

# **Технология сварки углеродистой стали**

Классификация углеродистых сталей по свариваемости.

Особенности сварки углеродистых сталей.

# Технология сварки углеродистой стали

## 1. Сварка низкоуглеродистых сталей.

Низкоуглеродистые стали, содержащие до 0,25% углерода, хорошо свариваются. Сварные соединения при этом легко обрабатываются режущим инструментом. Сварку следует вести на максимально допустимых режимах. Подготовку кромок под сварку производят согласно ГОСТ 5264 — 69.

## **2. Сварка углеродистых сталей.**

К углеродистым сталям относятся среднеуглеродистые стали с содержанием углерода 0,3 — 0,5% и высокоуглеродистые с содержанием углерода 0,5 — 1,0%.

При сварке среднеуглеродистых сталей возможно образование трещин как в основном, так и в наплавленном металле. Для получения качественных соединений перед сваркой необходим подогрев изделия до 200 — 350 °С. После сварки изделие вновь помещают в печь, нагревают его до 675 — 700 °С, медленно охлаждают вместе с печью до 100—150 °С. Дальнейшее охлаждение изделия можно производить на воздухе.

При сварке среднеуглеродистых сталей применяют электроды марок УОНИ-13/45, УОНИ-13/55 (универсальная обмазка научно-исследовательского института 13 с временным сопротивлением разрыву металла шва не ниже 450 МПа и 550МПа –основные, с фтористо-кальциевым покрытием), К5А, УП-1/45, УП-2/45 (с фтористо-кальциевым покрытием ), ВСП-1(с органическим покрытием), МР-1 (монтажные рутиловые), ОЗС-2, ОЗС-4 (опытный завод по производству покрытых электродов, модель 2, 4-рутиловые) и др.

Сварку электродами УОНИ-13, ОЗС-2, ВСП-3 можно выполнять только на постоянном токе обратной полярности. Применение электродов ВСП-1, МГ-1, ОЗС-4, К-5А дает возможность использовать любой род тока.

Высокоуглеродистые стали используют при изготовлении режущего, бурильного и другого инструмента. Технология сварки этих сталей обязательно предусматривает предварительный подогрев до 350 —400 °С, иногда сопутствующий подогрев и последующую термическую обработку. Сварку производят узкими валиками небольшими участками. Обязательно заправляют кратеры или выводят их на технологическую пластинку. Сварку при температуре окружающей среды ниже + 5 °С и на сквозняках производить нельзя.

# Технология сварки легированных сталей

Особенности сварки легированных сталей.

Сварка низко- и среднелегированных сталей.

Сварка высоколегированных сталей аустенитного, ферритного, мартенситного, аустенитно-ферритного, аустенитно-мартенситного и ферритно-мартенситного классов.

# СВАРКА ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

## Свариваемость легированных сталей

Легированные стали в зависимости от содержания в них легирующих компонентов подразделяют

- на низколегированные (с содержанием легирующих компонентов, кроме углерода, не более 2,5 %);
- среднелегированные (с содержанием легирующих компонентов, кроме углерода, 2,5...10 %)
- высоколегированные (с содержанием легирующих компонентов, кроме углерода, свыше 10 %).

Свариваемость легированных сталей оценивается не только возможностью получения сварного соединения с физико-механическими свойствами, близкими к свойствам основного металла, но и возможностью сохранения специальных свойств: **коррозионной стойкости, жаропрочности, химической стойкости, стойкости против образования закалочных структур и др.** Большое влияние на свариваемость стали оказывает наличие в ней различных легирующих примесей: марганца, кремния, хрома, никеля, молибдена и др.

## *Хром* содержится

в низколегированных сталях — не более 0,9 %. При таком содержании он не оказывает существенного влияния на свариваемость стали.

В конструкционных сталях хрома содержится 0,7...3,5 %;

в хромистых — 12...18 %;

в хромо-никелевых — 9...35 %.

С повышением содержания хрома свариваемость стали ухудшается, так как, окисляясь, хром образует тугоплавкие оксиды  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , резко повышает твердость стали в зоне термического влияния, образуя карбиды хрома, а также способствует возникновению закалочных структур.

*Никель* содержится

в низколегированных сталях до 0,6 %;

в конструкционных сталях — 1,0...5 %;

в легированных сталях — 8...35 %.

Никель способствует измельчению кристаллических зерен, повышению пластичности и прочностных качеств стали; не снижает свариваемости стали.

*Молибден* в теплоустойчивых сталях содержится 0,15... 0,8 %;

в сталях, работающих при высоких температурах и ударных нагрузках, содержится 3,5 %.

Молибден способствует измельчению кристаллических зерен, повышению прочности и ударной вязкости стали; ухудшает свариваемость стали, так как способствует образованию трещин в металле шва и в зоне термического влияния. В процессе сварки легко окисляется и выгорает. Поэтому требуются специальные меры для надежной защиты от выгорания молибдена при сварке.

*Ванадий* содержится в сталях 0,2...1,5 %.

Он придает стали высокую прочность, повышает ее вязкость и упругость. Ухудшает свариваемость, так как способствует образованию закалочных структур в металле шва и околошовной зоны. При сварке легко окисляется и выгорает.

*Вольфрам* содержится в сталях 0,8...18 %.

Значительно повышает твердость стали и её теплостойкость. Снижает свариваемость стали; в процессе сварки легко окисляется и выгорает.

*Титан* и *ниобий* содержатся в нержавеющей и жаропрочных сталях 0,5...1,0 %. Они являются хорошими карбидообразователями и поэтому препятствуют образованию карбидов хрома. При сварке нержавеющей сталей ниобий способствует образованию горячих трещин.

## **Сварка низколегированных сталей**

Низколегированные стали получили широкое применение. Они обладают повышенными механическими свойствами, позволяют изготавливать строительные конструкции более легкими, а отсюда и экономичными. Для изготовления различных строительных конструкций применяются стали марок 15ХСНД, 14Г2, 09Г2С, 10Г2С1, 16ГС и др. Для изготовления арматуры железобетонных конструкций и сварных труб применяют стали марок 18Г2С, 25Г2С, 25ГС и 20ХГ2Ц. Эти стали содержат углерода до 0,25 % и легирующих примесей до 3 %. Они относятся к категории удовлетворительно свариваемых сталей. Следует учитывать, что при содержании в стали углерода более 0,25 % возможно образование закалочных структур и даже трещин в зоне сварного шва. Кроме того, выгорание углерода вызывает образование пор в металле шва.

Сварку листов толщиной до 40 мм производят без разделки кромок. При этом равнопрочность сваренного шва обеспечивается за счет перехода легирующих элементов из электродной проволоки в металл шва.

Стали хромкремниемарганцовистые типа хромансиль, относятся к низколегированным (марки 20ХГСА, 25ХГСА, 30ХГСА и 35ХГСА). Основное затруднение при сварке этих сталей заключается в том, что они дают закалочные структуры и склонны к образованию трещин. При этом чем меньше толщина кромок, тем больше опасность закалки металла и образования трещин, особенно в околошовной зоне. Стали, содержащие углерод до 0,25 %, свариваются лучше, чем стали с большим содержанием углерода.

При сварке более толстых металлов применяется многослойная сварка с малыми интервалами времени между наложением последующих слоев. При сварке кромок разной толщины сварочный ток выбирается по кромке большей толщины и на нее направляется большая часть зоны дуги. Для устранения закалки и повышенной твердости металла шва и околошовной зоны рекомендуется после сварки нагреть изделие до температуры 650...680 °С, выдержать при этой температуре определенное время в зависимости от толщины металла (1 ч на каждые 25 мм) и охладить на воздухе или в горячей воде.

Сварку низколегированных сталей в защитном газе производят при плотностях тока более 80 А/мм<sup>2</sup>. Сварка в углекислом газе выполняется при постоянном токе обратной полярности. Рекомендуется электродная проволока диаметром 1,2...2,0 мм марки Св-08Г2С или Св-10Г2, а для сталей, содержащих хром и никель, Св-08ХГ2С, Св-08ГСМТ.

Электрошлаковая сварка сталей любой толщины успешно производится электродной проволокой марки Св-10Г2 или Св-18ХМА под флюсом АН-8 при любой температуре окружающего воздуха. Прогрессивным способом является сварка в углекислом газе с применением порошковой проволоки.

Газовая сварка отличается значительным разогревом свариваемых кромок, снижением коррозионной стойкости, более интенсивным выгоранием легирующих примесей. Поэтому качество сварных соединений ниже, чем при других способах сварки. При газовой сварке пользуются только нормальным пламенем при удельной мощности 75...130 л/(ч·мм). Присадочным материалом обычно служит проволока марок Св-08, Св-08А, Св-10Г2, а для ответственных швов — Св-18ХГС и Св-18ХМА. Проковка шва при температуре 800...850 °С с последующей нормализацией несколько повышает механические качества шва.

# Сварка средне- и высоколегированных сталей

*Средне- и высоколегированные стали* характеризуются особыми теплофизическими свойствами, которые существенно влияют на процесс сварки. Поэтому для получения сварного соединения хорошего качества с необходимыми свойствами разрабатывают специальные технологические меры, направленные на устранение причин, снижающих качество сварного шва.

Сварка этих видов сталей затруднена по следующим причинам: в процессе сварки происходит частичное выгорание легирующих примесей и углерода; вследствие малой теплопроводности возможен перегрев свариваемого металла; повышенная склонность металла к образованию закалочных структур; больший, чем у низкоуглеродистых сталей, коэффициент линейного расширения может вызвать значительные деформации и напряжения, связанные с тепловым влиянием дуги. Чем больше в стали углерода и легирующих примесей, тем сильнее проявляются эти затруднения.

Для устранения влияния этих причин на качество сварного соединения рекомендуется:

- тщательно подготавливать изделие под сварку;
- сварку вести при больших скоростях с малой погонной энергией, чтобы не допускать перегрева металла;
- применять термическую обработку для предупреждения образования закалочных структур и снижения внутренних напряжений;
- применять легирование металла шва через электродную проволоку и покрытие с целью восполнить выгорающие в процессе сварки примеси.

Электроды для сварки высоколегированных сталей изготавливают из высоколегированной сварочной проволоки (ГОСТ 2246—70). Сварку производят постоянным током обратной полярности. При этом сварочный ток выбирают из расчета 25...40 А на 1 мм диаметра электрода. Длина дуги должна быть возможно короткой. Рекомендуется многослойная сварка малого сечения при малой погонной энергии.

В строительстве и промышленности при изготовлении различных изделий и конструкций широкое применение получили хромистые, хромоникелевые, марганцовистые, молибденовые и другие средне- и высоколегированные стали.

*Хромистые стали* относятся к группе нержавеющей коррозионностойких и кислотостойких сталей. По содержанию хрома они делятся на среднелегированные (до 14 % хрома) и высоколегированные (14...30 % хрома). При сварке хромистых сталей возникают следующие затруднения. Хром при температуре 600...900 °С легко вступает во взаимодействие с углеродом, образуя карбиды, которые, располагаясь в толще металла, вызывают межкристаллитную коррозию, снижающую механические свойства стали. Чем выше содержание углерода в стали, тем активнее образуются карбидные соединения. Кроме того, хромистые стали обладают способностью к самозакаливанию (при охлаждении на воздухе), вследствие чего при сварке металл шва и околошовной зоны получает повышенную твердость и хрупкость. Возникающие при этом внутренние напряжения повышают опасность возникновения трещин в металле шва. Усиленное окисление хрома и образование густых и тугоплавких оксидов являются также серьезными препятствиями при сварке хромистых сталей.

Среднелегированные хромистые стали, содержащие углерода до 2 %, относятся к **мартенситному классу**. Они свариваются удовлетворительно, но требуют подогрева до 200...300 °С и последующей термической обработки.

Высоколегированные хромистые стали **ферритного класса** сваривают с предварительным подогревом до 300...400 °С; после сварки для снятия внутренних напряжений и восстановления первоначальных физико-механических свойств изделие подвергают высокому отпуску (нагрев до 650...750 °С и медленное охлаждение). Electrodes изготовляют из сварочной проволоки марок Св-01Х19Н9, Св-04Х19Н9 и Св-07Х25Н13 с покрытием, содержащим плавиковый шпат и оксид марганца. Это обеспечивает получение жидкого шлака, хорошо растворяющего оксиды хрома. Рекомендуются покрытия типов ЦЛ-2, ЦТ-2 и УОНИИ-13/НЖ.

Хромистые стали, как и большинство легированных сталей, обладают малой теплопроводностью и легко подвергаются перегреву. Поэтому сварку их производят постоянным током обратной полярности при малых сварочных токах из расчета 25...30 А на 1 мм диаметра электрода.

Высоколегированные *хромоникелевые аустенитные* стали обладают рядом важных физико-химических и механических свойств: коррозионной стойкостью, кислотоупорностью, теплостойкостью, вязкостью, стойкостью против образования окалины. Важным качеством этих сталей является хорошая свариваемость.

Хромоникелевые стали марок 08Х18Н10 и 12Х18Н9 при нагреве до температуры 600...800 °С теряют антикоррозионную стойкость. Выделение карбидов хрома по границам зерен приводит к межкристаллитной коррозии стали. Поэтому сварку выполняют при постоянном токе обратной полярности при малых сварочных токах, сокращая продолжительность нагрева металла. Применяют также меры по отводу теплоты, например, при помощи медных подкладок или охлаждения. После сварки рекомендуется изделие подвергнуть нагреву до температуры 850...1100 °С и закалке в воде (или воздухе для малых толщин металла).

Хромоникелевые стали марок 12Х18Н9Т и 08Х18Н12Б содержат титан и ниобий, которые, являясь более сильными карбидообразователями, связывают углерод стали, предупреждая образование карбидов хрома. Поэтому эти стали после сварки не подвергают термообработке. Для сварки хромоникелевых сталей применяют электроды типов ОЗЛ-7, ОЗЛ-8, ЦТ-1 и ЦТ-7. Рекомендуются электроды, изготовленные из сварочной проволоки типа Св-01Х19Н9, Св-06Х19Н9Т или Св-04Х19Н9С2 с покрытием ЦЛ-2, ЦЛ-4 (содержат 35,5 % мрамора, 41 % плавикового шпата, 8,5 % ферромарганца и 15 % молибдена), УОНИИ-13/НЖ и др. Тонколистовую сталь марки 12Х18Н9Т следует сваривать аргонодуговой сваркой, так как при сварке качественными электродами или под флюсом происходил науглероживание металла шва. Это снижает стойкость стали против межкристаллитной коррозии.

Хромоникелевые аустенитные стали сваривают газовой сваркой при толщине металла не более 3 мм нормальным пламенем удельной мощности 75 л/(ч·мм). Присадочным материалом служат проволоки марок Св-01Х19Н9, Св-04Х19Н9С2, Св-06Х19Н9Т и Св-07Х19Н10Б. Сварку следует вести быстро. Флюсом служат смесь буры (50 %) и борной кислоты (50 %) или плавиковый шпат (80 %) и диоксид кремния (20 %).

Высоколегированная *марганцовистая сталь*, обладающая большой твердостью и износостойкостью, содержит 13...18 % марганца и 1,0...1,3 % углерода. Она применяется для изготовления зубьев экскаваторов, шеек камнедробилок и других рабочих органов дорожных и строительных машин, работающих при ударных нагрузках и на истирание. Для сварки применяют электроды со стержнями из углеродистой проволоки марок Св-08А, Св-08ГА, Св-10Г2 с покрытием, которое применяется для наплавочных электродов марки ОМГ, содержащим 23 % мрамора, 15 % плавикового шпата, 60 % феррохрома, 2 % графита, замешанных на жидком стекле (30 % к общей массе сухих компонентов). Рекомендуются покрытия, применяемые для наплавочных электродов типа ОЗН (45...49 % мрамора, 15...18 % плавикового шпата, 26...33 % ферромарганца, 3 % алюминия, 4 % поташа, замешанных на жидком стекле).

Применяют также стержни электродов из проволоки марок Св-04Х19Н9 и Св-07Х25Н13 с покрытием ЦЛ-2, состоящим из 44 % мрамора, 51 % плавикового шпата, 5 % ферромарганца, замешанных на жидком стекле (20...22 % к массе сухих компонентов). Хорошие результаты дает также покрытие УОНИИ-13/НЖ. Сварка выполняется постоянным током обратной полярности короткими участками. Сварочный ток определяется из расчета 30...35 А на 1 мм диаметра электрода. Для получения шва повышенной прочности и износостойкости следует сварной шов проковать в горячем состоянии. При этом металл шва следует интенсивно охлаждать холодной водой (закаливать).

# СВАРКА ЧУГУНА

## Технологические особенности сварки чугуна

**Чугуны** представляют собой железоуглеродистые сплавы, в которых содержание углерода превышает 2 %. Чугуны, применяемые в промышленности и строительстве, имеют обычно следующие примеси (%): углерода — 2,0...4,0, марганца — 0,5...1,6, кремния — 0,5...4, серы — 0,02...0,2 и фосфора — 0,02...0,2. Специальные чугуны имеют также различные легирующие примеси: никель, хром, медь, титан и алюминий.

*Углерод* в чугуне может находиться в виде карбида  $Fe_3C$  (первичный и вторичный цементит). Такой чугун, называемый белым чугуном, обладает повышенной твердостью и плохо поддается механической обработке. В сером чугуне углерод находится в свободном состоянии в виде прослоек графита и только частично может быть в виде вторичных карбидов (перлит).

*Кремний* способствует графитизации чугуна и увеличению размеров графитовых включений. *Марганец* при содержании в чугуне до 0,7 % слабо способствует графитизации, а при содержании свыше 1 % препятствует распаду карбида железа. *Сера* является вредной примесью: повышает густотекучесть чугуна; ухудшает литейные качества и дает соединение  $Fe_3S$ , способствующее образованию трещин при сварке. Сера препятствует распаду карбида железа и выделению свободного углерода. *Фосфор* является слабым графитизатором: улучшает литейные качества чугуна, повышая жидкотекучесть. Из легирующих примесей сильным графитизатором является *алюминий*. Выделению графита способствуют также никель, кобальт, медь, титан. *Хром*, *ванадий* и *молибден*, препятствуя распаду карбида железа, действуют как размельчители зерна.

Большое применение получают модифицированные и высокопрочные чугуны, имеющие ферритную или перлитную основу или их сочетание. Эти чугуны обладают высокими механическими свойствами и применяются при изготовлении ответственных деталей машин. Их высокие механические свойства обусловлены тем, что вместо вытянутых пластинок и прожилок графита, нарушающих целостность металлической основы (как в сером чугуне), графит в высокопрочном чугуне имеет глобулярную форму, обеспечивающую наибольшую сплошность металлической основы.

Основные трудности, возникающие при сварке чугунов, обусловлены их физико-механическими свойствами:

- быстрое охлаждение жидкого металла в зоне сварки, а также выгорание кремния из расплава шва способствуют местному «отбеливанию» металла шва и околошовной зоны, т. е. способствуют переходу графита в химическое соединение с железом — цементит, который, обладая высокой твердостью, трудно поддается механической обработке;
- отсутствие периода пластического состояния и высокая хрупкость приводят, вследствие неравномерного нагрева и охлаждения, а также неравномерной усадки металла, к появлению больших внутренних напряжений и трещин как в самом сварном шве, так и в околошовной зоне;
- низкая температура плавления, непосредственный переход чугуна из твердой фазы в жидкую, и наоборот, затрудняют выход газов из металла шва, и шов получается пористым;
- высокая жидкотекучесть чугуна не позволяет производить сварку не только в вертикальном, но и в наклонном положении шва.

## **Горячая сварка чугуна**

**Горячей сваркой чугуна** принято называть сварку чугунных изделий с предварительным их нагревом. Предварительный нагрев уменьшает разность температур основного металла и металла в зоне соединения и тем самым снижает температурные напряжения при сварке. Вместе с этим снижается скорость охлаждения сплава после сварки, что способствует предупреждению отбела и получению шва хорошего качества.

Подготовка к сварке состоит из вскрытия, вырубки и тщательной зачистки разделки шва или дефектного места до чистой поверхности металла. Вскрытие и очистку разделки шва (дефектного места) выполняют механическим путем — вырубкой или сверлением. Трещины разделяют V-образной или U-образной формы. Разделка дефектного участка должна иметь плавные округленные формы. Для предупреждения вытекания металла и придания шву нужного очертания вокруг разделки выкладывают форму из плотно прилегающих к изделию и друг к другу графитовых или угольных пластин. Применяют также кварцевый песок, замешанный на жидком стекле (100... 150 г на 1 кг песка) и просушенный при температуре 40...60 °С. При сварке излома необходимо применять приспособления, фиксирующие относительное расположение свариваемых частей и обеспечивающие точность сварки.

В зависимости от назначения и конфигурации детали, характера дефекта и марки чугуна применяют общий или местный подогрев. При массовом производстве для общего подогрева деталей и последующего их охлаждения после сварки применяют методические печи конвейерного типа. Для подогрева отдельных крупных деталей применяют нагревательные колодцы или ямы, выложенные огнеупорным кирпичом. Если подогреву подвергается только часть детали, т. е. производится местный подогрев в зоне соединения, подлежащего сварке (полугорячая сварка), то используют горны, газовые и сварочные горелки, индукционные нагреватели и др. Температура нагрева должна находиться в пределах 400...700 °С. Подогрев производят медленно и равномерно, чтобы не вызвать в детали больших внутренних напряжений и трещины.

Для сварки чугунов рекомендуется применять чугунные прутки следующих марок: ПЧ1 и ПЧ2— для газовой сварки серого чугуна с перлитной и перлитно-ферритной основой; ПЧ3 — для газовой сварки серого чугуна с ферритной структурой; ПЧН1 и ПЧН2 — для пайкосварки; ПЧИ—для износостойкой наплавки; ПЧВ — для газовой сварки высокопрочных чугунов с шаровидным графитом. Прутки марок ПЧ1, ПЧ2, ПЧ3 и ПЧВ, предназначенные для изготовления электродов, применяются с покрытием толщиной 1...1,5 мм, состоящие из графита серебристого (25%), плавикового шпата (30%), карбида кремния (40%) и алюминиевого порошка (5%), замешанных на жидком стекле (60% от сухих компонентов). Прутки изготавливают следующих размеров:

Диаметр $d$ , мм	4	6	8	10...16			
Длина $l$ , мм	250	350	450	450	500	600	700

В практике применяют графитизирующие покрытия, содержащие графит, ферросилиций, мрамор, титановую руду, замешанные на жидком стекле. Иногда в покрытие вводят термит, что замедляет остывание металла шва. Толщина покрытия — 2 мм. Сварку выполняют на постоянном токе прямой полярности, однако можно сваривать и переменным током. При толщине металла до 20 мм сварку производят электродами диаметром 6 мм; при толщине 20...40 мм применяют электроды диаметром 8 мм, а при толщине свыше 40 мм можно рекомендовать электроды диаметром 10) мм. Сварочный ток определяется из расчета 50...60 А на 1 мм диаметра электрода. Сварку можно выполнять угольными электродами диаметром 6...12 мм в зависимости от толщины свариваемой детали. Сварочный ток составляет 200...450 А. Присадочным материалом служат прутки марок ПЧ1, ПЧ2, ПЧ3 и ПЧВ, а флюсом—бура или смесь буры (50%) и соды (50%). Ток постоянный, прямой полярности или переменный.

Важным условием качественной сварки является поддержание ванны наплавленного металла в жидком состоянии в течение всего периода сварки. Для этого весь объем сварочных работ выполняют без перерыва. После окончания сварки деталь подвергают медленному охлаждению. Для этого заваренные участки засыпают слоем мелкого древесного угля и накрывают асбестом, что предупреждает отбел чугуна и исключает возникновение больших внутренних напряжений и трещин. Затем изделие очищают и контролируют качество сварки.

Сварка с предварительным нагревом является самым надежным способом предупреждения дефектов чугунных изделий любого размера и конфигурации. При точном соблюдении технологического процесса можно получить плотный и прочный шов, хорошо поддающийся механической обработке и по своим механическим качествам не уступающий основному металлу.

## Холодная сварка чугуна

**Холодной сваркой чугуна** принято называть сварку без предварительного нагрева. Ее применяют тогда, когда трудно или экономически нецелесообразно производить сварку с предварительным подогревом из-за больших габаритов изделия, опасности коробления и возникновения больших внутренних напряжений. В практике применяют различные способы холодной сварки чугуна.

Рекомендуются следующие режимы сварки:

Толщина электрода, мм	20	20...40	40
Диаметр электрода, мм	6	8	10
Сварочный ток, А	280...320	350...450	450...550

Хорошие результаты дают электроды из аустенитных высоколегированных чугунов (никелевых, никелькремнистых) следующего состава (%):

	C	Ni	Si	Cu	Mn	P	Fe
Никелевый (нирезист)	2	28...30	1,2...1,3	7,5...8,0	0,46	0,038	остальное
Никелькремнистый (никросилаль)	2,1...2,4	19...22	5,2...6,4	-	0,54	-	остальное

Никель, не вступая в реакцию с углеродом, хорошо сплавляется с железом и как графитизатор препятствует отбеливанию чугуна. Electroды имеют покрытие, состоящее из 70 % карборунда и 30 % углекислого стронция или углекислого бария, замешанных на жидком стекле (30 г на 100 г сухой смеси). Толщина покрытия 0,6...0,8 мм. Electroды из никелевых чугунов применяют при сварке и наплавке поверхностей, подлежащих последующей механической обработке. Качество шва невысокое ввиду склонности металла шва к образованию трещин.

Сварку можно производить способом, предложенным Ростовским институтом инженеров железнодорожного транспорта, чугунами электродами с меловым покрытием по слою гранулированной графитизирующей шихты. Electroдные стержни диаметром 7...8 мм изготавливают из чугуна, содержащего 3...3,2 % углерода, 2,6...3 кремния, 0,5...0,8 марганца, не более 0,5 фосфора и 0,08 % серы. Шихта содержит 30 % чугуна стружки, 28 % ферросилиция, 30 % алюминия и 12 % силикокальция. Ферросилиций применяется 75 %-ный, пассивированный прокалкой в электропечи при температуре 750...800 °С. Компоненты шихты, имеющей грануляцию 1...3 мм, хорошо перемешивают на жидком стекле и брикетируют. Брикеты прокаливают в печи при температуре 250...300 °С и затем дробят до грануляции 0,5...3 мм. При сварке флюс насыпают в разделку шва, а при наплавке поверхность детали покрывают слоем шихты толщиной 4...6 мм. Возбуждение и обрыв дуги производят без вывода электрода из шихты, чтобы не допустить отбеливания чугуна.

**Сварка стальными электродами.** Большая разница в усадке чугуна и стали не позволяет получить прочное сцепление между наплавленным и основным металлом при сварке стальными электродами. Поэтому таким способом сваривают швы, не работающие на растяжение или слабо нагруженные. Для повышения стойкости и снижения твердости металла шва уменьшают долю основного металла в металле шва, уменьшая глубину проплавления. Для этого сварку выполняют при малых сварочных токах электродами малого диаметра.

Для того чтобы металл в зоне сваренного шва имел структуру серого чугуна, применяют электродные стержни из низкоуглеродистой стали, с толстым графитизирующим покрытием, состоящим (%): из ферросилиция — 33, графита — 37, мела — 7 и натриевого жидкого стекла — 23. Однако полная графитизация происходит лишь при большом объеме наплавленного металла и при заварке крупных деталей (при малой скорости охлаждения металла шва).

Для усиления связи металла шва с основным металлом применяют сварку стальными электродами с постановкой шпилек (ввертышей). Завариваемый шов тщательно очищают от грязи и масла и в зависимости от толщины металла и назначения шва применяют V- или X-образную разделку. На обработанной поверхности ставят стальные шпильки диаметром 6...12 мм в шахматном порядке на расстоянии друг от друга 4...6 диаметров шпильки. Иногда для усиления связи применяют стальные соединительные планки, ребра, косынки.

Заварку шва начинают с обварки шпилек кольцевыми валиками, а затем накладывают круговые швы и окончательно заполняют завариваемый шов металлом. Сварку производят короткими участками (40...60 мм) вразброс с перерывами, чтобы не допустить нагрева детали выше 60...80 °С. Сварочный ток составляет 30...40 А на 1 мм диаметра электрода. Диаметр электродов 3...4 мм с покрытием типа УОНН-13. Ток постоянный обратной полярности. В целях повышения графитизирующего действия производят сварку пучком электродов малого диаметра. Такой прием обеспечивает более полное взаимодействие капель наплавляемого металла с покрытием и хорошую графитизацию металла шва. В зависимости от толщины свариваемого металла пучок электродов состоит из 5...20 стержней диаметром 1...2 мм. Сварочный ток определяют из расчета 10...12 А на 1 мм сечения пучка электродов. Покрытие состоит из 40 % графита и 60 % ферросилиция, замешанных на жидком стекле (30 % к массе сухих составляющих).

## **Сварка электродами из цветных металлов и сплавов.**

Большее применение получили электроды из меди и ее сплавов. Медь, обладая графитизирующей способностью, снижает общую твердость металла и уменьшает отбел чугуна. Хорошие результаты дают электроды марки МНЧ с покрытием основного типа. Стержень электрода изготавливают из проволоки типа НМЖМц-28-2,5-1,5 (монельметалл), а покрытие состоит из смеси, содержащей 55...60 % мела и 40...45 % графита. Применяют также покрытие, содержащее 45 % графита, 15 % кремнезема, 20 % огнеупорной глины, 10 % соды и 10 % древесной золы. Сварку выполняют постоянным током обратной полярности. Рекомендуются электроды диаметром 3 мм при сварочном токе 90...120 А. Сварку ведут возможно короткой дугой небольшими участками (20...25 мм). После сварки производят проковку металла шва.

Комбинированные электроды для холодной сварки чугуна состоят из меди и железа. Применяют следующие сочетания: а) стержень из меди марки М1, железо вводят в покрытие электрода в виде железного порошка; б) медный стержень покрывают тонкой оболочкой из жести толщиной 0,3 мм (навиваемый в виде ленты шириной 6...7 мм или надеваемого в виде трубки); в) стержень из низкоуглеродистой стали покрывают оболочкой из тонкой медной ленты (медной трубкой) или применяют электролитическое покрытие медью толщиной 0,7...1,0 мм; г) пучок электродов составляют из одного стального электрода с покрытием типа УОНИИ-13 и нескольких тонких медных стержней. Большое применение получили электроды ОЗЧ-1 (стержень медный М1) и АНЧ-1 (стержень типа Св-04Х19Н9 с медной оболочкой), покрытия которых содержат мрамор, кварцевый песок и ферросплавы.

Сварка производится постоянным током обратной полярности. Сварочный ток определяют из расчета 30...40 А на 1 мм диаметра электрода. Успешно применяется механизированный способ сварки и наплавки порошковой проволокой, обеспечивающий высокую производительность и хорошие условия труда сварщика. Для сварки чугуна с пластинчатым графитом применяют проволоку типа ПП-АНЧ2, а для высокопрочных чугунов — типа ПП-АНЧ5.

**Спасибо за внимание!**