порошковыми проволоками производится на существующих сварочных и наплавочных установках. При использовании ленточного электрода необходима специальная приставка для подачи электрода.

#### 4. СВАРКА АЛЮМИНИЯ И ЕГО СПЛАВОВ

Алюминий имеет температуру плавления  $660^{\circ}\text{C}$ , является одним из самых распространенных элементов в природе, обладает малым удельным весом ( $2,7 \text{ г/см}^3$ ), высокой электропроводностью, коррозионной стойкостью в окислительных средах, стойкостью против перехода в хрупкое состояние при низких температурах. В производстве используется как в чистом виде (0,5—2% примесей), так и в виде сплавов.

Для изготовления сварных конструкций применяют легко деформируемые сплавы (ГОСТ 4784—74): термически неупрочняемые алюминий-марганцевые — АМц с содержанием марганца 1—1,6% и алюминий-магние-вые — АМг6, содержащие до 6,8% магния.

Сплавы алюминия с медью и некоторыми другими элементами называют дюралюминием, термически упрочняемым сплавом (Д). Например, сплав Д16 имеет 3,8—4,9% меди, 1,2—1,8% магния, 0,3—0,9% марганца, применяется в самолетостроении. После термической обработки дюралюминий Д16 достигает предела прочности 42—46 кгс/мм<sup>2</sup>.

В литейном производстве применяют алюминиевые сплавы (ГОСТ 2685—75) марок АЛ. Например сплав АЛ7 имеет 4—5% меди, АЛ8 имеет 9,5—11,5% магния и т. д. Сплавы алюминия с кремнием называют силуминами. Например, сплав АЛ2 содержит 10—13% кремния, остальное — алюминий.

Сварка алюминия и его сплавов затрудняется наличием на поверхности металла тугоплавкой пленки окиси алюминия, имеющей температуру плавления 2050°С, а также высокой теплопроводностью, образованием пористости и кристаллизационных трещин. Пленка окиси не только препятствует сплавлению, но и загрязняет металл неметаллическими включениями.

Технический алюминий, литейные сплавы и сплав АМц сваривают металлическим и угольным электродами, а также ацетилено-кислородным пламенем, остальные сплавы — в инертных газах.

При любом способе сварки кромки свариваемых деталей, присадочные проволоки и электродные стержни перед обмазкой их обезжиривают авиационным бензином или техническим ацетоном, затем удаляют пленку окиси алюминия механической зачисткой или химическим способом — травлением в течение 0,5—1 мин в специальном растворе (на 1 л воды 50 г натрия едкого технического, 45 г натрия фтористого технического), промывают в проточной воде и нейтрализуют в 25—30%-ном водном растворе азотной кислоты (1—2 мин), промывают в проточной воде, сушат до полного удаления влаги.

Перед сваркой деталь следует подогреть до температуры 250—400°C, за исключением тех случаев, когда местный подогрев обеспечивается в процессе сварки за счет дуги. При сварке в инертных газах алюминиево-магниевых и термически упрочняемых сплавов температура нагрева ограничивается до 200°C.

Для повышения механических свойств литейных сплавов нужно обеспечить после сварки медленное остывание шва, но этого нельзя делать для алюминиево-магниевых сплавов. Иногда сварной шов (исключая литейные сплавы) после остывания слегка проковывают. Чтобы снизить внутренние напряжения в сварных соединениях из силумина, применяют отжиг при температуре 300—350°C с выдержкой 1,5—2 ч. При изготовлении или ремонте ответственных конструкций из закаленного дюралюминия после сварки применяют закалку в воде (нагрев до 500°C) с последующим старением.

Оставшийся после сварки шлак способен разъедать поверхность шва, а потому шов следует зачищать и промывать горячей водой.

Металлическим электродом сваривают алюминий с использованием электродов ОЗА-1 со стержнем из алюминиевой проволоки марки Св-А1 по ГОСТ 7871—63 и покрытием галогенидного типа.

Электроды ОЗА-1 предназначены для сварки и наплавки алюминия марок А6, АД0, АД1, АД в нижнем положении, на постоянном токе обратной полярности, имеют удовлетворительную устойчивость дуги. Разбрызгивание повышенное, формирование наплавленного валика удовлетворительное. Шлаковую корку смывают горячей водой и очищают металлической щеткой. Коэффициент наплавки 6,32 г/А·ч., расход электродов на 1 кг наплавленного металла 2,3 кг. Величина тока составляет 30—35 А на 1 мм диаметра электрода. Временное сопротивление сварного соединения 6,5—8,5 кгс/мм<sup>2</sup>, угол изгиба 180°.

Сварка производится короткой дугой. Перед сваркой рекомендуется просушить электроды при температуре 150—200°C в течение часа, обязательно подогреть места сварки до температуры 250—400°C. Поставщик электродов — Московский опытный сварочный завод.

Для сварки и наплавки деталей из алюминиевых литейных сплавов Ал2, Ал4, Ал5, Ал9, Ал11 применяют электроды ОЗА-2. Стержень электродов изготовлен из проволоки Св-АК5 по ГОСТ 7871—63 с покрытием галогенидного типа. Сварку и наплавку выполняют в нижнем положении постоянным током обратной полярности. Наплавленный металл имеет повышенное содержание кремния — 4,5—6,0%, временное сопротивление — не менее 10 кгс/мм<sup>2</sup>, относительное удлинение — не менее 4%. Остальные показатели и технологические особенности почти такие же, как у электродов ОЗА-1. Их также поставяет Московский опытный сварочный завод.

Угольным электродом сваривают алюминий и его сплавы редко. Известно применение угольной дуги при сварке шин для электролизных цехов и электрических линий, когда сварку ведут на алюминиевой или графитовой подкладках.

В среде защитных газов в аргоне (аргоно-дуговая) и гелии (гелиево-дуговая) алюминий сваривают неплавящимся вольфрамовым электродом и плавящимся алюминиевым электродом. Можно применять ручной, полуавтоматический и автоматический способы.

Большое распространение получила ручная сварка вольфрамовым электродом в среде аргона (чистота не менее 99,8%) на переменном токе с осциллятором.

Для автоматической и полуавтоматической сварки используют неплавящиеся и плавящиеся электроды, процесс ведут на специальных автоматах и полуавтоматах.

Автоматическая сварка полуоткрытой дугой или сварка по флюсу (разработана в 1953 г. в Институте электросварки им. Е. О. Патона) получила распро-

странение при изготовлении цистерн, котлов и емкостей из алюминия и алюминиевого сплава АМц толщиной 10—25 мм и более. В этом способе сочетаются шлаковая защита и газовая. Для сварки используют обычные сварочные автоматы и специальные флюсы.

Газовую сварку алюминия применяют в основном при ремонтных работах, когда низкая производительность процесса компенсируется простотой, сравнительной универсальностью, отсутствием специальной аппаратуры, возможностью быстро организовать ремонт. Используют обычные горелки для получения ацетиленокислородного пламени (пламя нормальное). В качестве присадочного материала в большинстве случаев используют проволоку того же состава, что и свариваемый металл.

Газовая сварка применяется для технического алюминия, сплава АМц и некоторых литейных сплавов. Для алюминиево-магниевого сплава газовая сварка не нашла практического применения.

Для газовой сварки алюминия и алюминиевых сплавов применяют флюсы:

АФ-4А, реактивный, «ч», технический АМ, ТУ № 219—60: калий фтористый — 55, натрий хлористый — 28, литий хлористый — 14, натрий фтористый — 3%;

технический, ТУ № 18—61: калий хлористый — 50, натрий хлористый — 30, криолит — 20%.

## 5. СВАРКА НИКЕЛЯ И ЕГО СПЛАВОВ

Никель (ГОСТ 849—70\*) имеет температуру плавления 1455°C, плотность 8,9 г/см<sup>3</sup>, обладает высокой стойкостью против коррозии на воздухе, высокой пластичностью, прочностью и жаропрочностью. Сваривают детали как из технически чистого никеля (Н-0, Н-1у, Н-1, Н-2, Н-3 и Н-4), так и из его сплавов с медью (медно-никеле-

вые сплавы), с хромом (нихром), с молибденом, кобальтом и другими металлами.

Сварка никеля затрудняется возникновением на поверхности металла окисной пленки, имеющей температуру плавления 1650°C (выше температуры плавления никеля), а также склонностью металла шва к образованию пор и трещин. Возникновение пористости связано с высоким насыщением сварочной ванны газами (водородом, азотом, кислородом) и выделением их из жидкого металла в период кристаллизации. Возникновению трещин при сварке никеля и его сплавов способствует сера.

В промышленности распространена ручная дуговая сварка никеля электродами «Прогресс-50», НЗ7к и др., а также аргоно-дуговая сварка неплавящимся (вольфрамовым) электродом. Для предотвращения пористости к аргону иногда добавляют 3—4% водорода. Предупреждению трещин способствует ввод в сварочную ванну магния, который связывает серу в более тугоплавкие соединения, чем никель.

## 6. СВАРКА ТИТАНА И ЕГО СПЛАВОВ

Титан был открыт более 180 лет назад, но лишь в 50-х годах нашего века привлек к себе внимание как металл, обладающий уникальным комплексом свойств. Температура плавления его 1665°C, т. е. выше, чем у железа и никеля, а плотность 4,5 г/см<sup>3</sup>, почти вдвое меньшая, отличается высокой прочностью при высоких температурах, большей прочностью и коррозионной стойкостью по сравнению с нержавеющей стали, по распространению в природе занимает одно из первых мест среди важнейших металлов.

Это пока еще дорогой металл: в пять раз дороже нержавеющей стали. Однако, учитывая его низкую объемную массу и высокую прочность, а также резкое увеличение срока службы многих деталей, сделанных из ти-

тана и его сплавов, можно легко предвидеть быстрое увеличение производства титана, снижение стоимости и применение его в возрастающем масштабе для изготовления сварных конструкций.

Чтобы получить качественное сварное соединение титана и его сплавов, в основном и присадочном металлах ограничивают содержание вредных примесей, %, не более: кислорода — 0,15, азота — 0,04, водорода — 0,01, углерода — 0,1. В процессе сварки следует применять защиту от воздуха (азота и кислорода) не только жидкого металла, но и твердого, нагретого до температуры 500°C и выше.

Титан и его сплавы можно сваривать аргоно-дуговой сваркой, автоматической под слоем флюса, контактной (стыковой, точечной и шовной), электрошлаковой.

Аргоно-дуговая сварка неплавящимся вольфрамовым электродом получила наиболее широкое распространение по сравнению с другими способами, что объясняется ее относительной простотой и большими возможностями. Чистота аргона при этом должна быть не менее 99,7%.

Поверхности свариваемого и присадочного металла должны быть хорошо очищены от окислов и других загрязнений путем механической зачистки или травлением в течение 5 мин в растворе из соляной кислоты — 340 мл, азотной кислоты — 60 мл, фтористого кальция — 50 г, воды — 600 мл.

Сварку ведут на постоянном токе прямой полярности. С увеличением толщины свариваемого металла от 0,8 до 3 мм величина тока изменяется от 40—50 до 120—140 А. Диаметр вольфрамового электрода составляет 2,5—2,0, присадочной проволоки — 1—2 мм, напряжение дуги — 14—18 В. Для защиты обратной стороны шва иногда применяют поддувку аргоном, располагая обратную сторону шва над пазом стальной пластины. Присадочным металлом служат прутки или проволока из титана и его

сплавов. В отдельных случаях можно применять полосы, изготовленные из основного металла.

Автоматическую сварку под флюсом ведут на обычных сварочных автоматах с применением флюсов АНТ-1 и АНТ-3 проволокой из технического титана или его сплавов на остающейся титановой подкладке или на охлаждаемой водой медной подкладке.

Контактная и электрошлаковая сварка титана и его сплавов в принципе аналогична контактной и электрошлаковой сварке черных металлов. Способы менее универсальны, но для некоторых ответственных изделий обеспечивают наибольшую производительность процесса сварки и высокое качество сварных соединений.

Для снятия внутренних напряжений рекомендуется отжиг конструкций из титана и его сплавов сразу же после сварки на температуру 600—650°C.

## Глава VI. СВАРОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ

При сварке металлов неизбежно возникают внутренние или сварочные напряжения, которые в некоторых случаях могут привести к короблению конструкции, возникновению трещин в сварном шве и околошовной зоне, а также к преждевременному выходу из строя сварной конструкции в период ее эксплуатации. В производственных условиях нередки случаи, когда конструкции после сварки требуют трудоемкой правки или полностью бракуются. Большие сварочные напряжения могут привести к короблению сварного узла как после сварки, так и после механической обработки, что особенно опасно в сварных корпусах зубчатых редукторов и подобных конструкций, в которых требуется соблюдение межцентровых расстояний или строго сопряженных посадочных мест нескольких сварных подузлов.

При сварке металлов, которые в процессе остывания воспринимают закалку и теряют пластические свойства, внутренние напряжения настолько большие, что в шве или околошовной зоне возникают трещины.

Из практики известны случаи поломки конструкции даже без заметных внешних нагрузок, например при низких температурах. Это также объясняется действием внутренних напряжений.

## **1. ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИИ**

К основным причинам, вызывающим внутренние напряжения и деформации, относятся:

- неравномерный нагрев свариваемого металла;
- литейная усадка расплавленного металла шва;
- изменение объема металла за счет изменения его структуры.

Неравномерный нагрев свариваемого металла способствует появлению сварочных напряжений по следующим причинам.

В процессе сварки основной металл в зоне сплавления имеет температуру, близкую к плавлению, а более удаленные участки металла относительно холодные. Нагретый металл стремится увеличиться в объеме, но он оказывается как бы сжатым: свободному температурному расширению препятствуют участки холодного металла. В результате в нагретом металле, расширение которого ограничено, возникают пластические деформации. В процессе остывания сварного соединения холодные участки металла препятствуют его свободному укорочению (при нагреве они препятствовали расширению), что вызывает в металле сварного соединения внутренние напряжения. После выравнивания температуры сварной шов и зона термического влияния оказываются как бы в со-

стоянии растяжения, а прилегающие к ним участки, которые остались ненагретыми, — в состоянии сжатия.

Различные металлы по-разному реагируют на нагрев при жестком закреплении.

Приращение в мм размера стержня длиной 1 м при нагреве на 1°С называется коэффициентом линейного расширения. Чем больше коэффициент линейного расширения и изменение температуры, тем больше изменение размеров изделия. Поэтому при монтаже длинных сварных трубопроводов, например, специально устанавливают П-образные компенсаторы, которые при изменении температуры трубопровода воспринимают его удлинение или укорочение; сам трубопровод при этом остается невредимым.

При сварке металла чем больше коэффициент линейного расширения и перепад температур между холодными участками металла и нагретыми, тем большие напряжения возникают на свариваемых участках.

Литейная усадка, в свою очередь, создает напряжения и вызывает деформации. Усадкой называется уменьшение объема металла в результате остывания и кристаллизации расплава. Литейная усадка создает сжимающие силы как в продольном, так и в поперечном направлениях.

Структурные изменения в процессе нагрева и остывания представляют собой изменение размеров и взаимного расположения кристаллов металла, что влечет за собой изменение объема металла и возникновение в нем внутренних напряжений. Особенно это касается углеродистых и легированных сталей, склонных к закалке при резком охлаждении после сварки. Для низкоуглеродистых сталей влияние структурных изменений на возникновение внутренних напряжений незначительно, и ими можно пренебречь.

Причиной повышенных напряжений в малых объемах металла сварных швов могут быть также дефекты (поры,

шлаковые включения и т. д.), которые служат концентраторами напряжений. Дефекты швов усиливают вредное влияние остаточных напряжений на работоспособность сварных соединений, особенно при работе их на знакопеременные нагрузки.

Поскольку сварка характеризуется быстрым местным нагревом металла, то возникновение остаточных или сварочных напряжений неминуемо. Задача технологов и сварщиков состоит в том, чтобы уменьшить эти напряжения и ослабить их вредное влияние на работоспособность сварных конструкций.

## 2. МЕРЫ БОРЬБЫ С НАПРЯЖЕНИЯМИ И ДЕФОРМАЦИЯМИ

Меры борьбы с остаточными напряжениями и деформациями не всегда совпадают, а потому рассмотрим их отдельно.

*Сварочные напряжения* можно уменьшить:  
применением рациональной технологии сварки;  
предварительным подогревом металла;  
отжигом или отпуском конструкции после сварки;  
проковкой или обжатием сварных швов.

Рациональная технология сварки предусматривает ведение процесса в такой последовательности, при которой не возникают жесткие контуры, ограничивающие перемещение элементов конструкции. Все швы, создающие жесткий контур, следует выполнять в последнюю очередь. Вначале, например, сваривают стыковые швы, затем угловые.

Применение сборочно-сварочных приспособлений позволяет вести сборку без прихваток с использованием винтовых, клиновых, пневматических, магнитных и других зажимов. Такие зажимы, в отличие от жестких прихваток, считаются эластичными и потому снижают напряжения и деформации.

Кроме этого, следует выбирать такую технологию

сварки (режим, порядок наложения швов), которая обеспечила бы наиболее равномерный нагрев конструкции по сечению. Швы большой длины надо варить с перерывами, применять обратно-ступенчатый способ наложения швов, который эффективно снижает поперечные напряжения. Многослойные швы больших сечений следует варить методом «горки» или «каскада». При этом нижние слои частично отпускаются, а верхние выполняются в условиях, равнозначных сварке с подогревом.

Предварительный подогрев в детали—наиболее эффективный способ снижения напряжений при сварке, поскольку уменьшает разность температур в зоне сварки, скорость охлаждения металла, обеспечивает пластические свойства металла шва и зоны термического влияния, что особенно важно при сварке в зимних условиях и сталей, чувствительных к закалке. Положительные результаты достигаются уже при повышении температуры изделия на 100—200°C. Следует по возможности избегать сварку при низкой температуре окружающей среды. Снижение напряжений при этом будет обеспечено за счет медленного остывания швов.

Отжигом или высоким отпуском можно эффективно снизить сварочные напряжения. Если предварительный подогрев предотвращает возникновение больших напряжений, то отжиг или высокий отпуск снижают напряжения, уже возникшие в сварной конструкции.

Отжиг сварной конструкции из стали представляет собой нагрев конструкции до 820—930°C в печи, выдержку при этой температуре, охлаждение с печью до 300°C со скоростью 50°C в час и дальнейшее охлаждение на воздухе.

Для сварных конструкций чаще всего применяют высокий отпуск в термических печах: нагрев до 600—650°C, выдержка в зависимости от сечения детали при этой температуре в течение 2—4 ч и охлаждение на воздухе.

В тех случаях, когда нет возможности сделать высокий отпуск в стационарной печи, применяют местный отпуск в переносных термических печах с использованием токов высокой частоты (т. в. ч.).

Проковкой или обжатием сварных швов можно также достичь снижения в них напряжений. Проковка тем эффективнее, чем выше температура шва. Иногда проковка небольших валиков (20—30 мм) снимает в них напряжения, предотвращает появление трещин. Например, при сварке чугуна электродами из монель-металла и железоникелевыми электродами целесообразно проковывать валики горячими. Для этой цели можно использовать пневматические зубила с закругленным бойком радиусом 3 мм. Послойная проковка швов рекомендуется при многослойной сварке некоторых специальных сталей (например, жаропрочных) также с помощью пневматического зубила.

Иногда при сварке тонкостенных изделий для снижения в них напряжений делают обкатку швов между двумя роликами, чем достигается большая равномерность обжатия по сравнению с ручной проковкой швов молотком или пневматическим зубилом.

**Деформации при сварке** можно уменьшить или практически полностью предотвратить:

выбором рациональных режимов сварки;

применением обратных деформаций;

закреплением отдельных элементов конструкции в процессе сварки;

созданием рациональных конструкций;

применением предварительного подогрева и отжига.

Выбор рациональных режимов и последовательности сварки предусматривает: обеспечение минимальной погонной энергии, применение обратно-ступенчатого способа сварки, исключение непрерывной сварки длинных швов (разбивка их на участки по 200—300 мм), ведение сварки равномерно по обе сторо-

ны оси конструкции с таким расчетом, чтобы деформация от одного шва как бы снималась деформацией другого, направленной в противоположную сторону (способ уравнивания деформаций).

Минимальная погонная энергия достигается снижением тока и повышением скорости сварки или, в конечном итоге, снижением поперечного сечения шва. С уменьшением поперечного сечения шва деформации сварных конструкций снижаются.

При сварке толстых листов с X-образной разделкой снижения деформаций достигают путем последовательного наложения валиков с одной стороны и с другой. Для этих целей требуется приспособление для кантовки. Если шов накладывают за несколько проходов, то целесообразно изменять направление сварки после каждого прохода.

При наплавке продольных швов на круглый стержень для снижения деформаций каждый последующий шов следует смещать на  $180^\circ$ , то есть располагать его на диаметрально противоположной стороне. Аналогично нужно приваривать ребра жесткости к круглым стержням или трубам.

Для снижения деформации в двутавровых балках сначала нужно сварить стыковые соединения стенок и полок, а затем продольные швы. Если же с целью сокращения количества кантовок вначале сварить одну полку с двух сторон, то произойдет искривление оси балки, которое практически не изменяется при сварке второй полки.

Применение обратных деформаций — создание перед сваркой такой предварительной деформации, которая после сварки и поводки привела бы конструкцию в соответствие с чертежом. Например, требуется сварить два элемента таврового (Т-образного) соединения одним швом. Элементы сварного соединения образуют между собой угол в  $90^\circ$ . После сварки происхо-

дит деформация сварного соединения в сторону шва. Отклонение, установленное опытным путем, составило  $3^\circ$ . Следовательно, чтобы после сварки угол между свариваемыми элементами был равен  $90^\circ$ , нужно собрать соединение под сварку с углом в  $93^\circ$  между свариваемыми элементами со стороны шва.

Обратная деформация не уменьшает величину сварочных напряжений, а снижает их влияние на отклонение конструктивных размеров от заданных.

З а к р е п л е н и е о т д е л ь н ы х э л е м е н т о в к о н с т р у к ц и й в процессе сварки с использованием сборочно-сварочных приспособлений. При этом сварочные напряжения снимаются за счет пластических деформаций в наплавленном металле при высоких температурах, когда прочностные свойства металла резко снижаются. Применение сборочно-сварочных приспособлений позволяет обойтись без жестких прихваток, что в ряде случаев также снижает величину деформаций. Рационально применение магнитных стендов, которые снижают угловые деформации тавровых и стыковых соединений и в то же время не ограничивают поперечные деформации.

В ы б о р р а ц и о н а л ь н ы х к о н с т р у к ц и й как метод борьбы с деформациями означает проектирование минимально допустимого объема наплавленного металла, симметричное расположение швов относительно оси конструкции, минимальные углы V-образной разделки, максимальные размеры листов с минимальным количеством стыков, ребер жесткости, косынок и т. д., возможность сборки с минимальными зазорами между свариваемыми элементами.

П р а в к а д е ф о р м и р о в а н н ы х к о н с т р у к ц и й. Если после принятия всех мер деформации в конструкции все же превышают допустимые, применяют правку холодную (с помощью прессов, домкратов или ручным способом) или горячую. Опытные сварщики по согласованию с конструкторами и технологами иногда

правят изделие с помощью наложения технологических швов, прогрева определенных мест конструкции угольной дугой или газовым пламенем. Нагрев стальных конструкций в отдельных местах может достигать 800—900°С. При этом искусственно вызывают высокие внутренние напряжения и пластическую деформацию металла (местный и резкий нагрев), что при остывании металла приводит к деформации конструкции в нужном направлении.

Если при сварке тонкого изделия образуются вспучивания (хлопуны), то их можно исправить местным нагревом. Нагрев во всех случаях нужно вести со стороны выпуклых участков металла. В данном случае также происходит целенаправленная деформация за счет искусственного создания внутренних напряжений в сварной конструкции.

## Глава VII. ДЕФЕКТЫ СВАРНЫХ ШВОВ И ИХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ

Качество сварных соединений определяется механическими свойствами металла, коррозионной стойкостью его и отсутствием дефектов в шве. Эти три основных показателя часто связаны между собой. Возникновение трещин, например, связано со снижением пластических свойств металла шва или околошовной зоны, газовая пористость снижает прочностные характеристики металла, неблагоприятно сказывается на работе сварных швов при знакопеременных нагрузках и т. д. Аналогично влияют неперovar, подрезы, шлаковые включения.

Для получения качественных швов следует соответствующим образом подготавливать изделие и материалы для сварки, строго соблюдать технологию сварки.

Все дефекты сварки можно разделить на две группы: наружные и внутренние.

К наружным относят дефекты, которые могут быть обнаружены невооруженным глазом, с помощью увеличительного стекла или специальными методами контроля, а именно: наружные трещины; наружные газовые поры; подрезы кромок; отклонения от заданных размеров сварного шва.

К внутренним относят дефекты, которые выявить можно только специальными методами контроля; внутренние трещины; внутренние газовые поры; непровар основного металла и несплавление отдельных валков; внутренние шлаковые включения.

Чтобы успешно бороться с возникновением дефектов, нужно знать причины их появления. Рассмотрим природу возникновения каждого дефекта в отдельности и меры борьбы с ним.

## 1. ТРЕЩИНЫ В СВАРНЫХ ШВАХ

Трещины — один из наиболее опасных дефектов сварного шва. Возникновение трещин связано с химическим составом основного и наплавленного металла, а также с быстрым охлаждением шва и большой жесткостью свариваемого контура.

При сварке низкоуглеродистых сталей появление трещин — очень редкое явление, а потому можно считать, что необходимость борьбы с трещинами возникает только при отклонениях в химическом составе низкоуглеродистой стали в сторону увеличения содержания углерода и других элементов.

Характеристики трещин. Трещины в сварных швах бывают продольные и поперечные, размеры их изменяются от микроскопических волосовин до таких, которые легко обнаруживаются при осмотре поверхности шва невооруженным глазом.

В настоящее время установлено, что трещины в сварных швах образуются главным образом при температуре

выше 1000°C. Поэтому часто их называют «горячими» в отличие от «холодных» трещин, возникающих при низких температурах.

Современная техника дефектоскопии сварных соединений не дает полной гарантии выявления всех скрытых трещин (как и многих дефектов), а потому рекомендуется в процессе сварки предупреждать возникновение трещин за счет снижения внутренних напряжений и повышения запаса технологической прочности сварных конструкций. Под технологической прочностью следует понимать прочность наплавленного металла при высоких температурах.

**Влияние химического состава.** Химический состав металла оказывает решающее влияние на склонность сварного шва к возникновению трещин. Рассмотрим влияние отдельных элементов на склонность сварных швов к появлению хрупкости и трещин.

Углерод в большой степени определяет свариваемость сталей, склонность к хрупкости и трещинам. С увеличением содержания углерода повышаются прочностные и снижаются пластические свойства стали, повышается склонность к возникновению трещин в металле шва и зоне термического влияния; увеличение содержания углерода до 0,30% и выше делает стали чувствительными к закалке, требует предварительного подогрева перед сваркой, медленного остывания, отжига или высокого отпуска после сварки. Вредное влияние углерода на свариваемость сталей усиливается с увеличением содержания таких легирующих элементов, как кремний, хром, и других.

**Кремний** — легирующий элемент и сильный раскислитель, при содержании в пределах 0,2—0,3% не ухудшает свариваемость сталей. При большем содержании повышает прочность, упругие свойства сталей и ухудшает свариваемость, способствует возникновению трещин, особенно при увеличении содержания углерода и

других легирующих элементов, и образованию тугоплавких окислов кремния, повышает жидкотекучесть стали.

Марганец в стали выполняет две роли — легирующего элемента и раскислителя. Обычно в углеродистых сталях его содержится 0,3—0,8%. При таком количестве марганец не ухудшает свариваемость, способствует повышению прочности и удалению из швов серы. При содержании марганца до 2% и выше свариваемость затрудняется, в шве могут появиться трещины.

Хром повышает прочность стали, твердость, закаливаемость, снижает пластичность, способствует образованию карбидов хрома — все это препятствует свариваемости и способствует образованию трещин. При сварке особенно опасен в сочетании с повышенным содержанием углерода. Как и многие другие легирующие элементы, хром вводят в сталь для придания ей специальных свойств, несмотря на то, что свариваемость при этом ухудшается. В низкоуглеродистых сталях хром содержится в количестве до 0,3, в конструкционных сталях — 0,7—3,5, в хромистых — 12—18, в хромоникелевых — 9—35%.

Никель улучшает прочностные и пластические свойства стали, повышает ударную вязкость металла при низких температурах, свариваемость практически не ухудшает. В низкоуглеродистых сталях никеля содержится до 0,3, в конструкционных — 1—5, в легированных — 8—35%.

Молибден повышает прочность и твердость стали, прокаливаемость, сопротивляемость ударным нагрузкам, снижает склонность к перегреву, устраняет влияние хрупкости при отпуске. В процессе сварки сильно окисляется и выгорает. При увеличении содержания молибдена сварка затрудняется. В конструкционных сталях молибдена содержится до 0,55%.

Ванадий измельчает зерно в стали, повышает вязкость и пластичность, сопротивление перегреву. В процес-

се сварки сильно окисляется и выгорает. Способствует закаливанию стали, что ухудшает свариваемость. В легированных конструкционных сталях содержится 0,06—0,18% ванадия.

Титан вводится в сталь в таких же небольших количествах, его влияние аналогично влиянию ванадия. В аустенитные стали вводят титан для связывания углерода, что препятствует образованию карбидов хрома и улучшает коррозионную стойкость стали.

Сера и фосфор — вредные примеси, содержание которых в сталях строго ограничивается. Ухудшают свариваемость, повышают склонность швов к возникновению «горячих» (сера) и «холодных» (фосфор) трещин. Для предупреждения возникновения трещин необходимо, чтобы в сварочной ванне выдерживалось соотношение между процентным содержанием марганца и серы в пропорции

$$\frac{Mn}{S} > 10.$$

Электроды типа Э42А, Э46А, Э50А обеспечивают содержание серы и фосфора в металле в строго ограниченном количестве — не более 0,04%, а электроды типа Э42, Э46, Э50 (без буквы А) — до 0,05%. Аналогично сварочная проволока Св-08А содержит серы и фосфора до 0,03%, а проволока Св-08 — до 0,04%. При повышенном содержании водорода в сварочной ванне сера способствует возникновению пор в сварных швах.

Если по каким-либо техническим причинам в сварных конструкциях используются стали с повышенным содержанием углерода и легирующих примесей, то рекомендуется выбирать специальную технологию сварки — с предварительным подогревом, иногда и сопутствующим, а в ряде случаев применять отжиг или высокий отпуск (подробно см. главу «Сварка сталей»).

Влияние жесткости конструкции. При сварке жестких конструкций возникают дополнительные внутренние напряжения. Жесткость конструкции особенно опасна в отношении появления трещин при сварке закаливающихся сталей, когда за счет снижения пластических свойств металла возникают высокие внутренние напряжения. Это требует разработки и применения мер по снижению внутренних напряжений: использование хорошо сваривающихся сталей, электродов типа Э42А, подогрев металла перед сваркой.

Влияние концентраторов напряжений. Возникновению трещин в сварных швах способствуют концентраторы напряжений—различные дефекты в частности, газовые поры, особенно вытянутой формы (свищи). На рис. 8 показан случай, когда трещина (микротрещина) возникла при сварке стали. Как видим, она начинается от газовой поры (вытянутого свища). Появлению ее могли способствовать такие факторы: ослабление сечения металла и концентрации напряжения, вызванные наличием газовой поры; высокие внутренние напряжения в металле шва в процессе остывания; ликвационные процессы, вызывающие в период кристаллизации перераспределение и местную концентрацию водорода, серы, углерода, снижающих пластические свойства металла, и т. д.

На рис. 9 представлена еще одна микрофотография газовой поры и трещины. В данном случае газовая пора предопределила направление трещины. Пора видна в нижней части микрофотографии, трещина расположена в центральной части и направлена в сторону газовой поры. Возникновение трещины связано с большими внутренними напряжениями в период остывания шва. При разрушении сварных швов в процессе эксплуатации или в лабораторных условиях поверхность излома часто проходит по различным дефектам, особенно по газовым порам.

Влияние температурного режима



Рис. 8. Трещина в сварном шве, которая берет начало от газовой поры. Увеличение в 200 раз

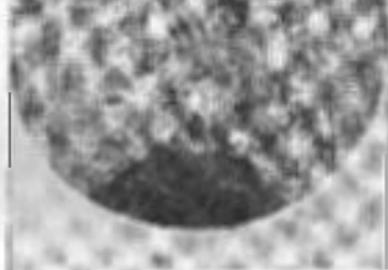


Рис. 9. Газовая пора и микротрещина при сварке чугуна модель-металлом, когда газовая пора определила направление микротрещины. Шлиф травлен, увеличение в 100 раз

с в а р к и. Температурный режим сварки оказывает большое влияние на возникновение внутренних напряжений в металле шва и сварного соединения, а также на пластические свойства металла. Предварительный подогрев металла до начала сварки и сопутствующий в процессе сварки снижают разность температур между нагретыми и холодными участками металла, внутренние напряжения, скорость остывания металла, предупреждают закалку, что также снижает внутренние напряжения и предотвращает возникновение трещин. Температура подогрева сталей обычно составляет 100—450°С.

Однако предотвращение трещин в процессе сварки еще не гарантирует высокое качество сварного соедине-

ния и невозможность появления трещин при эксплуатации изделий. Поэтому, кроме предварительного подогрева, для снятия напряжений и повышения пластических свойств металла шва и зоны термического влияния часто применяют отжиг или высокий отпуск после сварки. Чем больше склонность стали к закалке и толщина детали, чем ниже температура окружающего воздуха, тем выше должна быть температура предварительного подогрева и тем более необходим отжиг или высокий отпуск после сварки.

**В л и я н и е в о д о р о д а.** Причиной «холодных» трещин может быть водород, который из-за плохой растворимости в металле при низких температурах выделяется в пустотах кристаллической решетки металла, создавая большую давлению. В сочетании с пониженной пластичностью (или повышенной хрупкостью), большими внутренними напряжениями это может привести к трещинам. Водород не опасен в отношении трещин при сварке низкоуглеродистых и хорошо сваривающихся низколегированных сталей, которые в процессе остывания не воспринимают закалку и остаются пластичными.

Что касается углеродистых и легированных закалывающихся сталей, то в них водород заметно повышает склонность металла к трещинам. Для снижения содержания водорода обязательны удаление ржавчины с поверхности металла, прокалка электродов и флюсов перед сваркой, а при необходимости — применение низких токов и сварки «углом вперед».

**Сварка пучком электродов.** В производственных условиях замечено, что сварка пучком электродов (три электрода УОНИИ-13/45 вместо одного) позволяет повысить устойчивость швов и основного металла в зоне сплавления к появлению трещин. Это можно объяснить многими причинами, в частности тем, что при сварке пучком электродов дуга «блуждает» от одного электрода к другому, обеспечивая меньший провар, большее

тепловложение и лучший прогрев основного металла, чем при сварке одним электродом.

В сварных конструкциях трещины не допускаются, поскольку они не только снижают прочность сварных соединений, но и способны под действием внутренних напряжений и внешних нагрузок развиваться с течением времени и привести к поломкам и авариям.

Чтобы исправить сварные соединения с трещинами, возникшими при сварке или в период эксплуатации машин и сооружений, необходимо выявить концы трещин и засверлить их (сверло диаметром 6—14 мм) с таким расчетом, чтобы трещина не выходила за пределы отверстия. После этого разделить трещину и заварить ее. Технологию сварки нужно выбрать с учетом предупреждения повторного появления трещин (предварительный подогрев согласно взятому химанализу и т. д.).

При наплавочных работах иногда трещины в наплавленном слое неизбежны. Например, при восстановлении изношенных деталей вибродуговой наплавкой в жидкости с применением высокоуглеродистых проволок, использовании электродов Т-590 для наплавки твердого слоя на стальную основу (зубья ковшей экскаваторов), при «холодной» декоративной заварке чугунного литья стальным электродом и т. д.

Многолетний опыт показывает, что при наплавочных работах на определенных деталях можно допустить в наплавленном слое трещины, которые в процессе эксплуатации деталей не распространяются в основной металл. При сварке металлов это полностью исключается.

## 2. ПОДРЕЗЫ

Продольные углубления, возникающие в сварных швах, так называемые подрезы, являются серьезными дефектами шва (рис. 10), потому что они ослабляют

сечение основного металла в наиболее опасной — переходной зоне.

Сварные швы с подрезами плохо воспринимают динамическую нагрузку, так как в этих местах концентрируются напряжения и могут возникнуть трещины. При испытании сварных швов на растяжение и угол изгиба металл разрушается, начиная от подреза, при значительно заниженных механических показателях.

Подрезы на вертикальной плоскости возникают, главным образом, в результате стекания жидкого металла под действием силы тяжести (верхний подрез углового шва на рис. 10, а). Однако эта причина не объясняет возник-

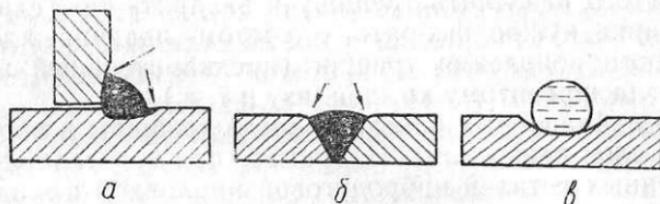


Рис. 10. Подрезы в сварных швах:

а — в угловом шве; б — стыковом; в — при автоматической сварке под флюсом на больших скоростях

новения нижнего подреза углового шва, а также подреза на горизонтальной плоскости при расположении швов в нижнем положении (стыковой шов на рис. 10, б).

Наблюдения показывают, что с повышением температуры твердой поверхности смачивание ее жидким металлом улучшается и ухудшается с понижением температуры. Следовательно, температура — один из основных факторов, влияющих на смачивание твердого металла жидким. А смачивание имеет непосредственное отношение к возникновению подрезов на горизонтальных плоскостях. Дело в том, что жидкий металл на холодной поверхности под действием сил поверхностного натяже-

ния приобретает стремление «сжаться», сократить свою поверхность и площадь, которую он занимает. Последнее обстоятельство и приводит к возникновению подрезов по краям шва.

Подрезы могут появиться и при автоматической сварке на больших скоростях под слоем флюса. При скоростях автоматической сварки выше 80—100 м/ч наплавляемые валики отслаиваются от поверхности основного металла, что наглядно показано на рис. 10, в. Отслаивание происходит по тем же причинам, что и подрезы. При скорости сварки больше оптимальной по краям шва появляются небольшие подрезы, которые при дальнейшем росте скорости увеличиваются вплоть до отслаивания жидкого металла. Возникновение подрезов по краям шва при сварке в нижнем положении (см. рис. 10, б) является как бы первым этапом отслаивания металла сварочной ванны (см. рис. 10, в).

Чем лучше твердый металл смачивается жидким (капля лучше растекается по поверхности), тем меньше возможность возникновения подрезов. В противном случае возможны не только подрезы, но и даже отслаивание.

Таким образом, для предотвращения подрезов при сварке в нижнем положении нужно хорошо прогреть металлическое основание сварочной ванны и не допускать, чтобы скорость расплавления основного и присадочного металлов опережала скорость прогрева основного металла, контактирующего со сварочной ванной. Эти требования обеспечивают: сварка «углом вперед», петлеобразные движения электродов, короткая дуга, применение умеренных токов и скоростей сварки.

На степень смачивания твердого металла оказывают влияние также химический состав сварочной ванны и основного металла, состав шлака, но эти факторы при заданной технологии являются исходными.

Допустимая глубина подреза должна оговариваться в технических условиях и других документах. Для ориен-

тировки можно указать, что при сварочных работах подрезы швов допускаются глубиной до 0,5 мм, для ответственных конструкций — не более 10% от толщины свариваемых элементов, но не глубже 1,5 мм. Более глубокие подрезы должны быть исправлены наплавкой тонкого шва.

Общие правила сварки всех видов строительных конструкций допускают глубину подрезов не более 0,5 мм при толщине стали от 4 до 10 мм и не более 1 мм при толщине стали свыше 10 мм, за исключением случаев, приведенных в дополнительных правилах. Например, дополнительные правила для конструкции мостов различают «подрезы поперек усилий» и «подрезы вдоль усилий», на которые распространяются различные условия приемки.

Согласно ГОСТ 14892—69 для сварных конструкций, работающих в районах с холодным климатом, допускаются подрезы вдоль направления усилий глубиной до 5% толщины металла для толщин до 20 мм и не более 1 мм при большей толщине. Небольшие подрезы разрешается зачищать без предварительной заварки, большие устраняют заваркой и зачисткой.

### 3. НЕПРОВАР

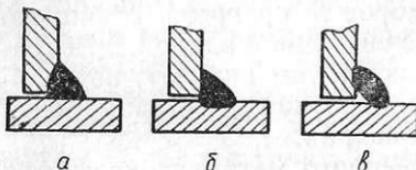


Рис. 11. Различные случаи несплавления в сварных швах таврового соединения:

*а* — на горизонтальной плоскости;  
*б* — на вертикальной; *в* — в вершине угла

Непровар — это отсутствие сплавления между наплавленным металлом и основным при сварке в один проход (рис. 11) или отсутствие местного сплавления между отдельными валиками при многослойной сварке. Уже сам факт несплавления говорит о том, что непро-

вар ведет к ослаблению сварного шва. В некоторых случаях ослабление шва за счет непровара может достигать 80%. Это весьма опасный дефект, хотя избежать его значительно легче, чем другие, например, газовые поры при сварке всех сплавов и металлов или трещины при сварке углеродистых и легированных сталей.

В предыдущем разделе отмечалась огромная роль смачивания твердого металла жидким в возникновении подрезов. Не менее важную роль играет смачивание твердого металла жидким при возникновении непровара.

При заниженном токе сварочная дуга плохо прогревает основной металл, не на всех участках проплавляет поверхность основного металла, и за счет этого в отдельных местах образуется непровар. Чрезмерно большой ток, большая скорость сварки и длинная дуга, смещение дуги на одну сторону, плохая зачистка кромок от загрязнений приводят к тому же результату: жидкий металл затекает на поверхность основного металла, образуя местный или общий непровар (см. рис. 11), который резко снижает качество сварных соединений металлоконструкций.

Таким образом, чтобы предотвратить непровар, необходимо тщательно зачищать поверхность металла от загрязнений (окалины, ржавчины или шлака при многослойной сварке), не допускать неравномерного смещения дуги на одну из сторон шва в процессе сварки, обеспечить достаточный прогрев и расплавление металла в основании сварочной ванны.

Размер допустимого непровара на отдельных участках шва оговаривается в технических условиях на изготовление конкретных конструкций.

#### 4. ГАЗОВАЯ ПОРИСТОСТЬ

Газовые поры — наиболее часто встречающийся дефект сварного шва, им подвержены все без исключения

сплавы и металлы. Пористость сварных швов снижает плотность и прочность металла шва, его коррозионную стойкость, способствует концентрации внутренних напряжений. В большинстве случаев разрушение металла от нагрузок или внутренних напряжений начинается с места скопления газовых пор. Пористые сварные швы расценивают как брак, их удаляют и варят повторно. Пористость швов служит причиной снижения производительности процесса сварки, ограничивая пределы по току.

Поскольку с этим дефектом сварщики сталкиваются в своей повседневной работе, рассмотрим подробно причины его возникновения и меры предупреждения.

**Металлографические исследования газовых пор.** Газовые поры в сварных швах, как и в литье, встречаются двух видов: поры округленной формы и вытянутой. Первые менее опасны, так как они небольшого объема, почти никогда не выходят на поверхность шва.

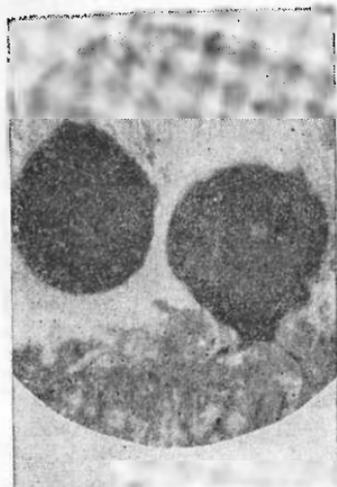


Рис. 12. Газовые поры в зоне сплавления при сварке чугуна монель-металлом. Шлиф травлен, увеличение в 100 раз

Вторые значительно большего объема, часто выходят на поверхность шва, прорезая газовым каналом шов на большую глубину. В некоторых случаях газовые каналы начинаются от зоны сплавления и проходят через шов до его поверхности.

На рис. 12 показаны газовые поры округленной формы. В нижней части его виден основной металл (чугун), в верхней — сплав чугуна, никеля и меди. Микрофотография наглядно показывает, что газовые поры образовались при кипении

сварочной ванны, сопровождавшемся зарождением и развитием газовых пузырей в жидком металле на поверхности чугуна, то есть на твердом металлическом основании ванны.

При сварке всегда в жидком металле растворяется то или иное количество газов (азота, кислорода, водорода), что связано с проникновением в зону дуги воздуха и влаги. В период кипения металла растворенные в нем газы и их соединения эффективно удаляются в виде пузырей. Но одновременно идет и процесс насыщения жидкого металла газами. Если процесс дегазации металла в период кипения проходит не достаточно эффективно, то к началу кристаллизации, когда растворимость газов в металле резко снижается, растворенные газы в результате пересыщения металла выделяются из раствора в виде отдельной газовой фазы, образуя пузыри. Если газо-

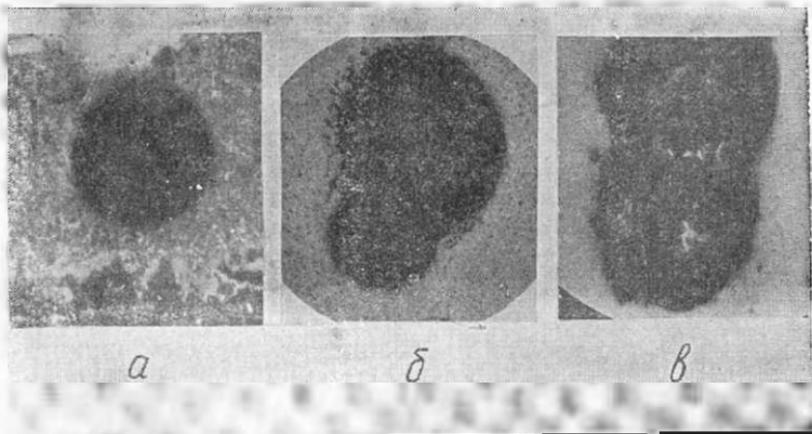


Рис. 13. Этапы развития газовых свищей в сварных швах:

*а* — зарождение и свободное развитие пузыря до начала кристаллизации; *б* — развитие такого же пузыря в период кристаллизации (в твердо-жидком металле) при небольших выделениях газа; *в* — основание сквозного свища в автоматном шве при больших выделениях газа в период кристаллизации металла. Увеличение в 100 раз



Рис. 14. Газовый свищ в автоматном шве, возникший от слияния двух газовых свищей. Увеличение в 100 раз

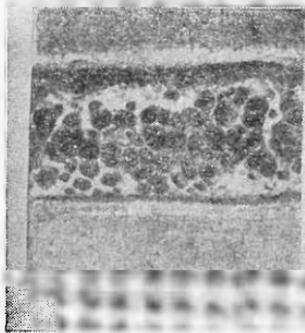


Рис. 15. Ситовидный характер пористости швов, вызванной азотом и водородом при сварке под флюсом

вые пузыри не успели оторваться от твердой поверхности и удалиться в атмосферу до начала кристаллизации или возникли в период активной кристаллизации, то они останутся в металле в виде газовых пор (см. рис. 12).

Наибольшую опасность представляют собой поры в виде газовых каналов-свищей (рис. 13), возникновение которых связано с условиями зарождения пузыри в жидком металле и развития его в период кристаллизации.

Если в этот период повышенная вязкость металла сочетается с большими выделениями газов (водорода), то газовые пузыри сильнее вытягиваются вверх, образуя газовые каналы-свищи (рис. 13, в).

На рис. 14 показан случай, когда газовый канал-свищ возник от слияния двух газовых каналов, образовавшихся от двух пузырей-зародышей. Между каналами видна тонкая «стенка». Если слияние каналов происходит на большом расстоянии от пузырей-зародышей, то воз-

никшая между ними «стенка» вытягивается на сравнительно большую высоту. Такое групповое расположение газовых каналов-свищей приводит к «ситовидной» пористости (рис. 15).

Основное влияние на возникновение газовых каналов-свищей оказывают азот и водород.

Для снижения содержания азота в сварочной ванне требуется надежная защита зоны дуги от воздуха: усиление шлаковой и газовой защиты жидкого металла, применение короткой дуги (пониженного напряжения на дуге). Нельзя допускать сварку по металлу, если он до этого наплавлялся голым или тонкопокрытым электродом. Особенно это касается сварки под флюсом, при которой «чувствительность» к азоту очень высокая.

Для снижения содержания водорода нужно прокаливать флюсы, электродные покрытия, удалять влагу из защитных газов, ржавчину и органические загрязнения с поверхности основного металла, сварочной проволоки, снижать величину тока, применять сварку «углом вперед».

Необходимо также учитывать роль кислорода в зарождении газовых пор. Кислород попадает в сварочную ванну, главным образом, из воздуха при плохой шлаковой и газовой защите. Закись железа хорошо растворяется в жидком металле и, реагируя с углеродом, образует окись углерода, которая также может принимать участие в зарождении и развитии газовых пор.

**Влияние основного металла.** Основной металл тоже оказывает влияние на склонность швов к пористости. Если при автоматической наплавке переменным током под флюсом марки АН-348-А сталей СтЗкп, СтЗсп, 09Г2С, 45 и серого чугуна Сч 15-32 использовать сухой флюс, все валики получатся плотными; при наплавке под влажным флюсом (или с подслоем влажного) валики плотными получаются только на СтЗкп, 45 и чугуне.

При наплавке под влажным флюсом на сталях СтЗсп и 09Г2С валики получаются сильно пористыми. Следовательно, при наплавке валиков под сухим флюсом на всех указанных металлах пористость не появляется. При наплавке на СтЗсп и 09Г2С в валиках возникает пористость, если флюс был влажным. Нужно заметить, что именно те стали, при наплавке которых под влажным флюсом валики оказались пористыми (СтЗсп и 09Г2С), наиболее часто используются для изготовления ответственных изделий (см. табл. 16), например, для сосудов, работающих под давлением, где пористость швов не допускается или строго ограничена (с. 166).

Чем объяснить, что различные металлы по-разному влияют на возникновение пористости? При изменении состава основного металла изменяются состав сварочной ванны, условия кипения, дегазации, степень растворимости газов в жидком металле. Все это в конечном итоге изменяет содержание газов в жидком металле, условия зарождения пузырей и склонность швов к пористости.

Совместное влияние влажности флюса и зазоров между свариваемыми элементами. На рис. 16 представлены фотографии образцов после автоматической наплавки и сварки под сухим и влажным флюсом. При сварке и наплавке под сухим флюсом (рис. 16, а) и при наплавке на СтЗсп под влажным флюсом (16, б) пористость не возникла. Только сочетание влажного флюса и зазора между свариваемыми элементами вызвало поры.

Влажность флюса опасна, так как она способствует появлению пористости швов, но ее влияние не однозначно. При постоянных режимах сварки оно может усиливаться или ослабевать, в зависимости от условий сварки (от состава основного металла, присадочного, от наличия зазоров и т. д.). При повышенном содержании влаги во флюсе (или водорода в жидком металле) проникновение даже небольших количеств воздуха в зону дуги через за-

зор в большой мере способствует возникновению пор. При замене воздуха чистым кислородом пористость не возникает, а при замене воздуха чистым азотом пористость большая. Приведенный пример показывает, что возникновение пористости очень зависит от совместного влияния азота и водорода и их взаимодействия.

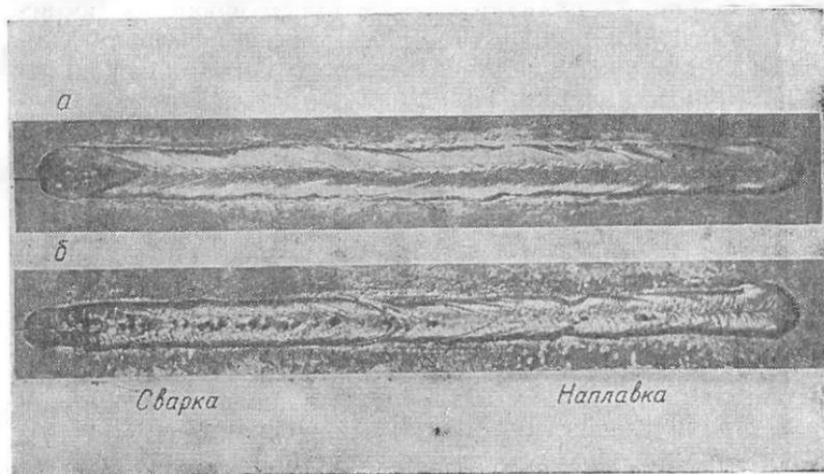


Рис. 16. Влияние влажности флюса на пористость металла шва при автоматической сварке и наплавке на СтЗкп;  
*а* — под сухим флюсом; *б* — под влажным флюсом

Чем выше содержание азота в сварочной ванне, тем опасней водород; чем выше содержание водорода, тем опасней азот. Поэтому при наличии источников влаги в зоне дуги (влажность флюса, защитных газов, электродных покрытий, ржавчина) и при использовании целлюлозных и пластмассовых покрытий следует вести сварку короткой дугой при минимальном напряжении, с минимальными зазорами между свариваемыми элементами, усилением шлаковой и газовой защиты зоны дуги. Если

же по каким-либо производственным причинам не удается обеспечить надежную защиту зоны дуги от воздуха и в сварочную ванну проникает азот, рекомендуется принимать меры по снижению содержания водорода в сварочной ванне.

**Влияние предварительного подогрева.** На рис. 12 показан случай, когда возникла пористость в основании сварочной ванны за счет большой скорости остывания металла и быстрого перехода от кипения к кристаллизации. Такой вид пористости часто встречается при сварке черных и цветных металлов и сплавов. Чтобы предупредить появление пористости, следует обеспечить медленное остывание металла ванны. А для этого нужен предварительный подогрев изделия.

Например, при автоматической сварке под флюсом сосудов, работающих под давлением, иногда в сварных швах (толщина металла 8—10 мм марки СтЗсп) возникают одиночно расположенные свищи, которые берут начало от подваренного участка и пронизывают весь шов. Это приводит к браку и требует трудоемкого исправления. Причин здесь может быть много: качество металла и материалов, режимы сварки и подварки, неравномерность зазоров и т. д. Предупредить возникновение одиночно расположенных свищей удастся применением предварительного местного подогрева газовым пламенем свариваемых участков металла до температуры 300°C. Медленное остывание сварочной ванны создает лучшие условия для ее дегазации и удаления пузырей до начала кристаллизации.

**Влияние тока.** Величина тока, род тока и полярность оказывают влияние на газосодержание и склонность швов к возникновению пористости. Чем выше ток, тем выше склонность шва к пористости. Наиболее плотные сварные швы получаются при низком постоянном токе обратной полярности, при этом снижается чувствительность швов к влажности флюсов. Снижение тока

(рис. 17) и замена переменного тока постоянным обратной полярности уменьшают пористость.

**Влияние скорости сварки.** На рис. 18 представлены сварные швы, полученные при сварке под влажным флюсом с применением различной скорости сварки. Снижение скорости сварки с 24 до 17 м/ч позволяет резко снизить пористость автоматного шва, а при сварке со скоростью 12 м/ч полностью ликвидировать, не смотря на зазор между свариваемыми элементами и влажный флюс.

**Влияние поверхностных загрязнений.** Поверхность основного металла часто загрязнена окалиной, ржавчиной, различными органическими покрытиями. Это повышает содержание газов в жидком металле и неметаллических включений и способствует зарождению газовых пузырей и пористости. Загрязнения могут быть также во флюсах, на поверхности электродных покрытий и т. д.

Для получения плотных швов нужно очистить поверхность основного металла (особенно от ржавчины) и не допускать загрязнения материалов при их хранении.

**Влияние наклона электрода и направления сварки.** В зависимости от наклона электрода и направления сварки склонность сварных швов к пористости изменяется. Сварка «углом вперед», когда дуга находится впереди жидкого металла и направлена на основной металл, обеспечивает сварные швы более устойчивые к пористости, чем сварка «углом назад», когда дуга направлена на жидкий металл. В первом случае содержание водорода в сварном шве меньше, чем во втором.

**Общие замечания и рекомендации.** Влияние многих перечисленных и некоторых других факторов на пористость швов взаимно обусловлено. В этом заключается трудность борьбы с пористостью и установ-

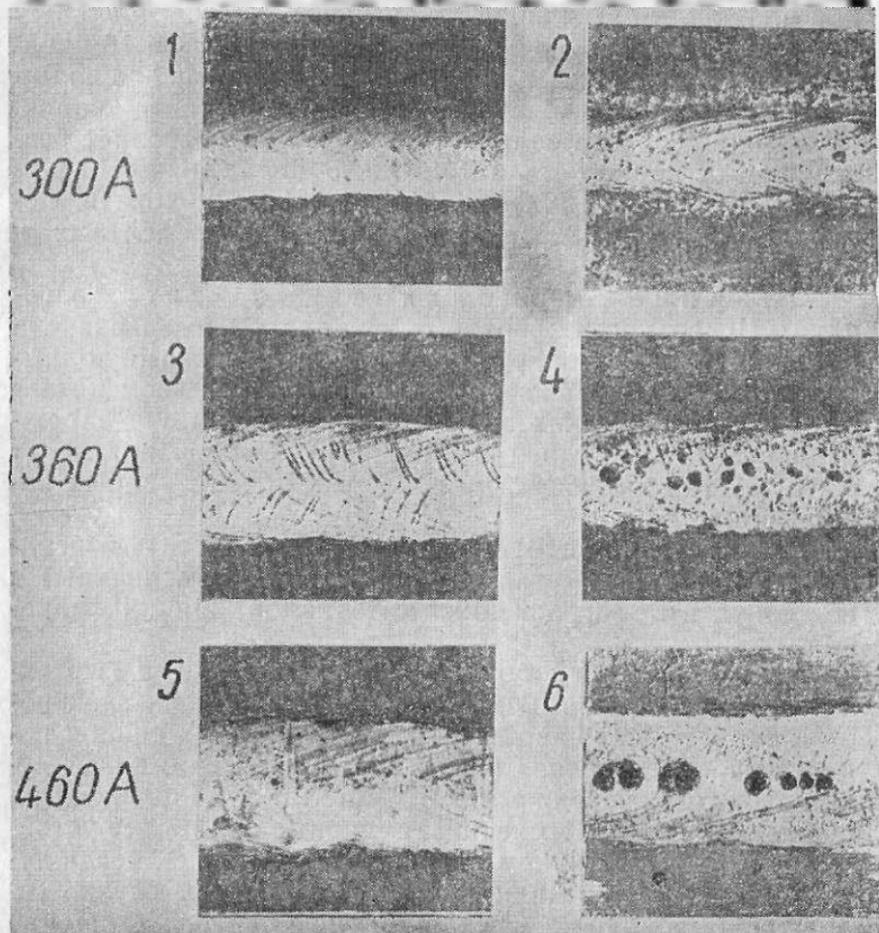


Рис. 17. Влияние величины переменного тока на пористость швов при автоматической сварке под сухим (1, 3, 5) и влажным (2, 4, 6) флюсом

ления причин ее возникновения. Кроме того, в производственных условиях по разным причинам весьма часто на сварку поступают заготовки и детали с загрязненной поверхностью, завышенными зазорами, не всегда прокалываются флюсы, электроды и т. д. Поэтому непосред-

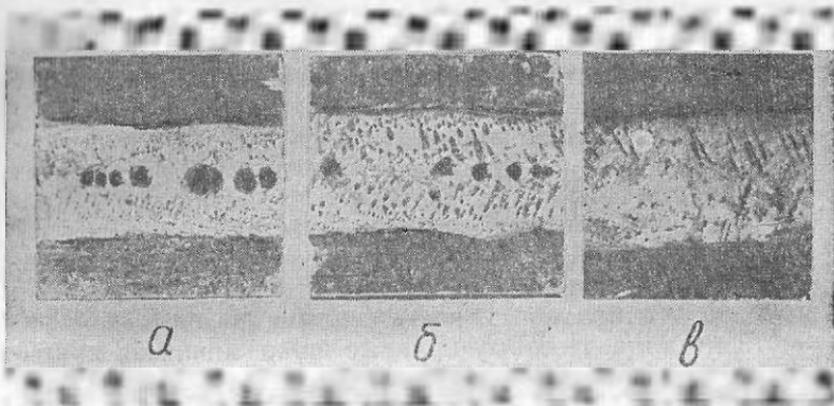


Рис. 18. Влияние скорости сварки на пористость швов при автоматической сварке под влажным флюсом на различных скоростях: а — 24 м/ч; б — 17 м/ч; в — 12 м/ч

ственно перед сваркой, при подборе технологии сварки, следует тщательно проверять режимы и материалы на контрольных образцах или технологических пробах.

Размер и количество допустимых газовых пор в сварном шве определяются технологическими условиями на изготовление конкретных конструкций.

## 5. НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ВКЛЮЧЕНИЯ

Неметаллические включения представляют собой различные загрязнения металла, чаще всего шлаки. Геометрия и размеры включений могут быть самыми различными

ми: круглые, игольчатые, тонкие слои величиной от нескольких миллиметров до размеров, которые нельзя обнаружить даже под микроскопом.

Совершенно очевидно, что неметаллические включения ослабляют сварной шов и создают местную концентрацию напряжений, некоторые из них способствуют возникновению газовых пор. Микроисследования показывают, что пористость сварного шва часто сочетается с большим количеством загрязнений неметаллического характера. Удаление шлака из жидкого металла и всплытие его на поверхность ванны непосредственно зависят от размеров включений, удельного веса шлака и металла, от степени прилипания шлака к металлу.

Из всех перечисленных факторов наибольшее влияние оказывает размер шлаковых включений. Чем они крупнее, тем больше скорость всплытия их на поверхность металла. Поэтому крупные включения, как правило, не задерживаются в сварочной ванне и встречаются в сварных швах чрезвычайно редко. Мелкие шлаковые включения, имеющие небольшую подъемную силу, всплывают значительно медленней, а иногда не всплывают. Во всех случаях выдержка жидкого металла в спокойном состоянии способствует всплыванию частиц шлака и удалению их из металла. Для этого нужно увеличить объем жидкого металла, погонную энергию, варить «углом назад» с увеличенным наклоном электрода.

## Глава VIII. МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ ШВОВ

Для обеспечения условий получения качественных сварных швов необходимо вести контроль за соблюдением технологических процессов до начала сварки, в процессе сварки, а также контроль качества шва и сварного соединения после сварки.

До начала сварки следует проверить: документацию (сертификаты) на основной металл и сварочные материалы (электроды, проволоку, флюсы и т. д.); состояние металлов — наличие ржавчины, окалины и различных дефектов металла, а также состояние сварочных материалов — влажность, загрязненность и пр.; качество подготовки и сборки металлов, прежде всего величину зазоров между свариваемыми элементами, правильность разделки кромки — углы скоса и притупления; исправность аппаратуры; правильность выбранной технологии на образце.

В процессе сварки контролируют правильность ведения процесса: постоянство режимов, стабильность горения дуги, отсутствие видимых дефектов (трещин, пор, подрезов и т. д.), получение сварного шва заданной геометрии.

При сварке ответственных изделий правильность выбора металлов, материалов, режимов и техники сварки проверяют по контрольным образцам, которые сваривают одновременно с изделиями. Часто (исключая сварку кольцевых швов) контрольные пластины представляют собой продолжение сварного соединения изделия. На контрольных образцах проверяют механические свойства сварного соединения и наплавленного металла, макро- и микроструктуру (металлографические исследования), наличие скрытых трещин и микротрещин, газовых пор, шлаковых включений, а также непровар, коррозионную стойкость металла шва и зон термического влияния согласно ГОСТам и техническим условиям.

Методы контроля качества швов сварных соединений устанавливает ГОСТ 3242—69. Стандарт предусматривает выявление наружных дефектов, внутренних и сквозных.

Для выявления наружных дефектов применяют: внешний осмотр и измерения; контроль красками и люминофорами; магнитно-порошковый метод.

Внутренние дефекты выявляют, применяя технологические пробы, металлографический метод, контроль просвечиванием проникающими излучениями (радиографический метод), метод ультразвуковой дефектоскопии, магнитно-порошковый, магнитно-индукционный и магнитно-графический методы, контроль вскрытием.

Сквозные дефекты обнаруживают с помощью таких способов: смачивание керосином; обдув сжатым воздухом; контроль воздушным давлением; контроль аммиаком; контроль гидравлическим давлением; контроль наливом воды; контроль поливом водой; метод испытания теченскателями.

## **1. КОНТРОЛЬ ВНЕШНИМ ОСМОТРОМ И ИЗМЕРЕНИЯМИ**

Внешний осмотр сварных швов применяется во всех случаях, независимо от других методов контроля, после тщательной очистки сварного соединения от шлака, брызг и других загрязнений. При осмотре выявляют: непровар, наплывы, прожоги, незаваренные кратеры, подрезы, трещины в сварных швах и в зоне термического влияния, пористость, смещение свариваемых элементов, правильность формы, размеров и расположения сварных швов, их соответствие чертежам, ГОСТам, нормальям, техническим условиям на изготовление сварного изделия.

Осмотр производят без применения лупы или с помощью лупы с увеличением до 10 раз. Границы трещин выявляют после шлифовки дефектного участка наждачной бумагой и травления.

## **2. КОНТРОЛЬ КРАСКАМИ И ЛЮМИНОФОРАМИ**

ГОСТ 3242—69 предусматривает выявление красками и люминофорами дефектов, имеющих размеры

0,002—0,500 мм при сварке сталей аустенитного класса, нержавеющей, титана и его сплавов.

В 1973 г. введен ГОСТ 18442—73 «Неразрушающий контроль. Капиллярные методы» для выявления невидимых или слабо видимых глазом дефектов, выходящих на поверхность материалов и изделий любой формы. По способу выявления и регистрации дефектов аппаратуру подразделяют на люминесцентную, цветную и комбинированную (люминесцентно-цветную и т. д.).

Название «Капиллярные методы» связано со способностью некоторых жидкостей (светящихся или окрашенных) проникать в мельчайшие щели или отверстия (капилляры).

Люминесцентный метод контроля основан на способности ультрафиолетовых лучей вызывать свечение некоторых веществ (люминофоров), применяется для обнаружения мелких поверхностных дефектов (трещин, расслоений и т. д.) в ответственных деталях. Для контроля этим методом металл следует очистить от загрязнений и затем нанести на проверяемую поверхность жидкий раствор вещества — люминофора. Это может быть дефектоль, раствор которого в бензине при освещении ультрафиолетовыми лучами светится желто-зеленым светом. В поверхностные трещины за счет капиллярного давления проникает раствор вещества люминофора. После небольшой выдержки (10—15 мин) контролируемую деталь промывают, просушивают и в затемненном помещении облучают ультрафиолетовыми лучами. По свечению раствора на поверхности детали можно судить о наличии и расположении дефектов.

Цветной метод имеет сходство с люминесцентным, но более прост, не требует облучения проверяемой детали в темном помещении. Контролируемая поверхность обезжиривается авиационным бензином, смазывается или окунается в специальный (например, керосино-скипидарный) раствор, в который входит темно-крас-

ный анилиновый краситель. Время пропитки составляет 15—20 мин. После пропитки поверхность тщательно протирают и промывают 5%-ным раствором кальцинированной соды. Затем с помощью пульверизатора или кистью на поверхность наносят тонкий слой суспензии магнезии в воде или других суспензий, создающих светлый фон и обладающих способностью адсорбировать проникший в трещины и поры окрашенный раствор.

Дефекты проявляются в виде рисок или красных пятен (если применен темно-красный краситель). Время проявления дефекта — 30 мин.

### 3. МАГНИТНЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

Магнитные методы контроля основаны на свойстве магнитных силовых линий изменять свое направление в местах дефектов металла. Используя принцип магнитного рассеяния над дефектом металла при намагничивании, можно с достаточной точностью выявить наличие дефектных мест и на поверхности, и внутри металла (ГОСТ 21104—75 и ГОСТ 21105—75).

Магнитные методы контроля применяются для выявления дефектов в сварных швах, выполненных из ферромагнитных материалов (углеродистые, низколегированные и легированные стали).

Существуют три магнитных метода контроля металла: магнитно-порошковый, магнитно-индукционный и магнитно-графический.

Магнитно-порошковый метод согласно ГОСТ 3242—69 применим только на стыковых сварных соединениях. Размер выявляемого дефекта — не менее 0,10 мм. Метод заключается в том, что на поверхность контролируемого металла равномерным слоем наносят порошок (сухой метод) или эмульсию (мокрый метод), намагничивают металл и визуально фиксируют наличие дефектов. Порошок или эмульсия, попадая в магнитный

поток рассеяния, вызванного дефектом, принимают форму дефекта.

В качестве магнитного порошка при сухом методе применяют измельченную железную окалину или закись-окись железа. Намагничивать металл можно с помощью электромагнита, соленоида или пропустив ток через контрольный материал (через сварное соединение). При наведении магнитного поля контролируемый металл слегка обстукивают молотком, чтобы облегчить подвижность порошка, сдувают слабой воздушной струей, а по оставшемуся порошку определяют наличие и расположение дефектов. После контроля металл размагничивают. Дефекты фиксируются на глубину до 25 мм.

При мокром методе вместо порошка применяют магнитную суспензию, состоящую из жидкости (керосин, трансформаторное масло) и магнитного порошка. Дефекты обнаруживаются в местах магнитного рассеяния по скоплению порошка.

**Магнитно-индукционный метод** отличается тем, что магнитное рассеяние фиксируется с помощью индукционной катушки. Для контроля сварных соединений применяют магнитные дефектоскопы. В промышленности зарекомендовали себя индукционные дефектоскопы, позволяющие определять дефекты сварных швов в стыковых соединениях толщиной 6—25 мм.

**Магнитно-графический метод** основан на фиксации потока рассеяния на магнитной ленте, которая плотно прижимается к поверхности шва. Отклонение силовых линий магнитного поля на ленте воспроизводится на специальном дефектоскопе. Используется при толщине швов 1—16 мм.

#### **4. МЕТОД ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОБЫ**

Технологические пробы (рис. 19) применяют для определения степени сплавления металла, характера излома

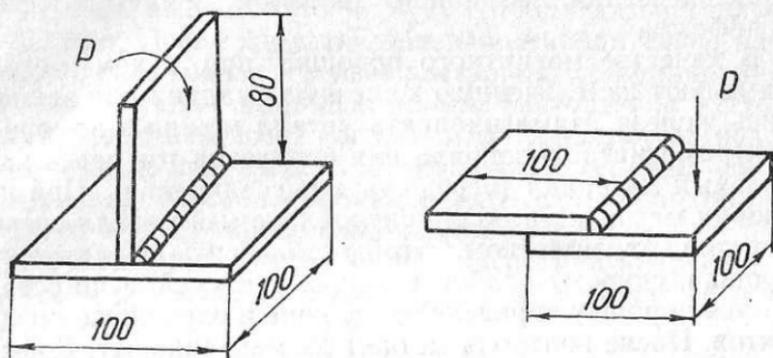


Рис. 19. Наиболее распространенные образцы для технологических проб

(по шву или основному металлу), различных дефектов шва и позволяют уточнить правильность выбора металлов, материалов, режимов, техники сварки, а также те или иные отклонения от стандартов или технологии, которые необходимо устранить до сварки.

Поверхность излома технологической пробы проходит по наиболее слабым местам, в результате чего обнаруживаются дефектные участки шва или околошовной зоны (трещины и т. д.).

Для проверки сварочно-технологических свойств покрытых электродов согласно ГОСТ 9466—75 применяют специальные тавровые образцы, трубные сварные стыковые и образцы для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами.

## 5. МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД

С помощью металлографического контроля выявляют структуру металла и наличие в нем дефектов. Изучение структуры металла нужно потому, что качество сварного соединения, его механические свойства зависят не

только от химического состава металла, но и в большой степени от структуры. Металлографические исследования в общем случае предусматривают изучение микро- и макроструктуры металла шва и околошовной зоны.

Микроструктуру металла можно увидеть только при сильном увеличении под микроскопом. Она характеризует состав металла, температуру нагрева, скорость остывания и, в конечном итоге, его механические свойства. На рис. 20 показана микроструктура отдельных участков шва и основного металла.

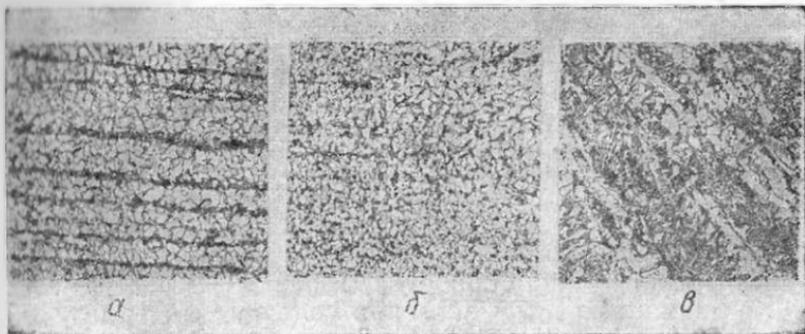


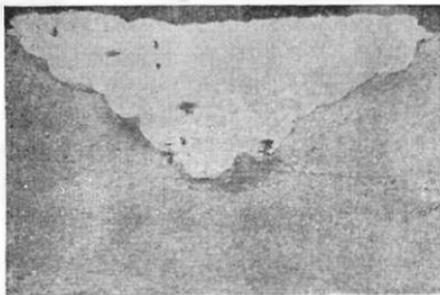
Рис. 20. Микроструктура наплавленного металла:

*а* — основной металл (низкоуглеродистая сталь с повышенным содержанием марганца); *б* — зона сплавления (слева — основной металл, подвергшийся нагреву, справа — металл шва); *в* — металл шва в центральной части. Травлено, увеличение в 150 раз

Макроструктура — это структура, которую можно увидеть невооруженным глазом или с помощью лупы. На рис. 21 представлена макроструктура металла после наплавки.

Образцы для металлографических исследований готовят следующим образом. Вырезают их поперек шва, плоскость разреза подвергают механической шлифовке, полировке и травлению.

Поскольку травление металла шва, зоны термического влияния и основного металла неравномерное (одни участки травятся сильнее, другие слабее), то метод травления помогает четко определить контуры основного металла и металла шва, величину зоны термического влияния, выявить неоднородность структуры, характер кристаллизации сварочной ванны, ликвацию (неравномерное распределение примесей) и, конечно, дефекты сварного шва, которые попали в плоскость шлифа. Образцы



осматривают под микроскопом и с помощью лупы.

Образцы для контроля структуры изготавливают с помощью механической обработки, абразивным инструментом, а также газовой резкой при условии, что припуски на обработку будут достаточными для предотвращения структурных изменений в металле, вызванных нагревом.

## 6. РАДИОГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД

Радиографический метод контроля сварных соединений (ГОСТ 7512—75) относится к неразрушающим методам и предусматривает использование рентгеновского, гамма- и тормозного излучений для выявления различных дефектов. Этот метод, обладая определенными достоинствами и недостатками, нашел широкое применение в промышленности.

Рентгеновские лучи и гамма-лучи обладают ценными свойствами: способны проходить через непрозрачные

предметы (металлы); действуют на фотопленку (рентгеновскую пленку); способны вызвать свечение (флюоресценцию) некоторых химических элементов, что используется при применении усиливающих экранов во время просвечивания сварных швов.

Вид и величина допускаемых дефектов, их комбинация и объем контроля устанавливаются правилами, инструкциями или техническими условиями, утвержденными на данные сварные изделия. Вид контроля (просвечивание на экран или изготовление снимков на рентгеновской пленке) также оговаривается техническими условиями.

Перед просвечиванием шов сварного соединения должен быть очищен от шлака, брызг, окалина и других загрязнений. Если при внешнем осмотре обнаружены дефекты шва сварного соединения (трещины, пористость, подрезы, шлаковые включения и др.), то перед просвечиванием их следует устранить. Просвечивание швов с видимыми дефектами категорически запрещается, поскольку на рентгеновской пленке должны фиксироваться только скрытые дефекты.

Источником рентгеновских лучей служит рентгеновская трубка. Пучок рентгеновских лучей направляется на сварное соединение перпендикулярно оси шва. С другой стороны шва устанавливают светонепроницаемую кассету, в которой находятся рентгеновская пленка и два экрана, усиливающие изображение. Дефектные места шва — газовые поры, шлаковые включения, трещины и другие — в меньшей степени снижают интенсивность проникающих лучей, чем сплошной металл. Степень засвечивания пленки будет больше в местах расположения дефектов.

Время просвечивания (экспозиция) зависит от толщины проверяемого металла, фокусного расстояния, интенсивности излучения и чувствительности пленки. После просвечивания пленку проявляют, как это обычно делает-

ся в фотографии. На полученном негативе будут видны отдельные, более темные участки, по которым можно судить о наличии и размерах дефектов в сварном шве или околошовной зоне.

Применяется также рентгено-телевизионный контроль, когда дефекты сварных швов в момент рентгеновского просвечивания изображаются на телевизионном экране.

Просвечивание гамма-лучами (гамма-дефектоскопия) аналогично просвечиванию лучами рентгеновскими. Гамма-лучи возникают в результате самопроизвольного распада естественных радиоактивных элементов (урана, радия, тория) или искусственных радиоактивных веществ, полученных под воздействием ядерных частиц (нейтронов). В промышленности широко используются искусственные радиоактивные изотопы (кобальт-60, цезий-137, тулий-170, иридий-192). Радиоактивный изотоп кобальт-60 может безотказно использоваться пять с лишним лет, а цезий-137 — более 30 лет. В этом заключается одно из преимуществ гаммаграфирования по сравнению с рентгенографированием. Гамма-лучи действуют во всех направлениях с одинаковой силой, а потому позволяют просвечивать кольцевые швы или одновременно несколько деталей, расположенных по кругу, за одну экспозицию.

К существенным недостаткам гаммаграфирования следует отнести большое время экспозиции и меньшую чувствительность к выявлению дефектов в сварных швах толщиной до 50 мм. Кроме того, контейнер с ампулой радиоактивного вещества требует особого помещения для хранения, при работе с ним необходимы тщательные меры предосторожности во избежание облучения, что часто бывает трудно выполнить. Поскольку большие дозы облучения приводят к лучевой болезни, доза облучения фиксируется специальным прибором-дозиметром, ко-

торый на время работы дефектоскописта прикрепляется к его куртке.

## **7. МЕТОД УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ**

Метод ультразвуковой дефектоскопии применяется при толщине металла не менее 6 мм. Он основан на использовании ультразвуковых волн, которые представляют собой упругие колебания материальной среды с частотой колебания выше 20 кГц (выше, чем та, которую способны воспринимать слуховые органы человека).

В этом методе контроля (ГОСТ 14782—69) используется способность ультразвуковых волн отражаться от границы раздела двух сред, обладающих разными акустическими свойствами. Когда при прохождении через сварной шов ультразвуковые волны встречаются на своем пути дефекты (трещины, поры, шлаковые включения, расслоения и т. д.), они отражаются от границы раздела металл — дефект и могут быть зафиксированы при помощи специальных ультразвуковых дефектоскопов.

Классификация дефектности стыковых сварных швов по результатам ультразвукового контроля приведена в ГОСТ 22368—77 (введен с 1.01.1978).

## **8. КОНТРОЛЬ ВСКРЫТИЕМ**

Метод не обеспечивает высокой точности результатов, но он прост, не требует специального оборудования и поэтому иногда применяется непосредственно в цехе. Его можно рекомендовать только в том случае, когда другие, более эффективные и надежные методы контроля невозможно применить по техническим причинам. Для контроля в определенных местах засверливают сварные швы. Осмотр этих мест позволяет выявить непровар, скрытые газовые поры, шлаковые включения, трещины. Засверловка производится пневматической или электрической

дрелью с таким расчетом, чтобы сверло углубилось в основной металл на 2—3 мм. Места засверловки выбирает контролер. После контроля отверстия заваривают.

## 9. КОНТРОЛЬ НА ПЛОТНОСТЬ

Контроль швов на плотность или непроницаемость применяется при изготовлении открытых емкостей для хранения жидкостей, закрытых сосудов для жидкости или газа, работающих в условиях высокого давления или вакуума.

Герметичность сварных соединений может быть нарушена из-за трещин, непроваров, газовых каналов-свищей и других сквозных дефектов.

В практике известно много различных способов контроля сварных швов на плотность согласно ГОСТ 3242—69: смачивание керосином, обдув сжатым воздухом, испытание воздушным давлением, аммиаком, гидравлическим давлением, наливом воды, поливом водой, применение течеискателей.

**Контроль керосином.** Испытание плотности сварных швов основано на известном свойстве керосина проникать в мельчайшие отверстия (трещины) за счет его высокой капиллярной способности. Испытание плотности керосином определено ГОСТ 3285—65.

С одной стороны шва наносят водную суспензию мела, подсушивают ее, с другой — керосин. При больших объемах работы керосин можно наносить с помощью керосинореза или краскопульта. Если керосин проходит шов насквозь, на поверхности, покрытой мелом, появляются темные пятна. Время контроля зависит от толщины металла и температуры воздуха: от 12 ч при температуре выше 0°С до 24 ч при температуре ниже 0°С. Такие условия вызваны тем, что с понижением температуры снижается проникающая (капиллярная) способность керосина. Время испытания оговаривается в ТУ на изготовле-

ние изделия, а при ремонтных работах определяется опытным путем.

Если в течение определенного времени на шве, покрытом мелом, не появятся темные пятна керосина, плотность швов считается достаточной, чтобы удерживать воду без давления или при давлении до 2—3 кгс/см<sup>2</sup>.

Испытание сжатым воздухом. Известны два варианта испытания: повышение давления в закрытом сосуде и обдув шва сжатым воздухом. По первому варианту в закрытый сосуд подают сжатый воздух, а швы снаружи смачивают мыльным раствором. По появлению пузырей можно судить о наличии в шве неплотностей. Если изделие небольшое, то для проведения испытаний его можно опускать в воду, где легко обнаружить пузыри выходящего воздуха, проходящего через сквозные неплотности.

По сравнению с гидравлическим (см. далее) этот способ проще, не связан с применением воды и незамерзающих жидкостей в зимних условиях, но требует соблюдения правил предосторожности, так как при испытании возможен взрыв. Величина давления при испытаниях принимается не больше чем 1,25—1,5 рабочего давления. Поскольку испытывать плотность сосудов воздухом опасно, обычно применяют давление воздуха до 2 кгс/см<sup>2</sup>.

Второй вариант пневматического контроля — проверка плотности сварных швов при обдувке его сжатым воздухом, имеющим манометрическое давление 4—5 кгс/см<sup>2</sup>. Противоположную сторону шва покрывают мыльным раствором, чтобы по появлению пузырей можно было фиксировать места с неплотностями. Расстояние между кончиком воздушного шланга и швом следует выдерживать не более 50 мм.

Этот простой и безопасный метод удобно применять при ремонтных работах, а также для предварительного контроля сварных швов на плотность. Например, при гидравлическом испытании литых чугунных секций карбоко-

лонн диаметром 3000 мм часто обнаруживали течи из-за некачественного литья. Для их устранения секции разбирали, дефектные места разделявали и заваривали железоникелевыми электродами с проковкой швов в горячем состоянии. Сварка чугуна на плотность, особенно массивных отливок, вызывает определенные трудности, связанные с необходимостью сваривать и испытывать сварные соединения по нескольку раз. Закупорка чугунных секций, наполненных водой, и создание давления — операции трудоемкие, требующие около трех часов. Выявление неплотностей обдувом занимало всего 5—6 мин. Только после получения положительных результатов испытаний плотности швов обдувом секции ставили на длительные и трудоемкие гидравлические испытания. Метод обдува позволяет получить значительную экономию времени и трудозатрат, поскольку выявляет течи без сборки (закупорки) секции, применения воды и т. д.

**Вакуумный метод.** Иногда проверяют плотность швов не повышением давления, а созданием вакуума. Для этого на определенном участке шва устанавливают специальную вакуум-камеру с прозрачной крышкой. Обнаружение неплотностей фиксируется с помощью раствора мыла по появлению пузырей. Метод предусматривает использование переносных вакуум-камер, накладываемых на участок контролируемого соединения.

**Испытание аммиаком.** В испытуемое изделие подают аммиак в количестве 1% от объема воздуха при нормальном давлении, затем нагнетают сжатый воздух, который повышает в изделии давление до требуемого для проведения испытаний. Наружные швы, подлежащие испытанию, покрывают бумажной лентой, предварительно пропитанной 5%-ным водным раствором азотной кислоты ртути (раствор токсичен). В местах неплотностей аммиак оставляет на бумаге черные пятна. Время испытания составляет 1—5 мин. Ленту можно пропитать

тивать и фенолфталеином. В этом случае пятна будут красного цвета.

**Гидравлические испытания.** Применяют три варианта гидравлических испытаний: водой под давлением, водой без давления, струей воды под давлением.

Гидравлическому испытанию подвергают сосуды, работающие под давлением, так как этот метод наиболее качественный, достоверный и безопасный. Испытания проводят согласно ГОСТ 1999—60.

Перед гидравлическим испытанием сварные швы предварительно проверяют наружным осмотром с использованием неразрушающих методов контроля, которые предусмотрены ГОСТом или ТУ на изготовление сосудов под давлением. Например, Донецкий машиностроительный завод им. Ленинского комсомола Украины изготавливает воздухосборники В-1,6 (ГОСТ 9028—59) на рабочее давление  $8 \text{ кгс/см}^2$  для комплектации шахтных подъемных машин и экскаваторов. Диаметр воздухосборника 1000 мм, объем  $1,6 \text{ м}^3$ .

Согласно ГОСТ 9028—59 завод-изготовитель должен подвергать воздухосборники испытанию на прочность и плотность водой пробным давлением  $11 \text{ кгс/см}^2$  в течение 5 мин. По истечении указанного времени давление должно быть плавно снижено до рабочего —  $8 \text{ кгс/см}^2$ . Это давление поддерживается в течение времени, необходимого для осмотра воздухосборника и обстукивания сварных швов. При гидравлическом испытании воздухосборники не должны давать течи, запотевать и обнаруживать признаки разрыва. Если при испытании выявлены дефектные участки швов, то их полностью удаляют и сваривают заново, одновременно принимают меры по устранению повторного возникновения дефектов. После устранения дефектов гидравлические испытания повторяются.

Испытания при давлении выше рабочего, как показывает приведенный пример из практики, обеспечивают не

только контроль сварных швов на плотность, но и контроль сварных соединений и всего изделия на прочность.

Испытание водой без давления или наливом. Испытание производится путем заполнения сварного изделия водой при температуре окружающего воздуха не ниже 0°C и температуре воды не ниже плюс 5°C. Время испытания должно быть не менее 1 ч.

Испытание струей воды или поливом. При испытании сварные швы поливают из брандспойта с диаметром выходного отверстия не менее 15 мм. Давление воды в магистрали должно быть не менее 1 кгс/см<sup>2</sup>. Проницаемость сварных швов и места дефектов устанавливаются по появлению течи, по запотеванию поверхности шва или близлежащей зоны (ГОСТ 3845—65).

## 10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Методы определения механических свойств сварного соединения в целом, отдельных его участков, а также наплавленного металла при всех видах сварки металлов и их сплавов установлены ГОСТ 6996—66.

Стандарт устанавливает методы определения механических свойств при следующих видах испытаний:

а) испытание металла различных участков сварного соединения и наплавленного металла на статическое (кратковременное) растяжение;

б) испытание металла различных участков сварного соединения и наплавленного металла на ударный изгиб (на надрезанных образцах);

в) испытание металла различных участков сварного соединения на стойкость против механического старения;

г) измерение твердости металла различных участков сварного соединения и наплавленного металла;

д) испытание сварного соединения на статическое растяжение;

с) испытание сварного соединения на статический изгиб (загиб);

ж) испытание сварного соединения на ударный разрыв.

Стандарт распространяется на испытания, проводимые при определении качества продукции и сварочных материалов, пригодности способов и режимов сварки, при установлении квалификации сварщиков и показателей свариваемости металлов и сплавов. Выбор вида испытания предусматривается в стандартных и технических условиях на продукцию.

При испытании металла на статическое (кратковременное) растяжение определяют следующие характеристики механических свойств:

предел текучести физический  $\sigma_T$ , кгс/мм<sup>2</sup> или предел текучести условный  $\sigma_{0,2}$ , кгс/мм<sup>2</sup>;

временное сопротивление  $\sigma_B$ , кгс/мм<sup>2</sup>;

относительное удлинение после разрыва (на пятикратных образцах)  $\delta_5$ , %;

относительное сужение после разрыва  $\psi$ , %.

Предел текучести физический  $\sigma_T$  — наименьшее напряжение, при котором происходит деформация испытуемого образца без увеличения нагрузки, что соответствует положению, когда нагрузка на образец не увеличивается, а образец удлиняется (металл «течет»),

$$\sigma_T = \frac{P_T}{F_0},$$

где  $P_T$  — наибольшая растягивающая сила, обеспечивающая начало текучести образца, кгс;

$F_0$  — площадь поперечного сечения образца перед испытанием, мм<sup>2</sup>.

Предел текучести условный  $\sigma_{0,2}$  — напряжение, при котором остаточная деформация образца достигает 0,2%.

$$\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0}.$$

Временное сопротивление, или предел прочности, при растяжении  $\sigma_B$  — напряжение, отвечающее наибольшей нагрузке  $P_{\max}$ , предшествовавшей разрушению образца.

$$\sigma_B = \frac{F_{\max}}{F_0}.$$

Относительное удлинение при растяжении  $\delta$  — отношение абсолютного удлинения образца  $\Delta l$  при разрыве к первоначальной его длине  $l_0$ . Если длину образца (конечную длину) в момент разрыва обозначить  $l_k$ , то  $\Delta l = l_k - l_0$ .

Относительное удлинение на пятикратных образцах

$$\delta_5 = \frac{\Delta l}{l_0} 100\%.$$

Относительное сужение  $\psi$  — отношение абсолютного уменьшения площади поперечного сечения образца  $\Delta F$  к первоначальной площади  $F_0$ . Если площадь образца после разрыва обозначить  $F_k$ , то  $\Delta F = F_0 - F_k$ .

$$\psi = \frac{\Delta F}{F_0} 100\%.$$

При испытании на ударный изгиб определяют ударную вязкость металла шва, околошовной зоны (в различных участках) и наплавленного металла.

Ударной вязкостью  $a_H$  называют способность металла сопротивляться действию ударных нагрузок. Ударная вязкость определяется в лаборатории на маятниковых копрах и характеризуется работой  $A_H$  в кгс·м, которую необходимо затратить для разрушения образца площадью поперечного сечения  $F$  см<sup>2</sup>; имеет размерность кгс·м/см<sup>2</sup>,

Стойкость против механического старения характеризуется изменением ударной вязкости металла, подвергнутого старению, по сравнению с ударной вязкостью его в исходном состоянии.

Старением металла называют изменение его свойств во времени вследствие происходящих внутренних процессов (выделение по границам зерен металла карбидов и нитридов, снижающих пластичность стали). О стойкости металла против механического старения судят по выраженному в процентах отношению изменения ударной вязкости к исходной.

Твердость металла шва, наплавленного металла, металла околошовной зоны и основного измеряют на приборах Бринелля, Роквелла (шкалы А, В и С) и Виккерса. Твердостью называют способность металла или сплава оказывать сопротивление прониканию в него другого, более твердого тела.

Твердость по Бринеллю измеряется по глубине вдавливания в металл стального шарика диаметром 2,5; 5 и 10 мм, по Роквеллу — стального шарика диаметром 1,588 мм или алмазного конуса с углом при вершине 120°, по Виккерсу — правильной четырехгранной алмазной пирамиды. Твердость по Бринеллю обозначается НВ (Н — твердость, В — Бринелль), по Роквеллу — НРА, НRV и НRC (А, В, С — шкалы, Н — твердость, R — по Роквеллу), по Виккерсу — НV (Н — твердость, V — по Виккерсу). Например, НВ 300, НВ 400, НRV 400, НRC 50 и т. д.

При испытании сварного соединения на статическое растяжение определяют:

прочность наиболее слабого участка стыкового или нахлесточного соединения (ГОСТ 6996—66), кгс/мм<sup>2</sup>;

прочность металла шва в стыковом соединении, кгс/мм<sup>2</sup>.

Для испытаний применяются плоские и круглые образцы. Временное сопротивление определяют по формуле

$$\sigma_{\text{в}} = k \frac{P}{F},$$

где  $k$  — поправочный коэффициент, который для углеродистых и низколегированных конструкционных сталей принимается равным 0,9;

$P$  — максимальное усилие, кгс;

$F$  — площадь поперечного сечения образца в наименьшем сечении до испытания, мм<sup>2</sup>.

Утолщение шва, полученное на образце, должно быть снято перед испытанием с помощью механической обработки до уровня основного металла. Острые кромки плоского образца должны быть закруглены радиусом не более 1,0 мм

Испытание сварного соединения на статический изгиб проводят для стыковых сварных соединений. При испытании определяют способность соединения принимать заданный по размеру и форме изгиб (угол изгиба или загиба  $\alpha$ ) при образовании первой трещины в растянутой зоне образца.

При сварке труб малого диаметра их подвергают испытанию сплющиванием. Результаты испытаний характеризуются величиной просвета между сжимаемыми поверхностями при появлении первой трещины на поверхности образца.

На ударный разрыв испытывают сварные соединения толщиной до 2 мм. Используют те же маятниковые копры, на которых определяют ударную вязкость. Применяется это испытание редко.

## 11. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА

Знание химического состава основного металла, металла шва и сварочных материалов необходимо для предотвращения брака изделий и выяснения причин возникновения дефектов в сварных соединениях.

Например, при возникновении трещин в сварных швах при сварке сталей для установления причины их появления прежде всего нужно знать химический состав основного металла (содержание углерода и легирующих элементов). Состав металла шва, как и основного, определяет склонность металла к закалке и трещинам, механические свойства и т. д. Химический анализ металлов и сварочных материалов часто делают при отсутствии сертификатов.

Пробы отбирают в соответствии с ГОСТ 7122—75, анализ проводят в химических или спектральных лабораториях.

Проба должна отбираться:

из сварных швов изделий или специально сваренных образцов; из наплавленного металла изделий или металла, специально наплавленного на образцы.

Допускается отбирать пробу из любой части сварного шва или наплавленного металла по их длине, исключая неиспользуемые начальные и конечные участки сварных швов или наплавленного металла образцов. Место отбора проб устанавливается техническими условиями на изделия или сварочные материалы. Перед взятием пробы поверхность сварного шва или наплавленного металла следует тщательно очистить от окалины, ржавчины и механических загрязнений.

Если границы сварного шва или наплавленного металла не могут быть установлены наружным осмотром без дополнительной обработки, то торцы вырезанных участков должны быть отшлифованы и протравлены. После травления на торце вырезанного участка нужно наметить

керном границы металла для взятия пробы, которые должны отстоять от линии сплавления металла сварного шва или наплавленного металла с основным на расстоянии 2,5—3,0 мм в сторону анализируемого металла.

Отбор пробы должен производиться в пределах анализируемого металла точением, строганием, фрезерованием или сверлением. При отборе пробы для определения послойного или поваликового химического состава сверление допускается только в том случае, если толщина анализируемого металла не менее 10 мм. Перед отбором пробы допускается термическая обработка вырезанного участка, если она улучшает обрабатываемость анализируемого металла и не влияет на его химический состав.

Для определения среднего химического состава сварного шва пробу нужно брать по оси сварного шва до границы анализируемого металла. Скорость резания следует выбирать такой, чтобы стружка не имела цветов побежалости. Количество стружки, поступающей на анализ, уточняется в химлаборатории и зависит от применяемых методов анализа.

## Глава IX. СВАРКА СОСУДОВ, РАБОТАЮЩИХ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Сварка сосудов, работающих под давлением, должна выполняться в строгом соответствии с «Правилами устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением», утвержденными Госгортехнадзором СССР 19 мая 1970 г. Доверяют вести ее только тем сварщикам, которые прошли специальную аттестацию (см. главу X).

Сосуд, работающий под давлением, — герметически закрытая емкость, предназначенная для химических и тепловых процессов, а также для хранения и перевозки

сжатых, сжиженных и растворенных газов и жидкостей под давлением. Границей сосуда являются входные и выходные штуцера.

Указанные Правила распространяются:

а) на сосуды, работающие под давлением свыше  $0,7 \text{ кгс/см}^2$ ;

б) цистерны и бочки для перевозки сжиженных газов, давление паров которых при температуре до  $50^\circ\text{C}$  превышает  $0,7 \text{ кгс/см}^2$ ;

в) сосуды, цистерны для хранения, перевозки сжиженных газов, жидкостей и сыпучих тел без давления, но опорожняемые под давлением газа свыше  $0,7 \text{ кгс/см}^2$ ;

г) баллоны, предназначенные для перевозки и хранения сжатых, сжиженных и растворенных газов под давлением свыше  $0,7 \text{ кгс/см}^2$ .

Правила не распространяются:

а) на приборы парового и водяного отопления;

б) сосуды и баллоны емкостью не свыше 25 л, у которых произведение емкости в литрах на рабочее давление в атмосферах составляет не более 200;

в) части машин, не представляющие собой самостоятельных сосудов, например цилиндры двигателей паровых и воздушных машин и компрессоров; неотключаемые промежуточные холодильники и масловодоотделители компрессорных установок, конструктивно встроенные в компрессор; воздушные колпаки насосов; амортизационные стойки, подкосы и гидроаккумуляторы шасси самолетов и т. п.;

г) сосуды из неметаллических материалов;

д) трубчатые печи независимо от диаметра труб;

е) сосуды, состоящие из труб с внутренним диаметром не более 150 мм без коллекторов, а также с коллекторами, выполненными из труб с внутренним диаметром не более 150 мм;

ж) воздушные резервуары тормозного оборудования подвижного состава железнодорожного транспорта, автомобилей и других средств передвижения;

з) сосуды, работающие под давлением воды с температурой не выше  $115^{\circ}\text{C}$ , и сосуды под давлением других жидкостей с температурой не выше точки кипения их при давлении  $0,7 \text{ кгс/см}^2$ ;

и) сосуды специального назначения военного ведомства, а также сосуды, предназначенные для установки на морских и речных судах и других плавучих средствах.

## 1. СВАРНЫЕ ШВЫ И ИХ РАСПОЛОЖЕНИЕ

Сварные швы сосудов должны быть только стыковыми, соединения в тавр разрешаются для приварки плоских днищ, фланцев, трубных решеток, штуцеров. В стыковых сварных соединениях элементов сосудов с различной толщиной стенок должен быть обеспечен плавный переход от одного элемента к другому путем постепенного утонения кромки более толстого элемента. Угол наклона поверхностей перехода не должен превышать  $15^{\circ}$ . Если разница в толщине соединяемых элементов составляет не более 30% толщины тонкого элемента и не превышает 5 мм, то допускается сварка без предварительного утонения толстого элемента, причем швы должны обеспечивать плавный переход от толстого элемента к тонкому.

Сварные швы должны быть доступны для контроля при изготовлении, монтаже и эксплуатации сосудов, предусмотренного требованиями указанных Правил, соответствующих стандартов и технических условий.

Пересечение сварных швов при ручной сварке не допускается. Сварные швы должны быть смещены по отношению друг к другу на величину двукратной толщины наиболее толстого стыкуемого листа, но не менее чем на 100 мм (на сварные швы, выполненные автоматической

или полуавтоматической сваркой, это требование не распространяется).

## 2. СВАРКА

Как правило, сварка сосудов и их элементов ведется только в соответствии с требованиями технических условий на изготовление сосудов и утвержденных в установленном порядке производственных инструкций. Новые методы сварки разрешает применять главный инженер предприятия после подтверждения их технологичности на изделиях, проверки всего комплекса требуемых свойств сварных соединений и положительного заключения головной научно-исследовательской организации.

К сварке сосудов и их элементов допускаются сварщики, имеющие удостоверения установленного образца на право выполнения сварочных работ. Удостоверения выдает квалификационная комиссия в соответствии с Правилами аттестации сварщиков, утвержденными Госгортехнадзором СССР 22 июня 1971 г. При этом сварщики могут быть допущены только к тем видам работ, которые указаны в удостоверениях.

Выполнять сварочные работы, связанные с изготовлением сложных или специфических сварных конструкций, имеет право сварщик, прошедший специальную подготовку и испытание и имеющий об этом отметку в удостоверении.

Перед началом сварки должно быть проверено качество сборки соединяемых элементов, состояние стыкуемых кромок и прилегающих к ним поверхностей. При сборке не допускается подгонка кромок, вызывающая дополнительные напряжения в металле.

Прихватки должны выполняться с применением присадочных материалов, предусмотренных техническими условиями для данного сосуда.

Недопустимые дефекты сварки, обнаруженные в процессе изготовления сварных сосудов и их элементов, должны быть устранены сваркой и подвергнуты повторному контролю.

Не разрешается вести сварочные работы по изготовлению сосудов и их элементов при температуре окружающего воздуха ниже  $0^{\circ}\text{C}$ .

При монтаже и ремонте сосудов допускается сварка при отрицательной температуре окружающего воздуха, если соблюдены требования, предусмотренные в нормалях или технических условиях, или инструкциях по монтажу и ремонту сосудов.

При дожде, ветре и снегопаде сварочные работы по монтажу сосуда разрешаются лишь при условии надлежащей защиты сварщика и места сварки.

Технология сварки сосудов должна быть детально разработана и предусматривать такой порядок выполнения работ, при котором внутренние напряжения в сварных соединениях будут минимальными.

### 3. КОНТРОЛЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Все сварные соединения с толщиной стенки 6 мм и более подлежат обязательному клеймению или иному условному обозначению, позволяющему установить фамилию сварщика. Система клеймения (обозначения) устанавливается производственной инструкцией по сварке и контролю сварных соединений и предусматривает одинаковое клеймение однотипных сварных соединений (пластин, стыков и др.).

Контролировать качество сварных соединений сосудов и их элементов можно следующими способами:

- а) внешним осмотром и измерением;
- б) ультразвуковой дефектоскопией, просвечиванием рентгеновскими или гамма-лучами или этими методами в сочетании;

- в) механическим испытанием;
- г) металлографическим исследованием;
- д) гидравлическим испытанием;
- е) другими методами (стилоскопированием, замерами твердости, травлением, цветной дефектоскопией и т. д.), если они предусмотрены техническими условиями на изготовление данного изделия.

При сварке сосудов и их элементов из сталей аустенитного класса обязателен контроль соединений на межкристаллитную коррозию в соответствии с ГОСТ 6032—58. Необходимость такого испытания определяется проектом или техническими условиями на изготовление.

Контроль качества сварных соединений должен производиться после термической обработки изделия, если она предусмотрена.

Внешним осмотром и измерениями выявляют трещины всех видов и направлений, наплавы, подрезы, прожоги, незаваренные кратеры, непровары, пористость и другие технологические дефекты, изломы осей и смещение кромок соединяемых элементов, отступления от геометрии швов и т. д.

Перед внешним осмотром поверхность сварного шва и прилегающих к нему участков основного металла шириной не менее 20 мм в обе стороны от шва должна быть зачищена от шлака и других загрязнений.

Осмотр и измерения сварных соединений должны производиться с двух сторон по всей длине швов в соответствии с требованиями ГОСТ 3242—69 и ведомственных инструкций по сварке и контролю сварных соединений. В случае невозможности осмотра внутренней поверхности сварного соединения его осматривают только с наружной стороны.

Ультразвуковая дефектоскопия и просвечивание сварных соединений производятся для выявления внутренних дефектов и выполняются в соот-

ветствий с ГОСТ 14782—69 и инструкцией по ультразвуковому контролю, утвержденной соответствующим министерством; радиографирование (просвечивание) осуществляется в соответствии с ГОСТ 7512—75 и производственными инструкциями по рентгеногаммаграфированию.

Объем контроля ультразвуковой дефектоскопией и радиографированием сварных соединений сосудов зависит от условий работы сосуда и изменяется от 25 до 100%. При этом места сопряжений (пересечений) подлежат обязательному просвечиванию или контролю ультразвуковой дефектоскопией, остальные места контроля устанавливаются в каждом конкретном случае ОТК завода-изготовителя.

При выявлении недопустимых дефектов в сварных соединениях, подвергающихся контролю в объеме менее 100%, обязательной проверке тем же методом подлежат все однотипные швы этого изделия, выполненные данным сварщиком, по всей длине соединения, за исключением недоступных участков на отдельных стыках.

Механическим испытаниям и металлографическим исследованиям должны подвергаться стыковые сварные соединения с целью проверки соответствия их прочности и пластических характеристик требованиям Правил и технических условий на изготовление изделия.

Обязательные виды механических испытаний:

- а) на статическое растяжение;
- б) на статический изгиб или сплющивание;
- в) на ударную вязкость.

Испытание на статическое растяжение не обязательно для кольцевых сварных соединений сосудов цилиндрической формы и для труб при условии 100%-ного контроля этих соединений ультразвуковой дефектоскопией или просвечиванием.

Испытание на ударную вязкость должно проводиться в соответствии с ГОСТ 6996—66 или техническими условиями, а в особых случаях — на таких же образцах при рабочих температурах.

Испытание обязательно при сварке сосудов и их элементов с толщиной стенки 12 мм и более в следующих случаях:

а) сосуды предназначены для работы под давлением выше  $50 \text{ кгс/см}^2$ ;

б) рабочая температура стенки превышает  $450^\circ\text{C}$ ;

в) рабочая температура стенки ниже указанной в Правилах минусовой температуры.

Металлографическому исследованию подвергаются стыковые, тавровые и угловые сварные соединения сосудов и их элементов, работающих при температуре стенки при давлении свыше  $50 \text{ кгс/см}^2$ ; а также сосудов из легированной стали, воспринимающей закалку на воздухе или склонной к образованию межкристаллитных трещин. Этот вид исследования проводится, если он предусмотрен техническими условиями.

Проверка механических свойств и металлографическое исследование сварных соединений выполняется на образцах, изготовленных из контрольных сварных соединений (пластин, стыков и др.). Последние должны быть идентичны контролируемым производственным сварным соединениям по марке стали, толщине листа или размерам труб, форме разделки кромок, методу сварки, сварочным материалам, положению, режимам и температуре подогрева или сварке, выполненной в один и тот же период времени.

Из каждого контрольного стыкового сварного соединения следует вырезать:

а) два образца для испытания на статическое растяжение;

б) два образца для испытания на статический изгиб или сплющивание;

в) три образца для испытания на ударную вязкость;  
г) образцы (шлифы) для металлографического исследования в количестве не менее одного, а при контроле сварных соединений элементов из высоколегированной стали — не менее двух.

Из контрольных угловых и тавровых сварных соединений образцы (шлифы) вырезают только для металлографического исследования.

Механические испытания на статический изгиб контрольных стыков трубчатых элементов сосудов с условным проходом труб менее 100 мм и толщиной стенки менее 12 мм могут быть заменены испытанием на сплющивание.

При сварке контрольных пластин, предназначенных для проверки механических свойств, а также для металлографического исследования пластины следует прихватывать к свариваемым элементам так, чтобы шов контрольной пластины являлся продолжением шва свариваемого изделия.

Сварка контрольных пластин для проверки соединений элементов сосудов, к которым прихватка пластин невозможна, может производиться отдельно от изделия, но с обязательным соблюдением всех условий сварки контролируемых стыковых соединений.

При автоматической сварке сосудов на каждое изделие должна свариваться одна контрольная пластина. При ручной сварке сосудов несколькими сварщиками каждый из них должен сварить одну контрольную пластину на каждое изделие.

В случае, когда в течение рабочей смены на автоматической сварочной машине сваривают несколько однотипных сосудов, разрешается на каждый вид сварки варить по одной контрольной пластине в начале и конце смены на всю партию сосудов.

При серийном изготовлении однотипных сосудов из листового материала в случае 100%-ного контроля сты-

ковых соединений ультразвуковой дефектоскопией или просвечиванием допускается на каждый вид сварки варить по одной контрольной пластине на всю партию сосудов. В одну партию объединяют сосуды одного вида, из листового материала одной марки, имеющие одинаковую форму разделки кромок, выполненные по единому технологическому процессу и подлежащие термообработке по одному режиму, если цикл изготовления всех изделий по сборочно-сварочным работам, термообработке и контрольным операциям не превышает 3 мес.

Для контроля качества сварных соединений в трубчатых элементах со стыковыми швами одновременно со сваркой последних следует изготавливать в тех же производственных условиях контрольные стыки. Количество их должно составлять 1% общего числа сваренных каждым сварщиком однотипных стыков, но не менее одного стыка на сварщика. Контрольные соединения во всех случаях сваривают те сварщики, которые выполняют контролируемые соединения на изделиях.

Контрольные сварные соединения (пластины, стыки, тавровые и угловые соединения) подвергают внешнему осмотру, ультразвуковому контролю или просвечиванию по всей длине.

Если в контрольном соединении будут обнаружены недопустимые дефекты, все производственные сварные соединения, контролируемые данным соединением и не подвергнутые дефектоскопии ультразвуком или просвечиванию, подлежат проверке тем же методом неразрушающего контроля по всей длине, за исключением мест, не доступных для контроля.

По размеру контрольные пластины должны быть достаточными для вырезки из них нужного количества образцов для всех предусмотренных видов механических испытаний и металлографического исследования, а также для повторных испытаний.

Механические испытания сварных соединений выполняются в соответствии с требованиями ГОСТ 6996—66 или производственных инструкций по сварке и контролю сварных соединений, действующих в данной отрасли промышленности.

При испытании контрольных сварных соединений на статическое растяжение временное сопротивление разрыву должно быть не менее минимально допустимого предела для основного металла по ГОСТу или техническим условиям на соответствующие полуфабрикаты. При испытании стальных сварных соединений на статический изгиб полученные показатели должны быть не ниже приведенных в табл. 21. При изготовлении сосудов из других материалов показатели угла изгиба устанавливаются техническими условиями.

Таблица 21. Минимально допустимые углы изгиба сварного соединения

Тип стали	Минимально допустимый угол изгиба, град		Газовая сварка при толщине стенки не более 12 мм
	Электродуговая, контактная, электрошлаковая сварка при толщине стенки свариваемых элементов, мм		
	не более 20	более 20	
Углеродистая	100	100	70
Низколегированная марганцовистая и кремнемарганцовистая	80	60	50
Низколегированная хромомолибденовая и хромомолибденованадиевая	50	40	30
Высоколегированная хромистая	50	40	—
Высоколегированная хромоникелевая	100	100	—

Испытание сварных соединений на ударную вязкость производится на образцах с надрезом по оси шва со стороны его раскрытия, если место надреза специально не оговорено техническими условиями на изготовление изделия или инструкцией по сварке и контролю сварных соединений.

Значение ударной вязкости металла шва должно быть не ниже указанных в табл. 22.

Таблица 22. Минимально допустимое значение ударной вязкости металла шва

Температура испытания, °С	Минимальное значение ударной вязкости шва, кгс·м/см <sup>2</sup>	
	для всех сталей, кроме аустенитного класса	для сталей аустенитного класса
20	5	7
Ниже 0	2	3

При испытании сварных соединений труб на сплющивание показатели должны быть не ниже соответствующих минимально допустимых, установленных ГОСТами или техническими условиями для труб того же сортамента и из того же материала. При испытании на сплющивание образцов из труб с продольным сварным швом последний должен находиться в плоскости, перпендикулярной направлению сближения стенок.

Показатели механических свойств сварных соединений должны определяться как среднеарифметическое результатов испытания отдельных образцов. Общий результат испытаний считается неудовлетворительным, если хотя бы один из образцов по любому виду испытаний показал результат более чем на 10% ниже установленных норм временного сопротивления и угла статического изгиба.

При получении неудовлетворительных результатов по какому-либо виду механических испытаний допускается повторное испытание на удвоенном количестве образцов, вырезанных из тех же пластин или стыков. Если невозможно вырезать образцы из указанных стыков, повторные механические испытания следует проводить на выполненных тем же сварщиком производственных стыках, вырезанных из контролируемого изделия.

Если при повторном испытании хотя бы на одном из образцов были получены показатели, не удовлетворяющие установленным нормам, общий результат испытаний считается неудовлетворительным.

Гидравлическим испытаниям подвергаются все сосуды после изготовления согласно ГОСТам или ТУ. Сосуд считается выдержавшим гидравлическое испытание, если не обнаружено признаков разрыва, течи и потения в сварных соединениях и на основном металле, а также видимых остаточных деформаций.

#### 4. НОРМЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА

В сварных соединениях сосудов и их элементов не допускаются следующие дефекты:

а) трещины всех видов и направлений, расположенные в металле шва, по линии сплавления и в околошовной зоне основного металла, в том числе микротрещины, выявляемые при микроисследовании;

б) непровары (несплавления), расположенные в корне шва, на поверхности и по сечению сварного соединения (между отдельными валиками и слоями шва и между основным металлом и металлом шва);

в) поры, расположенные в виде сплошной сетки;

г) наплывы (натечи);

д) незаваренные кратеры;

е) свищи;

ж) подрезы, прожоги и подплавления основного металла;

з) смещение кромок выше норм, предусмотренных Правилами;

и) газовые и шлаковые включения свыше установленных норм.

Качество сварных соединений считается неудовлетворительным, если при любом виде контроля будут обнаружены в них внутренние или наружные дефекты, выходящие за пределы норм, установленных Правилами, техническими условиями на изготовление изделия и инструкциями по сварке и контролю сварных соединений.

Дефекты, обнаруженные в процессе изготовления, монтажа и испытания, должны быть устранены с последующим контролем исправленных участков. Методы и качество устранения дефектов должны обеспечивать необходимую надежность и безопасность работы сосуда.

Исправленные участки сварных соединений, а также участки основного металла, на которых исправление дефектов производилось с помощью сварки, должны контролироваться ультразвуком или просвечиванием во всех случаях, когда материал конструкции изделия позволяет осуществить этот вид контроля.

## **Глава X. ПРИСВОЕНИЕ РАЗРЯДОВ И АТТЕСТАЦИЯ СВАРЩИКОВ**

### **ПРИСВОЕНИЕ РАЗРЯДОВ**

Разряд сварщикам устанавливает специально созданная на предприятии (заводе) комиссия, которая руководствуется требованиями, предусмотренными «Единым тарифно-квалификационным справочником» (ЕТКС).

В зависимости от квалификации сварщика работа на автоматах, полуавтоматах а также ручная дуговая и га-

зовая сварка оценивается от первого до шестого разряда.

## 1. ЭЛЕКТРОСВАРЩИК РУЧНОЙ СВАРКИ

1-й разряд. Характеристика работ: прихватка деталей, изделий и неотчетственных конструкций в нижнем, вертикальном и горизонтальном положениях под руководством электросварщика более высокой квалификации; подготовка изделий и узлов под сварку и зачистка швов после сварки; обеспечение защиты обратной стороны сварного шва в процессе сварки в защитных газах.

Сварщик должен знать: основные сведения об устройстве электросварочных машин и аппаратов; способы и основные приемы прихватки; формы разделки шва под сварку; правила обеспечения защиты шва при сварке в защитных газах; элементарные сведения о свариваемых материалах и защитных газах; устройство баллонов; их цвета окраски и правила обращения с ними.

2-й разряд. Характеристика работ: ручная электродуговая и газэлектрическая сварка простых деталей, узлов и конструкций из углеродистых сталей в нижнем и вертикальном положениях; наплавка простых неотчетственных деталей; чтение простых чертежей.

Сварщик должен знать: принцип действия электросварочных машин и аппаратов для дуговой сварки переменного и постоянного тока, применяемых в работе; правила обслуживания электросварочных аппаратов; виды сварных соединений и типы швов; приемы подготовки кромок изделий для сварки; типы разделок и обозначение сварных швов на чертежах; основные свойства применяемых электродов и свариваемого металла и сплавов; назначение и условия применения контрольно-измерительных приборов; причины возникновения дефектов при сварке и способы их предупреждения; общие сведения об электросварке в защитных газах.

3-й разряд. Характеристика работ: ручная электродуговая и газозлектрическая сварка во всех пространственных положениях сварного шва, кроме потолочного, деталей, узлов и конструкций из углеродистых сталей; ручное электродуговое воздушное строгание деталей средней сложности из малоуглеродистых, легированных, специальных сталей, чугуна и цветных металлов в различных положениях; наплавка простых инструментов; наплавка изношенных деталей из углеродистых и конструкционных сталей.

Сварщик должен знать: устройство применяемых электросварочных машин; требования, предъявляемые к сварочному шву и поверхностям после воздушного строгания; свойства и назначение обмазок электродов; основные виды контроля сварных швов; способы подбора марок электродов в зависимости от марок сталей; причины возникновения внутренних напряжений и деформаций в свариваемых изделиях и меры их предупреждения.

4-й разряд. Характеристика работ: ручная электродуговая и газозлектрическая сварка во всех пространственных положениях сварного шва аппаратов, узлов, конструкций и трубопроводов из углеродистых и конструкционных сталей, цветных металлов и сплавов; ручная электродуговая воздушная строжка ответственных деталей из высокоуглеродистых, специальных сталей, чугуна и цветных металлов в любом положении; сварка конструкций из чугуна; заварка дефектов деталей машин, механизмов и конструкций; наплавка сложных деталей, узлов и сложных инструментов; чтение чертежей сложных сварных металлоконструкций.

Сварщик должен знать: устройство различной электросварочной аппаратуры; особенности сварки и электродугового строгания на переменном и постоянном токе; основные законы электротехники в пределах выполняемой работы; способы испытания сварных швов; виды дефектов в сварных швах и методы их предупреждения и

устранения; принципы подбора режима сварки по приборам; марки и типы электродов; механические свойства свариваемых металлов.

5-й разряд. Характеристика работ: ручная электродуговая и газозлектрическая сварка ответственных аппаратов, узлов, конструкций и трубопроводов из различных сталей, цветных металлов и сплавов; ручная электродуговая и газозлектрическая сварка ответственных сложных строительных и технологических конструкций, работающих в тяжелых условиях; ручная электродуговая воздушная строжка особо ответственных деталей из высокоуглеродистых, легированных и специальных сталей и чугуна в любом положении; сварка ответственных конструкций в блочном исполнении во всех пространственных положениях сварного шва; заварка дефектов ответственных деталей машин, механизмов и конструкций; наплавка особо сложных и ответственных деталей и узлов.

Сварщик должен знать: электрические схемы и конструкции различных типов сварочных машин; технологические свойства свариваемых металлов, включая высоколегированные стали, металла, наплавленного электродами различных марок и отливок, подвергающихся электростроганию; выбор технологической последовательности наложения швов и режимов сварки, способы контроля и испытания ответственных сварных швов; чтение чертежей особо сложных сварных пространственных металлоконструкций.

6-й разряд. Характеристика работ: ручная электродуговая и газозлектрическая сварка особо ответственных аппаратов, узлов, конструкций и трубопроводов из различных сталей, цветных металлов и сплавов; ручная электродуговая и газозлектрическая сварка особо ответственных строительных и технологических конструкций, работающих под динамическими нагрузками, и конструкций особо сложной конфигурации; сварка экспери-

ментальных конструкций из металлов и сплавов с ограниченной свариваемостью, а также из титана и титановых сплавов; сварка особо ответственных конструкций в блочном исполнении во всех пространственных положениях сварного шва.

Сварщик должен знать: разновидности титановых сплавов, их сварочные и механические свойства, виды коррозии и факторы, вызывающие ее; методы специальных испытаний свариваемых изделий и назначение каждого из них; основные виды термической обработки сварных соединений; необходимые сведения по металлографии сварных швов.

## **2. ЭЛЕКТРОСВАРЩИК НА ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКИХ МАШИНАХ**

1-й разряд. Характеристика работ: зачистка деталей и изделий под полуавтоматическую сварку; установка деталей и изделий в приспособления; подготовка и установка защитных приспособлений и обеспечение защиты шва в процессе сварки в защитных газах; зачистка швов после сварки и удаление шлака; заправка электродной проволоки и засыпка флюса.

Сварщик должен знать: основные сведения об устройстве электросварочных полуавтоматических машин; устройство для подачи флюса и газов при сварке на полуавтоматах и способы уборки флюса; основные требования, предъявляемые к флюсу, электродной проволоке, защитным газам и свариваемым деталям; устройство редукторов, расходомеров, баллонов и цвета их окраски; форму разделки шва под сварку; назначение и условия применения приспособлений для газовой защиты шва.

2-й разряд. Характеристика работ: полуавтоматическая сварка простых деталей, узлов и конструкций из углеродистых сталей; наплавка и заварка дефектов неот-

ветственных деталей; подготовка металла для сварки; чтение простых чертежей.

Сварщик должен знать: принцип действия применяемых полуавтоматов; основные сведения о применяемых источниках питания; виды сварных соединений и типы швов; типы разделок и обеспечение сварных швов на чертежах; основные свойства применяемой электродной проволоки, флюсов, защитных газов и свариваемых металлов и сплавов; назначение и условия применения контрольно-измерительных приборов; причины возникновения деформации металлов при сварке и способы ее предупреждения, общие сведения о полуавтоматической сварке.

3-й разряд. Характеристика работ: полуавтоматическая сварка сложных и средней сложности деталей, узлов и конструкций из углеродистых сталей; наплавка изношенных деталей из углеродистых и конструкционных сталей.

Сварщик должен знать: устройство применяемых сварочных полуавтоматов и источников питания; свойства и назначения сварочных материалов, основные виды контроля сварных швов; выбор сварочных материалов; причины возникновения внутренних напряжений и деформаций в свариваемых изделиях и меры их предупреждения; установление режимов сварки по заданным параметрам.

4-й разряд. Характеристика работ: полуавтоматическая сварка аппаратов, узлов, конструкций и трубопроводов из углеродистых и конструкционных сталей, чугуна, цветных металлов и сплавов; заварка дефектов деталей машин, механизмов и конструкций; наплавка сложных деталей, узлов и сложных инструментов; чтение сложных чертежей сварных металлоконструкций.

Сварщик должен знать: устройство различных сварочных полуавтоматов и источников питания; основные за-

коны электротехники в пределах выполняемой работы; способы испытания сварных швов; марки и типы сварочных материалов; виды дефектов в сварных швах и методы их предупреждения и устранения; влияние режимов сварки на геометрию сварного шва; механические свойства свариваемых металлов.

5-й разряд. Характеристика работ: полуавтоматическая сварка ответственных аппаратов, узлов, конструкций и трубопроводов из различных сталей, цветных металлов и сплавов; полуавтоматическая сварка ответственных сложных строительных и технологических конструкций, работающих в тяжелых условиях; заварка дефектов ответственных деталей машин, механизмов и конструкций; наплавка особо сложных и ответственных деталей и узлов.

Сварщик должен знать: электрические схемы и конструкции различных типов сварочных полуавтоматов и источников питания; технологические свойства свариваемых металлов, включая высоколегированные стали; механические свойства наплавленного металла; технологическую последовательность наложения швов и режим сварки; способы контроля и испытания ответственных сварных швов.

6-й разряд. Характеристика работ: полуавтоматическая сварка особо ответственных аппаратов, узлов, конструкций и трубопроводов из различных сталей, цветных металлов и сплавов при выполнении сварных швов в потолочном положении и на вертикальной плоскости; полуавтоматическая сварка особо ответственных строительных и технологических конструкций, работающих под динамическими и вибрационными нагрузками, и конструкций особо сложной конфигурации при выполнении сварных швов в потолочном положении и на вертикальной плоскости; сварка экспериментальных конструкций из металлов и сплавов с ограниченной свариваемостью, а также из титановых сплавов; сварка особо

ответственных конструкций в блочном исполнении во всех пространственных положениях сварного шва.

Сварщик должен знать: разновидности титановых сплавов, их сварочные и механические свойства; виды коррозий и факторы, вызывающие ее; методы специальных испытаний свариваемых изделий и назначение каждого из них; основные виды термической обработки сварных соединений; необходимые сведения по металлографии сварных швов.

### 3. ЭЛЕКТРОСВАРЩИК НА АВТОМАТИЧЕСКИХ МАШИНАХ

1-й разряд. Характеристика работ: зачистка деталей и изделий под автоматическую сварку и очистка швов после сварки; установка деталей и изделий в приспособления; подготовка и установка защитных приспособлений и обеспечение защиты шва в процессе сварки в защитных газах; зачистка швов после сварки и удаление шлака; заправка электродной проволоки, засыпка и уборка флюса.

Сварщик должен знать: основные сведения об устройстве электросварочных автоматических машин; устройство для подачи флюса и газов при сварке на автоматах и способы уборки флюса; основные требования, предъявляемые к флюсу, электродной проволоке, защитным газам и свариваемым деталям; устройство редукторов, расходомеров, баллонов и цвета их окраски; назначение и условия применения приспособлений для газовой защиты шва.

2-й разряд. Характеристика работ: автоматическая сварка простых узлов и конструкций из углеродистых и конструкционных сталей и выполнение работы по обслуживанию установок для автоматической электрошлаковой сварки, а также автоматов специальных конструкций при сварке ответственных и особо ответственных конструкций под руководством электросварщика

более высокой квалификации; чтение простых чертежей.

Сварщик должен знать: принцип действия применяемых электросварочных автоматов; основные сведения о применяемых источниках питания; виды сварных соединений и типы швов; правила подготовки металла для сварки; типы разделок и обозначение сварных швов на чертежах; основные свойства применяемой электродной проволоки, флюсов, защитных газов и свариваемых металлов и сплавов; назначение и условия применения контрольно-измерительных приборов; общие сведения о полуавтоматической сварке.

3-й разряд. Характеристика работ: автоматическая сварка во всех пространственных положениях сварного шва аппаратов, узлов, конструкций и трубопроводов из углеродистых и конструкционных сталей; наплавка деталей и узлов.

Сварщик должен знать: устройство применяемых сварочных автоматов и источников питания; свойства и назначение сварочных материалов; основные виды контроля сварных швов; выбор сварочных материалов; причины возникновения внутренних напряжений и деформаций в свариваемых изделиях и меры их предупреждения; установление режимов сварки по заданным параметрам.

4-й разряд. Характеристика работ: автоматическая сварка ответственных аппаратов, узлов, конструкций и трубопроводов из различных сталей, цветных металлов и сплавов; автоматическая сварка ответственных сложных строительных и технологических конструкций, работающих в тяжелых условиях; наплавка сложных и ответственных деталей и узлов; чтение чертежей сложных сварных металлоконструкций.

Сварщик должен знать: устройство различных сварочных автоматов и источников питания; основные законы электротехники, способы испытания сварных швов, мар-

ки и типы сварочных материалов, виды дефектов в сварных швах, методы их предупреждения и устранения; влияние режимов сварки на геометрию сварного шва; механические свойства свариваемых металлов.

5-й разряд. Характеристика работ: автоматическая сварка особо ответственных аппаратов, узлов, конструкций и трубопроводов из различных сталей, цветных металлов и сплавов; автоматическая сварка особо ответственных строительных и технологических конструкций, работающих под динамическими и вибрационными нагрузками, и конструкций особо сложной конфигурации; сварка на особо сложных устройствах и кантователях.

Сварщик должен знать: электрические схемы и конструкции различных типов сварочных автоматов и источников питания; механические и технологические свойства свариваемых металлов, включая высоколегированные стали; механические свойства наплавленного металла, технологическую последовательность наложения швов и режим сварки, способы контроля и испытания ответственных сварных швов.

6-й разряд. Характеристика работ: автоматическая сварка особо ответственных конструкций из легированных специальных сталей, титановых и других сплавов на автоматах специальной конструкции, многодуговых и многоэлектродных автоматах, а также на автоматах, оснащенных телевизионными, фотоэлектронными и другими специальными устройствами.

Сварщик должен знать: конструкции различных электросварочных аппаратов и машин; электрические и кинематические схемы сложных автоматов и машин, причины их наиболее характерных неисправностей и способы их устранения; контроль и способы испытания сварных соединений ответственных конструкций; принципиальное устройство электронных схем управления.

#### 4. ГАЗОСВАРЩИК

1-й разряд. Характеристика работ: прихватка деталей, изделий и ответственных конструкций в нижнем, вертикальном и горизонтальном положениях под руководством газосварщика более высокой квалификации; подготовка соединений под сварку и зачистка швов после сварки; подготовка газовых баллонов к работе; обслуживание переносных газогенераторов.

Сварщик должен знать: основные сведения об устройстве газосварочной аппаратуры; правила пользования применяемыми горелками, редукторами, баллонами; правила обращения с газами и жидкостями, применяемыми при сварке; цвета окраски баллонов; устройство коммуникаций подачи газа к местам потребления и правила присоединения к ним.

2-й разряд. Характеристика работ: газовая сварка простых деталей, узлов и конструкций из углеродистых сталей в нижнем и вертикальном положениях; наплавка простых неответственных деталей; заварка раковин и трещин в простых отливках; подогрев конструкций и деталей при правке.

Сварщик должен знать: принцип работы обслуживаемых газосварочных аппаратов, газогенераторов, кислородных и ацетиленовых баллонов, редуцирующих приборов и сварочных горелок; виды сварных соединений и швов; подготовку кромок изделий для сварки; типы разделок и обозначение сварных швов на чертежах; основные свойства газов и жидкостей, применяемых при сварке; допустимое остаточное давление газа в баллонах; назначение и марки флюсов, применяемых при сварке; причины возникновения дефектов при сварке; характеристику газового пламени.

3-й разряд. Характеристика работ: газовая сварка во всех пространственных положениях сварного шва, кроме потолочного, узлов, деталей и трубопроводов из

углеродистых сталей, цветных металлов и сплавов; заварка раковин и трещин в деталях и узлах средней сложности; наплавка твердыми сплавами простых деталей; напайка на простой режущий инструмент пластин твердого сплава; предварительный и сопутствующий подогрев при сварке деталей с соблюдением заданного режима.

Сварщик должен знать: устройство обслуживаемой газосварочной аппаратуры; строение сварных швов и способы их испытания; основные свойства свариваемых металлов; правила подготовки деталей и узлов под сварку и заварку; правила выбора режима нагрева металла в зависимости от марки металла и его толщины; причины возникновения внутренних напряжений и деформаций в свариваемых изделиях и меры их предупреждения; основные технологические приемы сварки и заварки деталей из стали, цветных металлов и чугуна.

4-й разряд. Характеристика работ: газовая сварка в различных положениях деталей, конструкций и трубопроводов из углеродистых и конструкционных сталей; сварка деталей средней сложности из цветных металлов и сплавов в различных положениях; наплавка твердыми сплавами с применением порошкообразных и газовых флюсов деталей и узлов средней сложности; заварка дефектов в крупных чугунных и алюминиевых отливках под механическую обработку и пробное давление; пайка и наплавка режущего инструмента; заварка раковин и трещин в обработанных деталях и узлах; горячая правка сложных и ответственных конструкций.

Сварщик должен знать: способы установления режимов сварки металла в зависимости от конфигурации и толщины свариваемых деталей; способы сварки цветных сплавов, чугуна; испытания сварных швов из цветных металлов и сплавов; основные сведения о свариваемости металлов; общие сведения о методах получения и хранения наиболее распространенных газов, используемых при

газовой сварке (ацетилена, водорода, кислорода, пропан-бутана и др.); виды дефектов в сварных швах и методы их предупреждения и устранения; чтение чертежей.

5-й разряд. Характеристика работ: газовая сварка сложных и ответственных деталей, узлов, механизмов, конструкций и трубопроводов из высокоуглеродистых, легированных и нержавеющей сталей, чугуна, цветных металлов и сплавов, предназначенных для работы под динамическими и вибрационными нагрузками и под давлением; наплавка твердыми сплавами сложных и ответственных деталей, узлов, конструкций и механизмов; сварка и заварка трещин и раковин в тонкостенных изделиях и в изделиях с труднодоступными для сварки местами; пайка высокотемпературными припоями; термообработка газовой горелкой сварных стыков после сварки.

Сварщик должен знать: механические и технологические свойства свариваемых металлов, включая высоколегированные стали, а также наплавленного металла; выбор технологической последовательности наложения швов и режимов сварки; способы контроля и испытания ответственных сварных швов; влияние термической обработки на свойства сварного соединения.

6-й разряд. Характеристика работ: газовая сварка особо сложных и ответственных деталей, узлов механизмов, конструкций и трубопроводов из высокоуглеродистых, легированных, специальных и нержавеющей сталей, чугуна, цветных металлов и сплавов, предназначенных для работы под динамическими и вибрационными нагрузками и под высоким давлением; наплавка твердыми сплавами особо сложных и ответственных деталей, узлов, конструкций и механизмов.

Сварщик должен знать: разновидности легких и тяжелых сплавов, их сварочные и механические свойства; виды коррозий и факторы, вызывающие ее; необходимые

сведения по металлографии сварных швов; методы специальных испытаний свариваемых изделий и назначение каждого из них.

## АТТЕСТАЦИЯ СВАРЩИКОВ

### 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Аттестацию сварщиков перед допуском их к выполнению ответственных работ проводят в соответствии с «Правилами аттестации сварщиков», утвержденными Госгортехнадзором СССР 22 июня 1971 г.

К аттестации допускаются сварщики не моложе 18 лет, имеющие свидетельство об окончании специализированного профессионального технического училища или курсов по сварке, проработавшие по этой специальности не менее шести месяцев, а при работе на автоматах и контактных машинах — не менее трех месяцев.

Перед аттестацией сварщики проходят специальную теоретическую и практическую подготовку, учитывающую специфику работ, к которым они готовятся. Занятия проводят по специальным программам, утвержденным соответствующим министерством (ведомством). Программа содержит разделы по сварочному оборудованию (назначение, устройство, принцип действия, правила эксплуатации), по свойствам основных и сварочных материалов, технологии сварки, контролю качества сварных соединений, способам исправления дефектов, а также по правилам безопасности при выполнении сварочных работ.

Аттестация сварщиков производится постоянно действующими комиссиями на предприятиях (организациях) путем проверки их теоретических знаний и практических навыков. Такие комиссии создаются на предприятиях

(организациях), располагающих необходимой производственной базой и инженерно-техническими работниками по сварочному производству, по согласованию с местным органом Госгортехнадзора. Организация и руководство работой комиссии осуществляется администрацией предприятий.

В состав комиссии должны входить:

а) главный сварщик или руководитель сварочных работ предприятия (организации) — председатель комиссии;

б) представитель отдела технического контроля предприятия (организации), ведающий контролем сварки (представитель лаборатории сварки монтажной организации);

в) представитель руководства цеха (монтажного участка);

г) преподаватель по сварке, проводивший обучение;

д) представитель отдела техники безопасности предприятия (организации);

Кроме того, могут быть включены другие специалисты по сварочному производству.

## 2. ПОРЯДОК АТТЕСТАЦИИ

Объем теоретических знаний сварщика должен соответствовать объему утвержденной программы. Знания оцениваются по четырехбалльной системе (отлично, хорошо, удовлетворительно, неудовлетворительно).

При проверке практических знаний (навыков) выявляется умение подготовить и ввести в работу сварочное оборудование, вести сварку на заданном режиме, а при ручной и полуавтоматической сварке — умение вести сварку во всех пространственных положениях. Если сварщик на производстве выполняет сварные соединения только в одном пространственном положении, допускается проверка его практических навыков при ручной и по-

луавтоматической сварке в этом же положении. Сварщики должны уметь определять и устранять видимые дефекты сварки.

Основные и сварочные материалы (электроды, сварочную проволоку, флюсы, газы и т. п.) подбирает постоянно действующая комиссия применительно к изделиям, свариваемым на производстве. Подготовка материалов под сварку контрольных соединений и предварительная термообработка должны быть такими же, как и при сварке изделий, и производиться по указанию комиссии. Проведение проверки практических навыков на материалах, не соответствующих стандартам или техническим условиям, не допускается.

При проверке практических навыков сварщик должен сварить контрольные соединения по указанию и в присутствии не менее двух членов комиссии — председателя отдела технического контроля и специалиста по сварочному производству.

Сварку контрольных соединений следует вести в тех положениях, что и при изготовлении изделий. При ручной и полуавтоматической сварке для получения права ведения работ во всех пространственных положениях допускается сварка образцов в двух наиболее трудных положениях. Количество и размеры контрольных соединений, свариваемых в каждом пространственном положении, должны быть достаточными для проведения всех контрольных испытаний, предусматриваемых указанными выше Правилами.

Контрольные соединения должны соответствовать типовым, свариваемым при изготовлении изделий. Если типовыми контрольными соединениями будут угловые или тавровые, сварщик дополнительно должен выполнить стыковые соединения.

На контрольных соединениях и готовых образцах для определения фамилии сварщика и положения шва при сварке должны быть нанесены клейма (цифровые или

буквенные), располагаемые вне рабочей части образца и сохраняемые на нем после испытаний.

Сварщики подвергаются испытаниям по одному из способов сварки (ручной электродуговой, газовой, полуавтоматической и автоматической в среде защитных газов, контактной, трением, прессовой и др.), а также по одному из видов работ (сварка корпусов котлов и сосудов и их элементов; сварка металлоконструкций грузоподъемных машин; сварка трубопроводов газа, пара и горячей воды, а также трубчатых элементов подконтрольных Госгортехнадзору объектов и др.) применительно к конкретным маркам свариваемых материалов.

Несколько марок свариваемых материалов, близких по химическому составу и свариваемых по одинаковой технологии, могут быть объединены в одну группу со сваркой для нее одного контрольного соединения.

С разрешения комиссии сварщики могут быть допущены к проверкам по нескольким способам сварки и видам работ при условии, что их подготовка и стаж работы по каждому виду сварки будут соответствовать указанным выше требованиям.

Сварщики, успешно прошедшие проверку теоретических знаний и практических навыков, получают удостоверение за подписью председателя и одного из членов комиссии по установленной Правилами форме.

Сварщики, получившие неудовлетворительную оценку по одному из видов проверки (теоретической или практической), могут быть допущены к новой проверке после дополнительного обучения, но не ранее чем через месяц.

Повторная проверка знаний должна проводиться постоянно действующими комиссиями:

- а) периодически, не реже одного раза в 12 месяцев;
- б) при перерыве в работе по своей специальности свыше 6 месяцев;
- в) перед допуском к работе после временного отстранения за нарушение технологии и низкое качество работ.

При повторной проверке по решению постоянно действующей комиссии для оценки практических знаний могут быть приняты контрольные сварные соединения, выполненные при изготовлении производственных изделий и конструкций.

Дополнительная проверка знаний сварщика проводится:

а) при переходе на новые для него способы сварки или виды работ:

б) при сварке изделий из новых материалов или при существенном изменении технологии сварки.

Объем программы проверки утверждает главный инженер предприятия (организации).

Сварщики, непрерывно работающие по своей специальности, которые рекомендовали себя высоким качеством выполненных в течение последнего года работ, подтвержденным результатами контроля, по решению комиссии могут освобождаться от повторных испытаний сроком на один год, но не более трех раз подряд.

Результаты первичных, повторных и дополнительных проверок знаний, а также решения комиссии об освобождении от повторных проверок знаний оформляются протоколом за подписью председателя и членов комиссии и записываются в удостоверение сварщика.

В технических условиях на изготовление ответственных изделий, как правило, указывается: «К сварке изделия и отдельных элементов, а также к исправлению дефектов сварки, обнаруженных как визуально после сварки, так и после специальных методов контроля швов, допускаются только аттестованные сварщики, сдавшие испытания в соответствии с «Правилами аттестации сварщика», утвержденными Госгортехнадзором СССР 22 июня 1971 г.».

### **3. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА КОНТРОЛЬНЫХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

Сваренные при проверке стыковые контрольные соединения подвергаются:

- а) внешнему осмотру и измерениям;
- б) физическому методу контроля (ультразвуковой дефектоскопии или просвечиванию проникающим излучением и др.);
- в) механическим испытаниям;
- г) металлографическому исследованию;
- д) другим дополнительным методам, обеспечивающим качественное проведение контроля сварных соединений (технологическая проба, замер твердости, травление, цветная дефектоскопия и т. п.), если они предусмотрены технологическим процессом или производственной инструкцией по сварке изделий.

Другие сварные соединения подвергаются контролю методами, которые предусмотрены технологическим процессом или производственной инструкцией по сварке для этих видов соединений.

### **4. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА КОНТРОЛЬНЫХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

Качество контрольных сварных соединений считается неудовлетворительным, если при любом виде контроля будут обнаружены внутренние или наружные дефекты, выходящие за пределы норм, установленных Правилами, соответствующими стандартами, техническими стандартами, техническими условиями на изготовление изделия и инструкциями по сварке и контролю сварных соединений.

В контрольных сварных соединениях не допускаются следующие дефекты:

- а) отступления от заданных размеров;
- б) трещины всех видов и направлений, расположенные в металле шва и в околошовной зоне основного металла, в том числе и микротрещины, выявляемые при микроисследовании;
- в) непровары (несплавления), расположенные на поверхности и по сечению сварного соединения (между отдельными валиками и слоями шва и между основным металлом и металлом шва);
- г) непровары в вершине (корне) угловых и тавровых сварных соединений, выполненных без разделки кромок, а также стыковых сварных соединений, выполненных на подкладках;
- д) поры, расположенные в виде сплошной сетки;
- е) наплывы (натеки);
- ж) незаваренные кратеры;
- з) свищи;
- и) подрезы, прожоги и подплавления основного металла (при стыковой контактной сварке труб);
- к) другие дефекты, указанные в табл. 23.

Результаты практической проверки считаются неудовлетворительными, если хотя бы по одному виду испытаний показатели не соответствуют нормам.

Правила аттестации сварщиков обязательны для всех министерств и ведомств, имеющих подконтрольные Госгортехнадзору СССР объекты котлонадзора, газового надзора, подъемных и строительных сооружений.

**Т а б л и ц а 23. Браковочные показатели сварных соединений**

Дефекты и механические испытания	Браковочный показатель
<p><b>А. Внутренние дефекты, выявляемые при любых видах контроля:</b></p>	
<p>поры, шлаковые и другие включения непровары в корне шва стыковых сварных соединений с односторонней разделкой кромок, выполненных без подкладок, а также угловых и тавровых сварных соединений, выполненных с разделкой кромок</p>	<p>Нормы, установленные ТУ на изготовление изделия. Свыше 75% норм, установленных ТУ на изготовление изделия</p>
<p><b>Б. Механические испытания</b></p>	
<p>Временное сопротивление разрыву при испытании образцов на статическое растяжение</p>	<p>Ниже нижнего предела временного сопротивления разрыву основного металла</p>
<p>Угол статического изгиба для сталей: углеродистых</p>	<p>Менее 120 град</p>
<p>низколегированных: марганцовистых и кремнемарганцовистых при толщине стенки:</p>	<p>Менее 80 град Менее 60 град</p>
<p>до 20 мм</p>	
<p>свыше 20 мм</p>	
<p>низколегированных: хромомолибденовых и хромомолибденованадиевых, а также высоколегированных хромистых при толщине стенки:</p>	<p>Менее 60 град</p>
<p>до 20 мм</p>	
<p>свыше 20 мм</p>	<p>Менее 50 град</p>
<p>аустенитного класса</p>	<p>Менее 100 град</p>
<p>Сплющивание</p>	<p>Образование трещин при расстоянии между сплющивающимися поверхностями трубы Н менее определенного по формуле (см. примечание)</p>

Дефекты и механические испытания	Браковочный показатель
Ударная вязкость	Минимальное значение ударной вязкости металла шва при температуре испытания 20°C должно быть: 5 кгс·м/см <sup>2</sup> для всех сталей, кроме аустенитного класса, и 7 кгс·м/см <sup>2</sup> для сталей аустенитного класса
<b>В. Дефекты, не указанные выше, возникающие при иных способах сварки</b>	Нормы, установленные ТУ на изготовление изделия

**Примечание.** При изготовлении образцов и других материалов показатели угла статического изгиба должны быть не ниже норм, установленных ТУ на изготовление изделий из этих материалов.

Формула для определения  $H$ ;

$$H = \frac{(1+a)S}{a + \frac{S}{D_n}}$$

где  $a$  — деформация на единицу длины (для углеродистых и легированных сталей  $a=0,80$ , для стали IX18H12T  $a=0,09$ );

$S$  — номинальная толщина стенки, мм;

$D$  — номинальный наружный диаметр трубы, мм.

## Глава XI. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

Создание безопасных условий труда является основной и важнейшей задачей любого производства. За правильную организацию и состояние техники безопасности несет ответственность руководство предприятия, а все текущие вопросы решаются отделами техники безопасности или инженерами по технике безопасности.

Соблюдение Правил техники безопасности на предприятиях контролируется инспекцией Госгортехнадзора

СССР, инспектором ЦК профсоюзов рабочих данной отрасли промышленности, Государственной санитарной инспекцией и Государственной инспекцией пожарной охраны.

Кроме общих [17] необходимо учитывать некоторые специальные правила по технике безопасности при сварке металлов и санитарным условиям:

1. «Правила техники безопасности и производственной санитарии при электросварочных работах», утвержденные Президиумом ЦК профсоюза рабочих машиностроения 8 января 1960 г. с изменениями от 15 февраля 1963 г., согласованными с Главной государственной санитарной инспекцией СССР.

2. «Санитарные правила при сварке, наплавке и резке металлов» Министерства здравоохранения СССР, 1973 г.

Согласно трудовому законодательству к сварочным работам допускаются лица не моложе 18 лет; сварщики имеют дополнительный отпуск продолжительностью до 12 рабочих дней; при работе внутри сосуда рабочий день сварщика ограничен до шести часов.

Каждый сварщик должен в совершенстве знать правила техники безопасности, проходить инструктаж перед допуском к работе, сдавать соответствующие испытания.

При выполнении сварочных работ могут происходить несчастные случаи по следующим причинам: поражение электрическим током, вредное влияние светового излучения электрической дуги, ожоги от брызг расплавленного металла и шлака, загрязнение воздуха продуктами горения сварочной дуги, взрывы сосудов и взрывоопасных веществ, несоблюдение противопожарных правил.

## **1. ЗАЩИТА ОТ ПОРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ**

Электрический ток поражает нервную систему человека или вызывает ожоги. Степень поражения зависит от

силы тока, его напряжения и сопротивления тела человека. Величина тока до 0,002 А не представляет опасности, от 0,002 до 0,05 А опасна, может вызвать болевые ощущения, способствует резкому сокращению мышц, а выше 0,05 А может привести к смертельному исходу.

В сухих помещениях безопасным считается напряжение до 36 В, а в сырых — до 12 В, что необходимо учитывать при прокладке линии для осветительных целей.

Чем ниже сопротивление тела человека, тем сильнее поражение током. В свою очередь, сопротивление тела человека снижается (усиливается степень поражения) при влажной коже, в период опьянения, болезни, переутомления. Больные люди и в состоянии опьянения к сварке не допускаются.

Сварщик постоянно соприкасается с токоведущими элементами сварочной цепи, имеющими напряжение до 90 В и несколько выше, а также со сварочным оборудованием, которое получает питание от электрической сети напряжением 220, 380 и 500 В. Случайное нарушение (или отсутствие) заземления или неисправность оборудования приводят к поражению электрическим током.

Чтобы избежать поражения током при выполнении сварочных работ, необходимо:

1. Надежно заземлять корпуса сварочной аппаратуры и источников питания.

2. Применять рубильники и переключатели закрытого типа.

3. Обеспечивать надежную изоляцию всех проводов питания (трансформаторов, преобразователей, выпрямителей и т. д.).

4. Не прикасаться незащищенными руками к токоведущим элементам, пользоваться сухой спецодеждой и брезентовыми рукавицами, в сырых местах надевать резиновые сапоги и перчатки, применять изолирующие коврики.

5. Надежно изолировать рукоятку электрододержателя и закрепляющих устройств, а при использовании сварочных токов выше 600 А токоподводящий провод подключать непосредственно к электрододержателю, исключая токоподвод через изолированную рукоятку.

6. При сварке внутренних швов резервуаров, котлов, труб и других подобных закрытых конструкций пользоваться резиновым ковриком или подстилкой из изолирующего материала, резиновым головным убором (шлемом) и диэлектрическими галошами, переносной лампой напряжением не более 12 В; сварку внутри закрытых конструкций вести в присутствии дежурного подручного, который должен находиться вне конструкции, иметь свободный доступ к рубильнику для отключения тока, хорошо знать, что ему нужно делать в случае поражения сварщика током.

7. При обнаружении напряжения на корпусе аппаратуры, оборудования или на защитных кожухах немедленно работу прекратить, вызвать электромонтера или поставить в известность мастера.

8. Сварочные провода надежно соединять механическими зажимами (муфтами), сваркой или пайкой с последующей надежной изоляцией мест соединения, не допускать применения различных навивок, скруток и пр.

9. При выполнении сварки в трудных условиях (сварка в закрытых конструкциях, в сырых местах и т. д.) применять устройство, снижающее напряжение холостого хода источников питания.

10. Для подключения однофазных трансформаторов применять только трехжильный гибкий шланговый кабель, в котором третью жилу использовать для заземления (один конец жилы подключить к заземляющему болту корпуса трансформатора, второй — к корпусу рубильника).

11. Ежедневно перед началом сварки проверять

исправность аппаратуры, источников питания, токоведущих проводов и надежность заземления.

12. При работе на открытых площадках и на монтаже источники сварочного тока защищать от атмосферных осадков брезентом или любыми другими средствами, обеспечивающими влагонепроницаемость.

13. Предотвращать возможные механические повреждения токоведущих проводов при кантовке сварных конструкций, складировании заготовок, при движении рельсового и другого транспорта.

14. Допускать к обслуживанию сварочного оборудования только квалифицированных электромонтеров (не ниже III группы), которые имеют право на обслуживание электроустановок напряжением до 1000 В.

15. Вызывать электромонтера для устранения неисправностей сварочной аппаратуры и источников питания, для подключения их к силовой сети, а также для их отключения от силовой сети, для проведения всех других работ, связанных с соблюдением общих правил монтажа и эксплуатации электротехнических силовых установок.

При соблюдении правил техники безопасности ведения сварочных работ поражение сварщиков током полностью исключено.

В случае поражения током необходимо срочно принять следующие меры:

1. Если пораженный током держится за провод или какую-либо металлическую деталь, находящуюся под напряжением, следует, не касаясь пострадавшего, выключить ток любым способом (выключить рубильник, перебить провод топором с сухой рукояткой, снять предохранитель, создать короткое замыкание проводов, при котором перегорят предохранители). Если это быстро осуществить невозможно, то освободить пострадавшего от проводов, строго соблюдая следующие правила: не прикасаться к телу пострадавшего незащищенными руками; допускается брать пострадавшего за концы одежды, если

она сухая, или надеть резиновые перчатки; если пострадавший поражен током от оборвавшегося провода, отбросить провод ударом сухой палки, а в случае судорожного сцепления руки с проводом надеть резиновые перчатки и, стоя на изолирующей подстилке, осторожно по одному отгибать пальцы пострадавшего.

2. После освобождения пострадавшего от действия электрического тока:

при обнаружении дыхания и пульса осторожно перенести его в тихое и спокойное место, уложить на сухую подстилку, расстегнуть сдавливающую одежду, обеспечить доступ свежего воздуха и вызвать медицинскую помощь;

если пострадавший не обнаруживает признаков жизни, немедленно начать делать ему искусственное дыхание, которое продолжать непрерывно длительное время (иногда несколько часов) и прекращать только по заключению врача.

С каждым годом усиливаются требования к выполнению правил техники безопасности, в результате чего поражение сварщиков электрическим током в настоящее время — исключительно редкое явление.

## 2. ЗАЩИТА ОТ ЛУЧЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ

Лучи электрической дуги оказывают вредное влияние на сварщиков и находящихся рядом людей. По своим свойствам они разделяются на видимые и невидимые.

К видимым относят световые лучи электрической дуги, которые ослепляюще действуют на глаза, при длительном облучении ослабляют зрение (свет дуги примерно в 10 тыс. раз сильнее нормального света для человеческого глаза). К невидимым относятся ультрафиолетовые и инфракрасные лучи, которые вызывают воспаление глаз и ожоги кожи.

Ультрафиолетовые лучи вредно действуют на сетчатку и роговую оболочку глаз. Если в течение нескольких минут смотреть на свет дуги без защитных средств, то через определенное время (от 1—2 до 5 ч и более) появляются светобоязнь, слезотечение и сильные боли в глазах; создается впечатление, что глаза засорены песком. Небольшие воспаления глаз проходят через несколько часов.

Инфракрасные лучи при длительном действии вызывают заболевание глаз, способствуют общей потере зрения (катаракта хрусталика).

Кроме того, свет дуги вызывает на открытых частях тела ожоги такие же, как солнечные.

При сварке открытой дугой (ручная сварка, полуавтоматическая и автоматическая в среде защитных газов) опасно смотреть не только на дугу, но и на отражение света от стен, опасно освещение дугой лица человека в профиль. В последнем случае как будто человек и не смотрит на дугу, но в это время он может получить облучение глаз, достаточное для возбуждения воспалительного процесса.

Для предохранения лиц, работающих рядом с горячей сварочной дугой, и сварщиков применяют общие и индивидуальные средства защиты. К общим средствам защиты относятся кабины с дверями, выполненными в виде брезентовых занавесок, переносные щиты и ширмы, когда работа на каком-то месте носит временный характер.

Для индивидуальной защиты глаз и кожи при сварочных работах применяют щитки и маски со светофильтрами, которые почти полностью задерживают ультрафиолетовые и инфракрасные лучи. Для защиты глаз сварщиков и вспомогательных рабочих применяются защитные стекла по ГОСТ 9497—60\* (табл. 24).

Светофильтры для электросварщиков подбирают по величине сварочного тока, для газосварщиков и газорез-

**Т а б л и ц а 24. Стеклопные светофильтры для защиты глаз сварщиков и вспомогательных работ**

Назначение	Обозначение	Классификационный номер	Марка стекла	Размеры, мм
Для электросварщиков работающих на токе, А				
30—75	Э-1	9	ТС-3	Прямоугольные
75—200	Э-2	10	ТС-3	52×102, толщиной
200—400	Э-3	11	ТС-3	1,5—4,0
Свыше 400	Э-4	12	ТС-3	
	Э-5	13	ТС-3	
Для вспомогательных рабочих при электросварке в цехах и на открытых площадках	В-1	2,4	ТС-1	Круглые диаметром 30—60, толщиной 1,5—3,5
	В-2	3	ТС-1	
	В-3	4	ТС-2	
Для газосварщиков и газорезчиков при работе на открытых площадках	Г-1	4	ТС-2	
При газовой сварке и резке средней мощности	Г-2	5	ТС-2	
При мощной газовой сварке и резке	Г-3	6	ТС-2	

Примечание. Светофильтр № 13 применяется во время электросварки при токе свыше 400 А и сварке открытой дугой в среде защитных газов.

чиков — в зависимости от мощности газового пламени, для вспомогательных рабочих — в зависимости от условий работы.

Пример условного обозначения защитного светофильтра № 12 с размерами 52×102 мм для щитка электросварщика: светофильтр Э-4 52×102 ГОСТ 9497—60\*; для работ на открытых площадках защитный светофильтр № 2,4 диаметром 50 мм; светофильтр № 2,4 диаметром 50 мм ГОСТ 9497—60\*.

### 3. ЗАЩИТА ОТ БРЫЗГ, ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ВЗРЫВОВ

**З а щ и т а о т б р ы з г.** Кроме ожогов от электрической дуги (ультрафиолетовыми лучами) при сварке могут быть ожоги от брызг расплавленного металла и шлака. Для предупреждения ожогов сварщику необходимо:

1. Иметь спецодежду из брезента или плотного сукна.
2. Не заправлять куртку в брюки, а брюки в сапоги, не делать на спецодежде открытые карманы.
3. Прикрывать голову беретом или любым головным убором без козырька.
4. Работать в рукавицах.
5. Обеспечивать минимальное разбрызгивание металла путем соответствующего подбора режимов сварки.
6. Зачищать швы после полного остывания шлака, осматривать швы после сварки и зачищать их только в очках с простыми стеклами.
7. При сварке вертикальных и потолочных швов надевать асбестовые нарукавники и плотно перевязывать их поверх рукавов.

**З а щ и т а о т п р о д у к т о в г о р е н и я с в а р о ч н о й д у г и.** Любые способы дуговой сварки в той или иной степени загрязняют воздух примесями, которые могут вызывать отравление, поражение легких и привести к легочным заболеваниям. Особенно опасны газообразные окись углерода (угарный газ), окись азота, фтористые соединения, а также окислы марганца, свинца, цинка, меди и другие пылевидные загрязнения.

Ученые стремятся разрабатывать такие сварочные проволоки, электродные покрытия, флюсы и способы сварки, которые обеспечивали бы минимальное выделение вредных газов и пыли. Несмотря на большие успехи в этом направлении, при сварке следует обязательно применять местную и общую вентиляцию.

Вредные соединения образуются также при сварке цветных металлов, особенно вредна окись цинка, которая образуется при сварке и наплавке латуни в результате кипения цинка и окисления его паров на воздухе.

При сварке всех металлов в той или иной степени образуется окись азота (соединения азота и кислорода при высоких температурах), а также аммиак (соединения азота и водорода), которые относятся к токсичным газам.

При сварке под флюсом выделяются фтористые соединения, а при ручной сварке марганцовистые, также вредные для организма человека, потому во флюсах и обмазках электродов ограничивают применение фтористых соединений и марганца (ферромарганца). Исключены, например, электроды марки ЦМ-7, в обмазку которых входит 30% ферромарганца.

Углекислый газ отравлений не вызывает, но его скопление снижает содержание кислорода в воздухе, что допускается лишь до определенного предела. При высоких температурах сварочной дуги углекислый газ диссоциирует на окись углерода (угарный газ) и кислород, и это необходимо учитывать, создавая местную или общую вентиляцию.

Опасны не только токсичные газы, но и нетоксичные, если они снижают процентное содержание кислорода в воздухе.

Газообразный аргон, который применяется для защиты жидкого металла при аргоно-дуговой сварке, тяжелее воздуха, а потому может в процессе работы накапливаться в слабопрветриваемых помещениях у пола и в подвальных этажах. При этом снижается содержание кислорода в воздухе, что может вызвать явление кислородной недостаточности и удушья. Для нормальной работы кислорода в воздухе должно быть не меньше 19 объемных процентов. Содержание кислорода в воздухе контролируется специальными приборами автоматического или ручного действия. Эта же норма содержания кисло-

рода в воздухе должна быть выдержана при выделении других нетоксичных газов.

**Предупреждение взрывов.** При сварке некоторых изделий в производственных условиях иногда бывают взрывы, представляющие опасность для жизни человека. Причины взрывов разные, но все их можно предупредить. Например, без специальной подготовки нельзя исправлять сваркой тару из-под нефтепродуктов (бочки из-под бензина, керосина и т. д.), это приводит к воспламенению паров нефтепродуктов в самой таре и взрыву. Таковую тару перед сваркой необходимо тщательно промыть горячим раствором каустической соды и продукт паром в течение нескольких часов.

Перед заваркой течей в ацетиленовых генераторах их нужно очистить скребком из материала, не дающего искр (дерево, алюминий, латунь), после чего несколько раз промыть водой и продуть воздухом.

Перед заваркой течей в газопроводах обязательно продуть газопровод воздухом.

Взрыв может произойти в том случае, если чистый кислород соприкасается с маслом и различными жирами. При этом происходит как бы процесс самовозгорания. Необходимо следить, чтобы масло не попадало на баллоны с кислородом, кислородные шланги, резаки и сварочные горелки.

Применение для сварки или для других целей водорода также опасно в отношении взрыва, так как водород в определенных пропорциях с воздухом и кислородом образует взрывчатые смеси (гремучий газ), которые при нагреве до 700°C и выше приводят к взрыву.

#### **4. ПРОТИВОПОЖАРНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ**

В сварочных цехах, на строительно-монтажных площадках, на сварочных и наплавочных участках необходимо строго соблюдать следующие правила, предотвраща-

ющие возможность возникновения пожаров от разлетающихся искр и брызг расплавленного металла:

1. Рабочее место сварщика должно быть полностью очищено от легковоспламеняющихся или взрывоопасных материалов. Легковоспламеняющиеся жидкости и различные горючие материалы должны находиться от места сварки на расстоянии не менее 30 м, ацетиленовые генераторы и баллоны с горючими газами — на расстоянии не менее 10 м.

2. В местах выполнения сварочных работ защита от разлетающихся искр и брызг металла должна обеспечиваться металлическими или брезентовыми ширмами, на участках сварки должны быть огнетушители, ящики с песком, бочки с водой, различный пожарный инвентарь, обязательно телефонная связь и устройства для звуковых сигналов.

3. Все рабочие и служащие при поступлении на работу или при смене рабочих мест должны быть проинструктированы о мерах противопожарной безопасности и о принятом на предприятии противопожарном режиме. На крупных участках и в цехах должны быть официально назначены ответственные за состояние противопожарных средств и за выполнение противопожарного режима работы.

4. Обязательно два раза в неделю проверять состояние сварочного оборудования, выявлять и устранять возможность искрообразования вследствие плохой или случайно поврежденной изоляции проводов, плохого или неисправного заземления, завышения силы номинального тока плавких предохранителей, неисправностей рубильников, подвижных контактов, переключателей и т. д.

5. При тушении пожара, возникшего в результате воспламенения жидкостей (бензина, керосина, жидких смазочных материалов), нельзя пользоваться водой или обычными жидкопенными огнетушителями, необходим песок или специальные густопенные огнетушители.

Ответственность за противопожарное состояние отдельных цехов, мастерских, складов и других объектов, а также за своевременное выполнение противопожарных мероприятий на них возлагается персонально на начальников цехов, мастерских, складов и т. д. Поэтому по всем вопросам, связанным с принятием мер противопожарной безопасности, необходимо обращаться прежде всего к указанным руководителям.

Сварка и резка металлов относятся к огневым работам, которые на производстве выполняются на постоянных и временных местах.

К постоянным местам относятся такие, где огневые работы проводятся ежедневно или с небольшими перерывами, что позволяет заранее предусмотреть конкретные меры пожарной безопасности на весь период их проведения. Работа на этих местах оформляется приказом директора предприятия с указанием ответственных лиц за правильную организацию и проведение огневых работ.

К временным относятся места, где огневые работы проводятся кратковременно, когда они связаны с аварийно-восстановительным ремонтом или с выполнением строительно-монтажных работ. В каждом конкретном случае при проведении огневых работ на временных местах администрация цеха или объекта предварительно разрабатывает мероприятия по обеспечению противопожарной безопасности, ставит в известность об этом пожарную охрану, назначает лиц, непосредственно отвечающих за соблюдение правил пожарной безопасности, и выдает специальное письменное разрешение. Разрешение на проведение временных огневых работ дается только на одну рабочую смену, но при проведении таких же работ в течение нескольких дней повторные разрешения не требуются.

При авариях сварочные работы допускается производить под наблюдением начальника цеха без письменного разрешения.

После окончания огневых работ сварщик обязан тщательно осмотреть место проведения этих работ, полить водой легко воспламеняющиеся конструкции и устранить нарушения, которые могут привести к возникновению пожара.

Полы в помещениях, в которых производится дуговая сварка без предварительного нагрева, должны быть из негоряемого материала. Допускается устройство деревянных торцевых полов на негоряемом основании. Дощатые полы запрещаются.

В настоящее время существуют общие правила и инструкции о пожарной безопасности для наиболее распространенных производств всех министерств и ведомств [16]. Допускается иметь ведомственные правила пожарной безопасности, которые разрабатываются на основании общих правил и должны также учитываться при выполнении сварочных работ.

На промышленных предприятиях на основе типовых правил и правил пожарной безопасности министерств и ведомств с учетом особенностей производства должны разрабатываться противопожарные инструкции для отдельных цехов и участков. Выполнение этих инструкций при проведении сварочных работ на постоянных и временных участках обязательно, с ними должен быть ознакомлен каждый сварщик.

Требования по пожарной безопасности для различных производств включены в соответствующие правила техники безопасности и производственной санитарии при электросварочных работах для этих производств [17].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Институт электросварки им. Е. О. Патона. Автоматическая электродуговая сварка. М., «Машгиз», 1953.
2. Справочник сварщика. Под редакцией В. В. Степанова, М., «Машиностроение», 1974.
3. Фоминих В. П., Яковлев А. П. Электросварка. М., «Высшая школа», 1976.
4. Глизманенко Д. Л. Сварка и резка металлов. М., «Высшая школа», 1971.
5. Электроды для дуговой сварки и наплавки (каталог). Под редакцией И. И. Фрумина. Киев, «Наукова думка», 1967.
6. Галактионов А. Т., Пацкевич И. Р., Стадников Г. Д. Электросварщик. М., Машгиз, 1954.
7. Сергеев Н. П. Справочник молодого электросварщика. М., «Высшая школа», 1975.
8. Ободянский А. В., Зологарев И. А. Справочное пособие по сварке сталей. Днепропетровск, «Промінь», 1973.
9. Каховский Н. И., Фартушный В. Г. и Ющенко К. А. Электродуговая сварка сталей. Киев, «Наукова думка», 1975.
10. Строительные нормы и правила—СНиП III-18-75, М., «Стройиздат», 1976.
11. Справочник «Неразрушающий контроль металлов и изделий», М., «Машиностроение», 1976.
12. Румянцев С. В. и др. Неразрушающие методы контроля сварных соединений. М., «Машиностроение», 1976.
13. Единый тарифно-квалификационный справочник работ и профессий. Выпуск 2. М., «Машиностроение», 1973.
14. Правила аттестации сварщиков. М., «Металлургия», 1971.
15. Сборник правил и руководящих материалов по котлонадзору. М., «Недра», 1974.
16. Справочник по технике безопасности, противопожарной технике и производственной санитарии, т. 2, Л., «Судостроение», 1971.
17. То же, т. 3.

## ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНЫХ СТАНДАРТОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ПРОИЗВОДСТВЕ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Номер ГОСТа	Названия
<b>1. Швы сварных соединений</b>	
5264—69	Швы сварных соединений. Ручная электродуговая сварка. Основные типы и конструктивные элементы
8713—70	Швы сварных соединений. Автоматическая и полуавтоматическая сварка под флюсом. Основные типы и конструктивные элементы
11534—75	Швы сварных соединений. Ручная электродуговая сварка. Основные типы и конструктивные элементы (под острым и тупым углами)
11533—75	Швы сварных соединений. Автоматическая и полуавтоматическая сварка под флюсом. Основные типы и конструктивные элементы (под острым и тупым углами)
15164—69	Сварные соединения и швы. Электрошлаковая сварка. Основные типы и конструктивные элементы
14771—69	Швы сварных соединений. Электродуговая сварка в защитных газах. Основные типы и конструктивные элементы
14776—69	Швы сварных соединений электрозаклепочные. Основные типы и конструктивные элементы
16037—70	Швы сварных соединений стальных трубопроводов. Основные типы и конструктивные элементы

Номер ГОСТа	Название
15878—70	Соединения сварные, выполняемые контактной электросваркой. Основные типы и конструктивные элементы
11969—66	Сварка металлов. Обозначения основных положений сварки плавлением
16098—70	Швы сварных соединений на двухслойных коррозионных сталях. Основные типы и конструктивные элементы
2.312—72	Условные изображения и обозначения швов сварных соединений
14806—69	Дуговая сварка алюминия и алюминиевых сплавов. Основные типы и конструктивные элементы
16038—70	Швы сварных соединений трубопроводов из меди и медноникелевого сплава. Основные типы и конструктивные элементы

## 2. Применяемые материалы

2246—70*	Проволока стальная сварочная
10543—75	Проволока стальная наплавочная
7871—63	Проволока сварочная из алюминия и алюминиевых сплавов
2671—70	Прутки чугуны для сварки и наплавки
9466—75	Электроды покрытые металлические для дуговой сварки сталей и наплавки. Классификация, размеры и общие технические требования
9467—75	Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки конструктивных и теплоустойчивых сталей. Типы
10051—75	Электроды покрытые металлические для ручной дуговой наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами. Типы
10052—75	Электроды покрытые металлические для ручной дуговой сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами. Типы
9087—69*	Флюсы сварочные плавильные
8050—64***	Углекислый газ сжиженный (с 1.01.78 введен ГОСТ 8050—76)
10157—73	Аргон газообразный жидкий

Номер ГОСТа	Название
9293—74	Азот газообразный жидкий
380—71	Сталь углеродистая обыкновенного качества
19282—73	Сталь низколегированная толстолистовая и широкополосная универсальная
1050—74	Сталь углеродистая качественная конструкционная
(взамен 1050—60)	
1435—74	Сталь инструментальная углеродистая
(взамен 1435—54)	
4543—71	Сталь легированная конструкционная
5632—72	Стали высоколегированные и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные
20072—74	Сталь теплоустойчивая
(взамен 10500—63)	
19903—74	Сталь листовая горячекатаная. Сортамсент
859—66	Медь

#### 4. Методы контроля

3242—69	Швы сварных соединений. Методы контроля качества
7122—75	Швы сварные и металл наплавленный. Метод отбора проб для определения химического состава.
18353—73	Контроль неразрушающий. Классификация методов
21104—75	Контроль неразрушающий. Магнито-феррозондовый метод
21105—75	Контроль неразрушающий. Магнито-порошковый метод
20426—75	Контроль неразрушающий. Радиационные методы дефектоскопии. Область применения
7512—75	Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Радиографический метод
14782—69	Швы сварных соединений. Методы ультразвуковой дефектоскопии
22368—77	Контроль неразрушающий. Классификация дефектности стыковых сварных швов по результатам ультразвукового контроля

Номер ГОСТа	Название
18442—73	Неразрушающий контроль. Капиллярные методы
6032—58	Методы испытания на межкристаллитную коррозию аустенитных и аустенито-ферритных нержавеющих сталей
13585—68	Сталь. Метод валиковой пробы для определения допускаемых режимов дуговой сварки.
6996—66	Сварные соединения. Методы определения механических свойств

#### 5. Прочие стандарты

14651—69	Электрододержатели для ручной дуговой электросварки. Основные параметры и технические требования
6731—68	Провода для электрической дуговой сварки
9497—60 *	Светофильтры стеклянные для защиты глаз от вредных излучений на производстве
1361—69	Щитки и маски для защиты электросварщика. Технические условия
14892—69	Машины, приборы и другие технические изделия, предназначенные для эксплуатации в районах с холодным климатом. Общие технические требования
19232—73	Сварка металлов плавлением. Дефекты сварных соединений. Термины и определения
19521—74	Сварка металлов. Классификация

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Предисловие</b>	3
<b>Глава I. Общие сведения о сварке металлов</b>	5
1. Классификация способов сварки	6
2. Технично-экономические преимущества сварных и комбинированных конструкций	8
<b>Глава II. Применяемые материалы</b>	22
1. Проволоки для сварки и наплавки	22
2. Электроды	33
3. Флюсы	62
4. Защитные газы	64
<b>Глава III. Сварка сталей</b>	69
1. Классификация, маркировка и применение	69
2. Свариваемость	76
3. Сварка низкоуглеродистых сталей	82
4. Сварка среднеуглеродистых сталей	83
5. Сварка высокоуглеродистых сталей	86
6. Сварка легированных сталей	86
7. Подготовка металлов и типы швов сварных соединений	92
<b>Глава IV. Сварка и наплавка чугуна</b>	95
1. Чугун и особенности его сварки	95
2. Способы сварки и наплавки чугуна	97
<b>Глава V. Сварка цветных металлов</b>	107
1. Сварка меди	107
2. Сварка латуни	112
3. Сварка бронзы	114
4. Сварка алюминия и его сплавов	116
5. Сварка никеля и его сплавов	120
6. Сварка титана и его сплавов	121
<b>Глава VI. Сварочные напряжения и деформации</b>	123
1. Причины возникновения напряжений и деформаций	124
2. Меры борьбы с напряжениями и деформациями	126
<b>Глава VII. Дефекты сварных швов и их предотвращение</b>	131
1. Трещины в сварных швах	132
2. Подрезы	139
3. Непровар	142
4. Газовая пористость	143
5. Неметаллические включения	153
	229

<b>Глава VIII. Методы контроля качества сварных швов</b>	<b>154</b>
1. Контроль внешним осмотром и измерениями	156
2. Контроль красками и люминофорами	156
3. Магнитные методы контроля	158
4. Метод технологической пробы	159
5. Металлографический метод	160
6. Радиографический метод	162
7. Метод ультразвуковой дефектоскопии	165
8. Контроль вскрытием	165
9. Контроль на плотность	166
10. Определение механических свойств	170
11. Определение химического состава	175
<b>Глава IX. Сварка сосудов, работающих под давлением</b>	<b>176</b>
1. Сварные швы и их расположение	178
2. Сварка	179
3. Контроль сварных соединений	180
4. Нормы оценки качества	188
<b>Глава X. Присвоение разрядов и аттестация сварщиков</b>	<b>189</b>
<b>Присвоение разрядов</b>	
1. Электросварщик ручной сварки	190
2. Электросварщик на полуавтоматических машинах	193
3. Электросварщик на автоматических машинах	196
4. Газосварщик	199
<b>Аттестация сварщиков</b>	
1. Общие положения	202
2. Порядок аттестации	203
3. Контроль качества контрольных сварных соединений	207
4. Оценка качества контрольных сварных соединений	207
<b>Глава XI. Техника безопасности</b>	<b>210</b>
1. Защита от поражения электрическим током	211
2. Защита от лучей электрической дуги	215
3. Защита от брызг, продуктов горения и предупреждение взрывов	218
4. Противопожарные мероприятия	220
<b>Литература</b>	<b>224</b>
<b>Перечень основных стандартов, применяемых в производстве сварных конструкций</b>	<b>225</b>

**Лев Саулович Сапиро**

**СПРАВОЧНИК СВАРЩИКА**

Пособие для сварщиков, мастеров, технологов,  
конструкторов

Художник

А. И. Филипчук

Зав. редакцией

производственно-технической литературы

Л. И. Попович

Рецензент

докт. техн. наук Д. М. Рабкин

Редактор

В. А. Быкова

Художественный редактор

А. И. Глущенко

Технический редактор

А. В. Самолетова

Корректор

Л. А. Погребижская

ИБ № 406

Сдано в набор 14.09-77. Подписано в печать  
25.01-78. БП 16717. Формат 70×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>. Бумага  
типографская № 1. Гарнитура шрифта литератур-  
ная. Печать высокая. Усл. печ. л. 10,15. Уч.-изд.  
л. 10,938. Тираж 100 000 экз. Заказ № 279.  
Цена 55 коп.

Издательство «Донбас». 340002, Донецк, пр. Бог-  
дина Хмельницкого, 102.  
Типография издательства «Радянська Донеччина».  
340015, Донецк, ул. газеты «Социалистический  
Донбасс», 4.

- С19** Сапиро Л. С.  
Справочник сварщика : Пособие для сварщиков, мастеров, технологов, конструкторов. — 2-е изд., перераб. и доп. — Донецк : Донбас, 1978.—228 с., ил.

В справочнике содержатся сведения о сварке сталей, чугунов, цветных металлов и сплавов. Большое внимание уделено получению качественных сварных швов и соединений. Подробно рассмотрены дефекты сварных швов, причины их возникновения и основные способы предотвращения; рассмотрены вопросы контроля качества сварных швов и соединений, технико-экономические преимущества сварных и комбинированных конструкций перед клепаными, коваными и литыми.

Справочник рассчитан на сварщиков средней квалификации, может быть полезным мастерам, технологам и конструкторам, работа которых связана с производством сварных конструкций.

6П4.3

С  $\frac{31206-006}{M213(04)-78}$  51-78