

## Уважаемые студенты!

### Задание:

1. Прочтите приведенный ниже конспект лекции.
2. Напишите конспект лекции в тетрадь объемом не менее 5 страниц рукописного текста.
3. Ответьте письменно на контрольные вопросы.
4. Письменный отчет конспекта лекции и ответов на вопросы в виде фото предоставьте преподавателю на e-mail ([tamara\\_grechko@mail.ru](mailto:tamara_grechko@mail.ru)).

Примите к сведению, что данная лекция изучается на трех занятиях (3 пара 04.04.2023, 1 и 3 пары 07.04.2023).

**Обратите внимание!!!** В случае возникновения вопросов по теоретическому материалу лекции обращайтесь для консультации к преподавателю по тел. 0721355729 (Ватсап).

С уважением, Гречко Тамара Ивановна!

## ЛЕКЦИЯ

Тема: **Способы сварки чугуна**

**Цель:** Изучить особенности сварки чугуна, способы сварки чугуна

### *План*

1. Виды и особенности сварки чугуна
2. Технологии сварки чугуна
3. Способы сварки чугуна
4. Сварка чугуна электродами

### **1. Виды и особенности сварки чугуна**

#### ***Виды чугуна***

**Чугун** - сплав железа с углеродом с содержанием углерода от 2,14 до 6,7%. В чугуне содержатся также кремний, марганец, сера и фосфор, при этом серы и фосфора в чугуне больше, чем в стали. В легированных чугунах содержатся добавки никеля, молибдена, ванадия, хрома и др.

**Белый чугун** имеет в своем составе большую часть углерода химически соединенную с железом в виде цементита  $Fe_3C$ . Цементит имеет белый цвет и обладает большой твердостью и хрупкостью.

Белый чугун из-за своей хрупкости и твердости сварке не подлежит.

Белый чугун имеет ограниченное применение в качестве конструкционного материала, а используется для получения ковких чугунов, способных выдерживать ударные и вибрационные нагрузки.

**Серый чугун** имеет в своем составе большую часть углерода в

свободном состоянии в виде графита, на изломе имеет темно-серый цвет. Он хорошо обрабатывается режущим инструментом, его температура плавления 1100... 1250 °С.

Недостатки: пониженная прочность и высокая хрупкость.

Свариваемость серого чугуна уменьшается при наличии в нем кремния, марганца более 1,5%, серы более 0,15%. Фосфор увеличивает жидкотекучесть серого чугуна и улучшает его свариваемость, но понижает температуру затвердевания, повышает хрупкость и твердость.

Марку серого чугуна обозначают буквами СЧ и цифрой, которая выражает величину временного сопротивления при растяжении в МН/м<sup>2</sup>.

**Ковкий чугун** получают из белого чугуна при длительном выдерживании его при температуре 800...850 °С. При этом в чугуне углерод выделяется в виде хлопьев, располагающихся между кристаллами железа.

При нагреве ковких чугунов выше 900°С графит распадается и образует цементит Fe<sub>3</sub>C, что приводит к потере ковкости чугуна. Это явление затрудняет сварку ковкого чугуна, и для восстановления структуры ковкого чугуна после сварки его приходится подвергать циклу термообработки.

Ковкий чугун обозначают буквами КЧ и двумя числами, первое из которых означает временное сопротивление при растяжении в МН/м<sup>2</sup>, второе — относительное удлинение в процентах.

**Легированные чугуны** имеют примеси хрома, никеля, молибдена, благодаря которым повышаются их свойства, например, прочность при ударных нагрузках, кислотостойкость.

**Высокопрочный чугун** получают из серого чугуна введением в жидкий чугун при температуре 1400 °С магния или его сплавов.

### **Особенности сварки чугуна**

При сварке чугуна как трудносвариваемого сплава нужно учитывать его свойства:

- Высокая скорость охлаждения чугуна приводит к образованию хрупкого слоя белого чугуна
- Неправильный выбор температурного режима может вызвать перекалку сплава в околошовной зоне, что приводит к образованию трещин.
- при выгорании углерода при сварке образуются газы в сварочной ванне, что может привести к пористости швов.
- металл вытекает из ванны, поэтому его сварка осуществляется в нижнем положении;
- Неравномерный нагрев и охлаждение, а также малая пластичность чугуна при сварке приводит к значительным внутренним напряжениям и образованию закалочных структур, способствующих образованию трещин;
- Чугун в расплавленном состоянии окисляется с образованием на поверхности

сварочной ванны тугоплавких окислов, температура плавления которых выше, чем у чугуна.

Сварка чугуна применяется при исправлении литейных дефектов при ремонте изношенных деталей и при изготовлении сварно-литых конструкций.

## 2. Технологии сварки чугуна

### Подготовка к сварке чугуна

Трещины в чугунных изделиях имеют глубокую и тонкую структуру.

- Для достаточной проварки дефекта необходимо разделить трещины на всю глубину. Разделка осуществляется вырубкой или шлифованием (механические способы); дуговой или кислородной строжкой или резкой (термические способы).
- Длина разделки должна превышать длину трещины на 5-6 мм. с обеих сторон. Разделка должна плавно выходить на поверхность. Глубина разделки сквозных трещин должна быть на 1-2 мм. меньше толщины изделия.
- Глубина разделки несквозных трещин должна превышать глубину её расположения не менее чем на 1-2 мм.
- После разделки концы трещин необходимо засверлить. Если засверлить трещины нет возможности, то нужно их вырезать, а концы — закруглить.

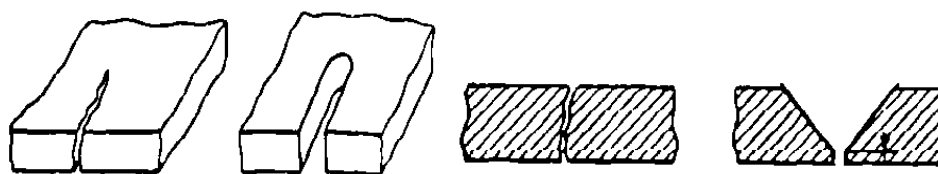


Рисунок 38.1 - Вырезанная трещина

- Скосы кромок толстостенных деталей должны составлять 45 градусов.
  - Кромки не должны иметь острых углов.
- Зачистка свариваемой поверхности от загрязнений проводится наждачной бумагой, болгаркой, щеткой с металлическими ворсинками, пескоструйкой. Устойчивые и сильные загрязнения можно удалить с помощью пламени горелки.

### Технологии сварки чугуна

В зависимости от отсутствия или наличия предварительного подогрева, а также величины температуры прогрева выделяют следующие технологии сварки чугуна:

**Горячая сварка** применяется в промышленных и помогает избежать образования трещин в наплавленном металле. В домашних условиях очень

сложно прогреть изделие до температуры в 600-650°C, так как необходимо специальное оборудование.

Необходимо равномерно нагревать чугунные детали. Разница температур основного изделия и шва может привести к разломам. Перед нагреванием свариваемые конструкции нужно закрепить для устранения напряжения, которое может привести к образованию трещин. Следует избегать нагрева свыше 750°C. При воздействии таких высоких температур металл переходит в стадию расплавления.

Горячая сварка чугуна осуществляется при нагреве детали перед сваркой и медленном охлаждении после сварки. Температура подогрева детали зависит от ее массы и формы, но не должна превышать 650 °С. Нагрев до более высокой температуры вызывает рост графитовых зерен, при нагреве выше 750 °С происходят химические и структурные изменения. Скорость охлаждения должна быть не более 4 °С в секунду от начала затвердевания наплавленного металла до 600°C. При большей скорости охлаждения происходит процесс отбеливания чугуна. До сварки мелких деталей их подогревают до температуры 150...200°C. Нагрев деталей производят в горне, электрических печах или индукционным методом.

**Полугорячая сварка** применяется как в промышленных, так и в домашних условиях. Предварительный нагрев составляет до 400-450°C.

**Холодная сварка.** Согласно технологии предварительный подогрев не требуется. Холодная сварка активно используется в быту, когда специальное оборудование отсутствует, а потребность в сваривании носит эпизодический характер. Однако, соединение, созданное по такой технологии, отличается невысоким качеством.

**Холодная сварка чугуна** выполняется различными способами с использованием как обычных электродов, так и специальных.

### 3. Способы сварки чугуна

**1. Ручная дуговая сварка** может проводиться по горячей, полугорячей и холодной технологиях. Ручная дуговая сварка **горячим методом** осуществляется в несколько этапов:

- подготовка изделия;
- предварительный нагрев детали;
- сварка;
- постепенное охлаждение.

Горячая ручная дуговая сварка может выполняться плавящимися (чугунные стержни, электроды с медной и никелевой основой) и неплавящимися электродами (вольфрамовые, угольные, графитовые).

Для ковкого чугуна применяются электроды марок ОЗЧ-2 и ОЗЧ-6, МНЧ-2, ЦЧ-4.

Для серого чугуна предназначены электроды ОЗЖН-1 и ОЗЖН-2, МНЧ-2, ОЗЧ-2, ОЗЧ-4 и ОЗЧ-6.

Для высокопрочных чугунов - сварочные материалы ОЗЖН, ОЗЧ-3, ОЗЧ-4, МНЧ-2.

Сварка проводится непрерывно на больших величинах тока. *Сварка угольными электродами осуществляется на постоянном токе прямой полярности.*

Основные *недостатки* данной технологии:

- трудоемкость сварочного процесса;
- сложность обеспечения равномерного нагрева конструкции;
- значительная продолжительность работ;
- высокая стоимость всего спектра необходимого оборудования.

Если к металлу шва не предъявляются жесткие требования, можно применять полугорячую и холодную ручную дуговую сварку. Применяемые виды электродов: чугунные, с медной и никелевой основой, электроды общего назначения (стальные).

**2. Полуавтоматическая горячая, полугорячая и холодная сварка чугуна.** Технология MIG проводится в среде инертного газа, а MAG — в среде активного газа.

Суть процесса МИГ/МАГ: сварочная проволока (например, ПП-АНЧ-1, ПП-АНЧ-2, ПП-АНЧ-3) механизированным способом подается в зону электрической дуги, там она расплавляется и образует сварное соединение. В зону дуги подается газ, который защищает сварочную ванну от взаимодействия с атмосферным воздухом.

*Горячий метод* сварки полуавтоматом применяется, когда необходимо качественное соединение с высокими показателями сопротивления разрыву и излому. Для минимизации количества трещин изделие необходимо охлаждать постепенно.

*Полугорячая технология* используется для сварки изделий, испытывающих некоторые нагрузки при эксплуатации.

*Холодный метод* сварки чугуна полуавтоматом отличается простотой, применяется для удовлетворительного сваривания неотчетственных деталей. Непрерывная подача проволоки позволяет выполнять большой объем работ за достаточно короткое время.

**3. Аргодуговая сварка чугуна** (технология TIG) отличается сложностью процесса. Защитным газом является газ аргон. В качестве присадочного материала используются чугунные, никелевые или

алюминиево-бронзовые прутки. Также исполнителю понадобятся вольфрамовые электроды.

Данный способ требует выполнения некоторых требований:

- изделие перед сваркой необходимо нагреть, это предотвратит появление трещин;
- нужно применять небольшие величины переменного тока;
- для контроля температуры следует осуществлять соединение короткими участками;
- каждый шов нужно простукивать (проковывать) молотком для снятия напряжений;
- изделие после сварки должно остывать постепенно и медленно.

**4. Газовая сварка чугуна** выполняется после равномерного и более длительного (по сравнению с дуговой сваркой) прогрева изделия. Скос кромок делается V-образным, угол раскрытия — 90 градусов. Скашивание проводится только при толщине стенок более 4 мм.

В качестве присадочных прутков применяются чугунные стержни. Диаметр стержней высчитывается следующим образом: толщина изделия, мм/2 или толщина изделия, мм/2 + 1 мм. Для газовой сварки чугуна также необходимо использование флюса (например, ФСЧ-1, ФСЧ-2, БМ-1). Присадочный пруток покрывают флюсом, а также флюс подсыпают в сварочную ванну. Флюс выполняет несколько функций:

- защита сварочной ванны от окисления;
- перевод тугоплавких окислов в легкоплавкие шлаки;
- улучшение сплавляемости;
- повышение жидкотекучести металла ванны и шлаков.

Сварочное пламя должно быть нормальным или науглероживающим. Сварка выполняется в нижнем положении. Для обработки крупных деталей желательно использовать две горелки. Медленное остывание чугунных изделий после газовой сварки осуществляется под слоем асбеста

**5. Электрошлаковая сварка** позволяет получить удовлетворительные свойства швов из серого чугуна, без отбеленных участков, трещин, пор и других дефектов. Применяется при исправлении дефектов в крупных чугунных отливках, при изготовлении крупногабаритных изделий из высокопрочных чугунов. Расходными материалами являются литые чугунные пластины в качестве электродов, и фторидные обессеривающие и неокислительные флюсы — в качестве флюсов.

**6. Лазерная сварка** чугуна является безопасным и высококачественным методом. Для получения швов без трещин применяется

две разновидности сваривания:

*Лазерная сварка с индукционным нагревом*, который осуществляется предварительно или во время сварочных работ и позволяет повысить контроль рабочего процесса, в частности снять напряжения; ограничить возникновение трещин; уменьшить излишнюю твердость наплавленного металла; повысить скорость сварки.

*Лазерная сварка с присадкой* эффективна не только при соединении чугунных изделий друг с другом, но и для надежной сварки чугуна и различных типов сталей.

**7. Контактная сварка** применяется для работы с чугунными трубами, подразумевает оплавление и предварительный нагрев концов конструкции.

**8. Плазменная пайко-сварка чугуна.** Для удаления графита из структуры чугуна, который затрудняет смачивание рабочей поверхности расплавленным припоем, используется пескоструйная обработка. Паяемые поверхности следует подготовить — обработать флюсом № 209 или 284 при температуре 600-700°C. Затем изделие необходимо обезжирить ацетоном, бензином или раствором щелочи. Пайка проводится паяльником или газовой горелкой с применением флюсов на основе хлористого цинка. При низкотемпературной пайке используются оловянно-свинцовые или другие легкоплавкие припои, при высокотемпературной — припои на основе меди или серебряные припои.

#### 4. Сварка чугуна электродами

*Сварка чугуна стальными электродами* (для сварки сталей) является наиболее доступной, но при этом может быть низкое качество сварного соединения. Причины заключаются в плохом соединении стали с чугуном из-за разной их усадки, в обогащении углеродом наплавленной стали и поэтому ее хрупкости, податливости к закалке и появлению трещин. В результате перешедших из чугуна элементов в металл шва он представляет собой закаленную высоколегированную сталь со значительным содержанием таких элементов, как кремний, марганец, иногда фосфор и сера, что и способствует образованию трещин в шве.

При быстром охлаждении при холодной сварке происходит увеличение твердости наплавленного металла и металла зоны термического влияния, где чугун приобретает структуру белого чугуна с повышенной твердостью и хрупкостью.

В металле шва могут появляться поры из-за повышенного содержания газов в чугуне, что вместе с трещинами снижает прочность сварного соединения. В то же время место сварки, выполненное стальными

электродами, не поддается механической обработке режущим инструментом.

Недостатки данного метода устраняет многослойная наплавка при сварке, при этом уже третий наплавленный слой становится исходным материалом электрода.

Для улучшения качества сварного соединения применяют электроды малого диаметра и понижают величину силы тока для уменьшения теплового воздействия на чугун, при этом сварку ведут короткими участками вразброс, чтобы меньше проплавливать чугун.

Перед сваркой сильно нагруженных корпусов, например, коробок передач, с целью усиления связи наплавленного металла с чугуном, на разделанные кромки и трещины ставят стальные шпильки на резьбе в шахматном порядке (рисунок 38.2). Диаметр шпильки рекомендуется принимать равным  $0,15...0,20$  толщины стенки, но не менее диаметра стержня электрода. Расстояние между шпильками принимают равным  $4...6$  диаметрам шпильки, глубину посадки —  $2$  диаметрам шпильки, расстояние от кромок —  $1,5...2$  диаметрам.

Выступающие части шпилек обваривают по периметру, постепенно заполняя весь шов.

Сначала ведется обварка всех шпилек кольцевыми швами вразброс для избегания сильного местного перегрева. Затем вокруг места их обварки накладывают кольцевые швы до тех пор, пока вся поверхность завариваемого участка не будет покрыта слоем наплавленного металла.

Для обварки шпилек и нанесения слоя наплавленного металла применяют электроды малого диаметра ( $3...3,5$  мм), а для окончательной заварки трещины можно применять электроды диаметром  $4...6$  мм.

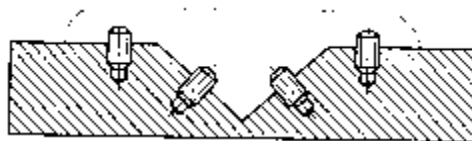


Рисунок 38.2 - Подготовка к заварке трещины в чугуне с применением шпилек

Толщина слоя наплавленного металла в месте сварки должна быть не больше толщины стенки детали в этом месте, так как прочность наплавленного металла электрода в два раза больше прочности чугуна, и при большой толщине слоя наплавленного металла могут быть усадочные напряжения и опасность появления трещин.

Не следует допускать нагрев свариваемой детали выше  $40...50$  °С на расстоянии  $100$  мм от шва, так как чрезмерный нагрев приводит к образованию трещин.



Для стойкого соединения наплавленного шва с чугуном рекомендуется применять электроды типа ЦЧ-4 для первых слоев в разделке трещины или для обварки шпилек, а для последующих слоев — электроды типа УОНИ-13/55 или другие со стержнем из низкоуглеродистой стали.

Для сварки чугуна успешно применяются электроды на основе никеля, при этом отсутствуют трещины и наплавленный металл хорошо поддается обработке, так как никель неограниченно растворяется в железе и его соединения содержат углерод без образования карбидов.

Электроды типа ОЗЖН-1, содержащие до 48% никеля, предназначены для холодной сварки серого и высокопрочного чугуна и рекомендуются для устранения дефектов в ответственных деталях.

Применяются также электроды марок ОЗЧ-3, ОЗЧ-4, содержащие более 90% никеля.

*Электроды на основе меди* применяются, когда не требуется высокая прочность сварного шва. Медь не образует соединений с углеродом, но не растворяется в железе, поэтому наплавленный шов неоднороден и включает высокоуглеродистое железо высокой твердости.

*Медно-железные электроды ОЗЧ-2, ОЗЧ-6* представляют собой стержни из меди с фтористо-кальциевым покрытием, содержащим 50% железного порошка. Такие электроды применяют для заварки трещин в ответственных деталях, например, в водяных рубашках блоков двигателей.

Перед заваркой трещины ее засверливают по концам и разделяют под углом 80° на 2/3 толщины детали, края трещины зачищают. Сварка ведется на постоянном токе обратной полярности короткой дугой с перерывами для охлаждения детали до температуры 50...60 °С.

Участки длиной 40...60 мм сразу после сварки проковывают для получения более плотного шва. Наплавленный слой представляет собой медь, насыщенную железом с вкраплением стали большой твердости. Шов можно обрабатывать инструментом из твердого сплава.

*Медно-никелевые электроды МНЧ-2* представляют собой стержни из металла, содержащего 28% меди, 2,5% железа, 1,5% марганца, остальное — никель. Никель электродов не образует соединений с углеродом, и наплавленный металл получается малой твердости, почти отсутствует зона отбеленного чугуна, а зона закаленного чугуна имеет невысокую твердость, которая может быть снижена небольшим отпуском. В шве меньше пор и трещин и его легче обрабатывать, но его прочность получается низкой.

По этим причинам медно-никелевые электроды можно применять с медно-железными электродами, при этом при сварке первый и последний слои шва наносят медно-никелевыми электродами, чтобы в первом случае

обеспечить плотность, а в последнем — улучшить обработку, а остальное заправляют медно-железными электродами. Способ наплавки медно-никелевыми электродами такой же, как и медно-железными электродами.

***Контрольные вопросы:***

1. Какие марки серых и ковких чугунов Вы знаете?
  2. Что затрудняет сварку чугуна?
  3. Какие меры предотвращают отбеливание чугуна при сварке?
  4. Что применяют при сварке чугуна в качестве присадочного металла?
  5. Почему при сварке чугуна в качестве присадочного металла используют низкоуглеродистые электроды и проволоки?
  6. Назовите марки электродов для холодной сварки чугуна;
  7. При каких температурах предварительного подогрева выполняется горячая сварка чугуна?
  8. Технология и материалы горячей сварки чугуна.
- Технология и материалы для холодной и полугорячей сварки чугуна.