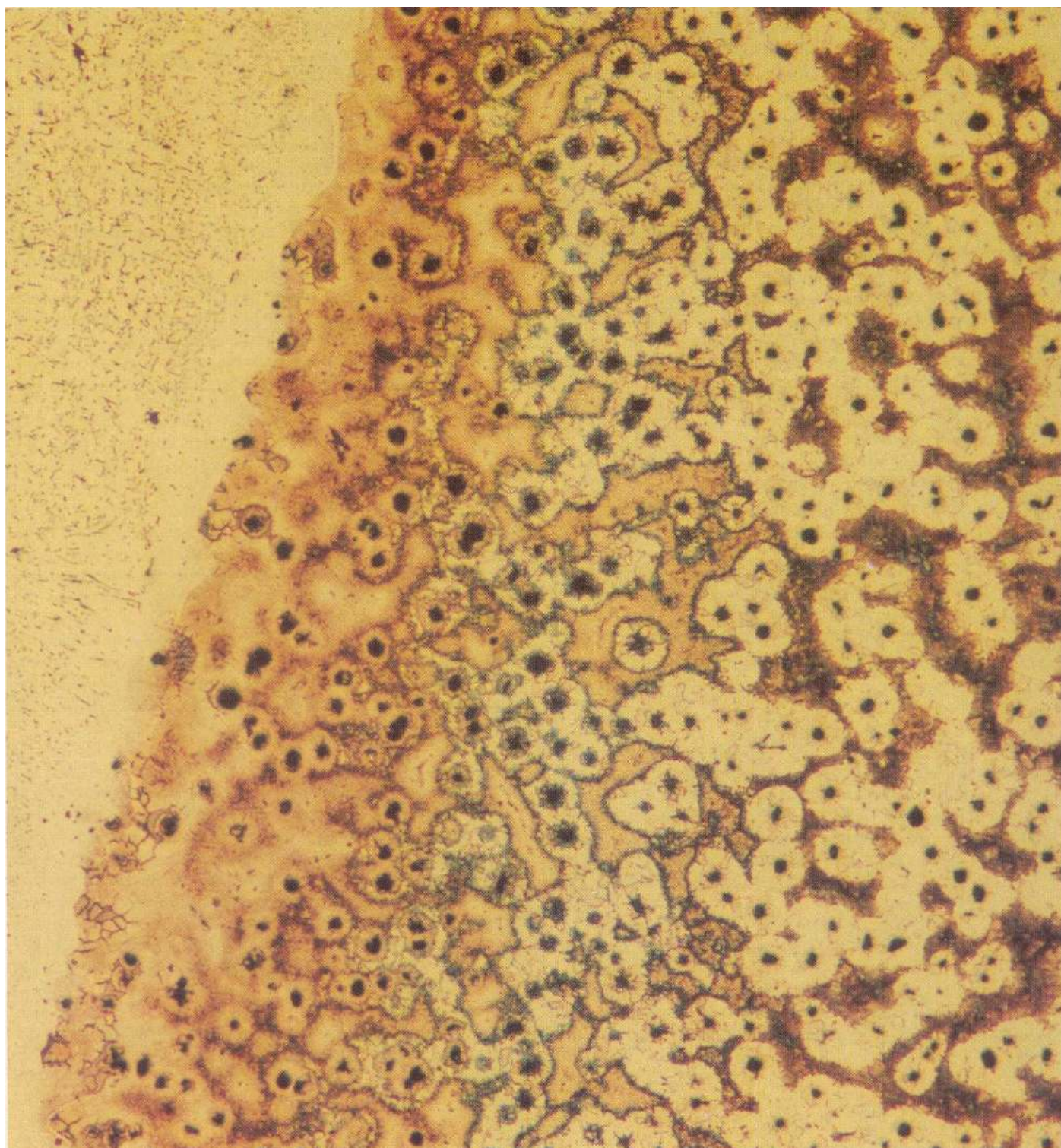


Сварка чугуна штучными покрытыми электродами



1. Что такое чугун

1.1. Введение

В зависимости от содержания углерода в чугуне, температура его плавления колеблется от 1534°C (цементит) до 1147°C (C=4,3%). Этот эффект снижения температуры плавления используется в промышленности для изготовления отливок из чугуна.

Следовательно, в литой чугун обладает высоким содержанием углерода (от 2 до 5%), что сильно влияет на его свариваемость. К тому же, содержание в чугуне соединений фосфора и серы обычно выше, чем у обычных сталей, что также влияет на его свариваемость.

Чистый чугун, легированный 2-5% углерода, обладает низкой пластичностью, низкой твердостью и низкой прочностью, и в целом является очень хрупким материалом. Для того чтобы улучшить эти характеристики (и придать такие дополнительные свойства, как жаро- коррозионо- и износостойкость), чугун обычно подвергают дополнительному легированию и/или термической обработке. В зависимости от сочетания легирующих элементов, он превращается в какой либо из нижеперечисленных типов.

- Серый чугун
- Белый чугун
- Ковкий чугун
- Чугун с шаровидным графитом
- Уплотненный серый чугун
- Высоколегированный чугун

1.2. Серый чугун

Серый чугун является одним из наиболее распространенных типов (около 70% чугунных изделий производятся из серого чугуна). Его микроструктура представляет собой графитовые чешуйки, заключенные в матрицу из феррита перлита или их смеси. Графит обладает прочностью, близкой к нулю, поэтому разрушение всегда происходит по этой фазе, а из-за того что графит имеет серый цвет, поверхность излома также выглядит серой. Отсюда и его название. Серый чугун обычно содержит до 4,5% C и до 3% Si. Для получения данного типа чугуна отливка должна охлаждаться с медленной скоростью. Некоторые старые типы этого чугуна содержат достаточно высокое количество фосфора и серы, которые еще больше затрудняют сварку. Однако в современных отливках их содержание не высоко, а потому сварка такого чугуна обычно не вызывает больших затруднений.

1.3. Белый чугун

Белый чугун обладает наиболее высокой твердостью и соответственно износостойкостью и используется в тех изделиях, для которых данные свойства наиболее важны. У него тот же химический состав, что и у серого чугуна, но с более низким содержанием кремния. Иногда его дополнительно легируют карбидостабилизаторами, такими как Cr, Mo и V. По микроструктуре он представляет собой карбиды, распределенные в мартенситной или перлитной матрице. Карбиды очень твердые и хрупкие, а данная фаза на изломе имеет белый цвет. Отсюда и его название. Данный тип чугуна получается при быстром принудительном охлаждении. Данный материал идентифицируется как несвариваемый, однако положительные результаты можно получить при наплавке поверхностей дробильных роликов проволокой ОК Autrod 12.51. Необходимая твердость достигается в процессе плавления белого чугуна за счет перехода углерода в нелегированный металл наплавки. Однако сваривать белый чугун не рекомендуется.

1.4. Чугун с шаровидным графитом (высокопрочный чугун)

Чугун с шаровидным графитом имеет тот же состав, что и серый, однако обладает более высокой чистотой. Добавка в его состав небольшого количества магния приводит к тому, что графит приобретает сферическую форму, создавая равномерную мелкодисперсную структуру, цвет излома такой же как у серого чугуна. Изделие из этого чугуна необходимо подвергать отжигу, после которого его механические свойства аналогичны низкоуглеродистой стали. Из-за этого варить данный чугун не так сложно. Однако необходимо учитывать, что сильное термическое воздействие, возникающее при сварке, в сочетании с разбавлением металла шва чугуном, требует применения специальных электродов и четкого соблюдения технологии сварки.

1.5. Уплотненный серый чугун

Уплотненный серый чугун занимает промежуточное положение между серым и высокопрочным чугуном. Он получается путем строго дозированного добавления в серый чугун магния, титана и церия. Он обладает такой же свариваемостью, как и серый чугун.

1.6. Ковкий чугун

Ковкий чугун получают путем длительной термической обработки белого чугуна, за счет чего ему придаются более высокие пластические свойства, чем у серого чугуна. Содержание в нем углерода и кремния ниже, чем у серого чугуна, что гарантирует получение структуры белого чугуна при его кристаллизации. Микроструктура представляет собой совокупность включений графита неопределенной хлопьевидной формы, распределенных по ферритной, перлитной или отпущенной мартенситной матрице. Механические свойства аналогичны высокопрочному чугуну. При сварке ковкого чугуна высока вероятность образования тонкой прослойки из белого чугуна в сварном шве и частично по зоне термического влияния (ЗТВ), прилегающей к линии сплавления. Но в большинстве случаев это не является серьезной проблемой. Однако, часто, для лучшей свариваемости деталей из этого чугуна, их подвергают обезуглероживающей термообработке.

1.7. Высоколегированный чугун

Легирующие элементы добавляются в чугун для получения таких свойств как жаро- коррозионо- и износостойкость и повышения прочности. Например, известны такие марки как: «Ni-resist» (коррозионостойкий), «nicrosilal» (жаростойкий), «meehanite» (высокопрочный). Свариваемость этих чугунов аналогична высокопрочным чугунам с шаровидным графитом. Однако, существует особый тип чугунов «Ni-hard», который также как и белый чугун относится к классу несвариваемых.

2. Факторы, влияющие на свариваемость

2.1. Введение

Белые и «Ni-hard»-типа чугуны из-за высочайшей хрупкости трескаются при попытке их сварить. Большие трудности возникают также при сварке ковкого чугуна из-за образования пористости, т.к. данные чугуны содержат в себе много газов. Остальные типы чугунов, при соблюдении технологии, можно достаточно успешно сваривать. Для получения положительного результата при сварке необходимо минимизировать влияние следующих факторов:

- Напряжения, возникающие при охлаждении
- Сложность формы отливки
- Образование хрупких структур в ЗТВ
- Переход углерода в шов из основного металла
- Пропитка чугуна маслом

2.2. Напряжения, возникающие при охлаждении

Наплавленный металл шва при охлаждении сжимается. Величина этой усадки обычно больше чем соответствующая усадка чугуна. Из-за того что чугун обладает высокой хрупкостью, а в шве образовались усадочные напряжения, можно ожидать образования трещин.

2.3. Сложность формы

Отливки из чугуна обычно проектируются максимально жесткими. Они редко имеют одинаковую толщину и обычно имеют сложную форму с резкими переходами от одной толщины к другой. Таким образом, эти изделия не очень хорошо воспринимают локальные усадки, а учитывая низкую пластичность основного материала, существует вероятность их повторного излома (чугуны с шаровидным графитом, из-за их большей пластичности, менее чувствительны к данному фактору).

2.4. ЗТВ и линия сплавления

Зона термического влияния (ЗТВ), образующаяся при сварке, будет иметь повышенную твердость из-за высокого содержания углерода в чугуне. Твердость нерасплавленной зоны термического влияния в основном зависит от скорости охлаждения, а ее ширина от величины удельного тепловложения.

Часть ЗТВ, прилегающей к линии сплавления, практически состоит из закристаллизовавшегося металла. Микроструктура этой зоны весьма неоднородна и состоит из смеси мартенсита, аустенита, первичного карбида и ледебурита внутри которого находятся частично растворенные чешуйки или хлопья графита. Эта зона является наиболее твердой во всем сварном соединении. Ее величина и твердость обычно зависят от пиковой температуры нагрева, удельного тепловложения и скорости охлаждения при сварке. Пиковая температура соответствует температуре катодного (реже анодного) пятна при сварке штучным электродом и не зависит от типа выбранного сварочного материала, следовательно, свойства этой зоны в основном зависят от величины удельного тепловложения и скорости ее охлаждения.

2.5. Переход углерода в шов из основного металла

Разбавление металла шва основным металлом может привести к переходу углерода из чугуна в наплавленный металл. Это также может привести к изменению концентрации в сварном шве соединений серы и фосфора, если они присутствуют в чугуне.

2.6. Пропитка чугуна маслом

Масло, проникающее внутрь чугуна, может адсорбироваться на графите и в микропорах. В процессе сварки масло может испаряться и приводить к образованию пор в шве.

3. Как контролировать влияние этих факторов

3.1. Напряжения, возникающие при охлаждении

Влияние напряжений, возникающих при охлаждении, может быть снижено за счет:

Сварки на оптимальных режимах.

Сварку необходимо выполнять короткими швами на минимальных токах и четко соблюдать последовательность наложения швов. При снижении объема охлаждаемого металла снижаются, возникающие при этом, напряжения. Следовательно, короткие швы более предпочтительны в сравнении с более длинными. Поперечные колебания электрода приводят к увеличению этого объема, что приводит к увеличению этих напряжений. Потому сварка без поперечных колебаний является более предпочтительной.

При многопроходной сварке следующий проход нагревает предыдущий, частично снимая напряжения, которые предыдущий проход вызвал.

Еще одним способом снижения удельного тепловложения, применяемого на практике, является сварка в положении вертикаль на спуск. Например, электроды ОК 92.60 позволяют выполнять сварку в этом пространственном положении.

Применение сварочных материалов, обеспечивающих пластичную наплавку.

Остаточные напряжения в наплавленном металле обычно находятся на уровне предела его текучести. Следовательно, присадочные материалы с меньшим пределом текучести будут создавать в сварном соединении меньшие остаточные напряжения в сравнении с более высокопрочными.

Использование предварительного подогрева

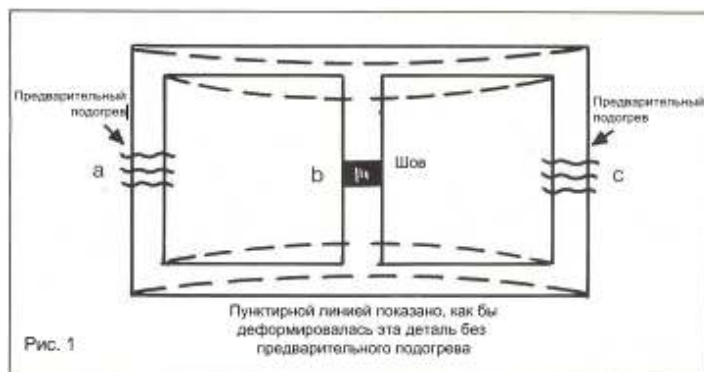
Обычно предел текучести большинства материалов снижается при увеличении температуры. Следовательно, если остаточные напряжения, возникающие после охлаждения шва, будут полностью уравновешены в наплавленном металле при более высокой температуре, чем комнатная, величина результирующих напряжений будет ниже. Следовательно, за счет предварительного подогрева можно снизить величину остаточных напряжений.

Проковка

Проковка создает сжимающие напряжения в сварном шве, которые уравновешивают растягивающие напряжения, возникающие в процессе сварки. Это наиболее часто применяемый технологический прием, направленный на предотвращение образования трещин при сварке чугуна.

3.2. Сложность формы отливки

Для того чтобы предотвратить образование трещин в чугунных заготовках, соединяемых дуговой сваркой, из-за возникающих в них усадочных напряжений, часто используется технологический прием, связанный с предварительным их подогревом, направленным на компенсацию этих напряжений. Такой тип предварительного подогрева обычно называют косвенным подогревом. На рис. 1 показан принцип такого подогрева, основная идея которого



заключается в том, что лучше нагреть большой объем металла на небольшую температуру, чем локальную зону до высокой температуры. Однако, если необходим локальный подогрев до высокой температуры, необходимо применять мягкие сварочные материалы.

Когда надо выполнить сварку сложных чугунных деталей, сильно отличающихся по толщине, необходимо выполнять предварительный подогрев всего изделия до температуры красного свечения. Если такой подогрев выполнить невозможно, во многих случаях ремонт подобных изделий можно успешно выполнить, подогрев изделие до меньшей температуры в сочетании с локальным нагревом стыка. Любой предварительный подогрев необходимо выполнять максимально медленно для обеспечения равномерного нагрева всего чугунного изделия, подвергаемого ремонту. Общий нагрев изделия до температуры около 600°C необходимо производить в подходящих для данной задачи печах, нагреваемых газом или углем.

Вывод. В большинстве случаев, изделия из чугуна сложной формы необходимо подвергать общему равномерному нагреву.

3.3. ЗТВ и линия сплавления

Твердость ЗТВ можно понизить за счет предварительного подогрева. Однако, для того чтобы достаточно снизить эту твердость, изделие из чугуна необходимо подогреть до 500°C. Твердость зоны сварного соединения, прилегающей к линии сплавления и подвергающейся неполному плавлению, может быть снижена за счет сокращения времени пребывания материала при пиковых температурах, т.е. за счет сварки на пониженных токах.

3.4. Переход углерода в шов из основного металла

При сварке чугуна всегда происходит миграция углерода из основного металла в шов. На практике применяются два способа минимизации этого эффекта.

1. Высокотемпературный предварительный подогрев в сочетании с медленным охлаждением снижает эффект от нежелательного перехода углерода. Это актуально при сварке сварочными материалами на железной основе.
2. Использовать сварочные материалы, для которых этот переход углерода неопасен. Это наиболее распространенный способ, для которого, как правило, применяются сварочные материалы на никелевой основе.

3.5. Пропитка чугуна маслом

Масло, впитавшееся в чугун, ни какими методами обезжиривания невозможно удалить, а потому растворителями масло можно удалить только с поверхности чугунного изделия. Масло можно выжечь за счет относительно длительной выдержки изделия при температуре около 500°C. Время выдержки обычно составляет 4-8 часов.

В большинстве случаев это не представляется возможным. В таком случае строжка электродами ОК 21.03 может дать достаточно хороший результат.

Если пористости избежать не удастся, лучшим способом получения сплошного шва является многократная выборка наплавленного металла и повторная его пересварка до тех пор, пока поры не перестанут образовываться.

4. Технология сварки

4.1. Очистка

Все поверхности перед сваркой необходимо очистить. Чугун и так сам по себе является не очень прочным материалом, и пренебрежение этой важной процедурой может еще сильнее снизить прочность сварного соединения.

- Масло, смазки и т.п.

Если свариваемые поверхности тщательно не очищены химическим или каким-либо еще способом, это может привести к образованию пористости.

Если чугун длительное время контактировал с маслом (например, шестерни или корпуса редукторов, залитых маслом), оно может адсорбироваться на графите и микропорах. Таким путем он проникает внутрь чугуна. Удалить это масло, которое в процессе сварки будет испаряться, химическими растворителями невозможно. Масло из подобных изделий необходимо выжечь. Этого можно добиться, выдержав чугунное изделие при температуре 400-500°C в течение нескольких часов.

Однако это не всегда возможно, поэтому в подобных случаях строжка электродами ОК 21.03 может дать достаточно хороший результат за счет локального выгорания масла. Кроме того, такая строжка дает наиболее оптимальную конфигурацию кромок стыка.

- Грязь, окалина, краска и т.п.

Удаление подобных загрязнений является обычной процедурой перед сваркой. Кроме того, надо помнить, что никелевые сварочные материалы, применяемые для чугунов, более чувствительны к таким загрязнениям, чем материалы на основе нелегированных сталей.

Поэтому убедитесь, что свариваемые поверхности тщательно зачищены. Кроме того, рекомендуется зачищать кромки на ширине 20 мм от стыка.

4.2. Разделка кромок

- Угол разделки чугунных кромок должен быть больше, чем у углеродистых сталей, и может достигать до 80-90°
- Все острые кромки необходимо скруглить, для минимизации концентрации в них тепла.
- Обычно U-образная разделка является более предпочтительной по сравнению с V-образной. Это основная причина, почему строжка при подготовке чугунных кромок под сварку, является более предпочтительной, по сравнению с другими способами разделки кромок.
- Трещина должна быть полностью разделана под сварку. Обычно зазор 2-3 мм в корне выдерживается очень легко. Применяйте электроды ОК 21.03 для разделки всех трещин.
- Дефекты типа свищей должны быть полностью вскрыты и вычищены.

Разделка кромок под сварку чугуна

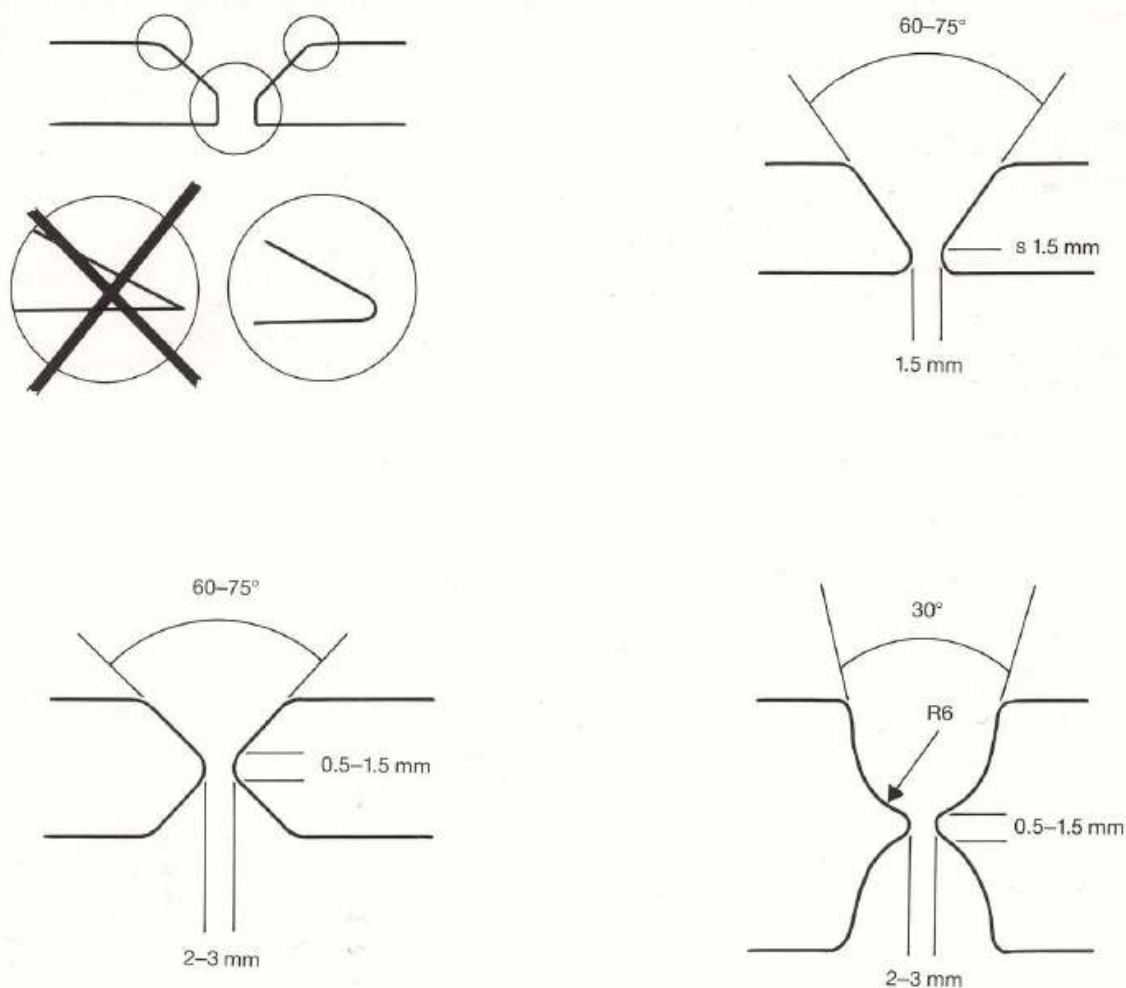


Рис. 2

4.3. Предварительный подогрев

4.3.1. Разновидности предварительного подогрева

Тем не менее, положительный результат сварки чугунов можно получить без предварительного подогрева не опасаясь образования трещин из-за высокой жесткости или низкой пластичности, особенно это касается изделий сложной формы, для которых излишний предварительный подогрев может привести к отрицательному результату.

Существуют три разновидности предварительного подогрева чугуна: **Местный подогрев**, применяется для снижения скорости охлаждения сварного стыка.

Общий подогрев, для снятия внутренних напряжений и снижения скорости охлаждения шва. Если эта температура превышает 450°C, происходит небольшой рост пластичности, которая растет с дальнейшим ростом температуры. Он применяется для некоторого снижения напряжений и сильно снижает остаточные деформации, а соответственно и риск образования трещин, а также твердость сварного шва и ЗТВ.

Косвенный подогрев, рекомендуется, если локальное расширение отдельной части чугунного изделия представляет опасность, и применяется для выравнивания напряжений, возникающих в изделии при сварке.

4.3.2. Уровни предварительного подогрева

Подогрев до любого уровня обычно является полезным. Однако, в зависимости от температуры, их можно подразделить на несколько основных уровней:

- Подогрев до комнатной температуры

Предохраняет изделие от выпадения конденсата влаги из воздуха на его поверхность, если чугун имел более низкую температуру.

- 80-100°C

Подогрев изделия до 80-100°C позволяет просушить ее поверхность и избежать насыщения чугуна водородом из влаги воздуха.

- 200-250°C

Подогрев изделия до 200-250°C рекомендуется при сварке высокопрочного чугуна для предотвращения образования мартенсита по ЗТВ. Подогревать этот чугун до более высоких температур не имеет смысла. Иногда это может оказаться даже опасным, например подогрев до 300-500°C может привести к выпадению дозвектоидного цементита, что приведет к снижению пластичности.

- До 500°C

Косвенный подогрев применяется для всех температурных уровней до 500°C. Чем выше эта температура, тем медленнее должны происходить нагрев и охлаждение.

- 500-600°C

Подогрев до 500-600°C используется при сварке обычного и уплотненного серого чугуна и позволяет получить минимальную твердость по ЗТВ.

4.4. Сварка

4.4.1. Введение

Как было упомянуто выше, сварка может выполняться в сочетании с различными уровнями подогрева. При этом действует основное правило: чем выше уровень предварительного подогрева, тем менее жесткие требования предъявляются к процедуре сварки. Для простоты понимания мы разделили сварку чугуна на три вида, в зависимости от температурного уровня подогрева:

- При комнатной температуре (**холодная сварка**)

- 250°C (**полугорячая сварка**)

- 500°C (**горячая сварка**)

Дополнительно нам необходимо подразделить швы на три типа наплавки:

Переходный (буферный) слой

Однопроходная сварка

Многопроходная сварка

4.4.2. Переходный слой

Для некоторых случаев сварки технология «переходного слоя» имеет неоспоримые преимущества. Вкратце это значит, что одна или обе свариваемые поверхности перед сваркой подвергаются предварительному плакированию. Причинами использования данной технологии могут также являться металлургия и Рис. 3А

Металлургия

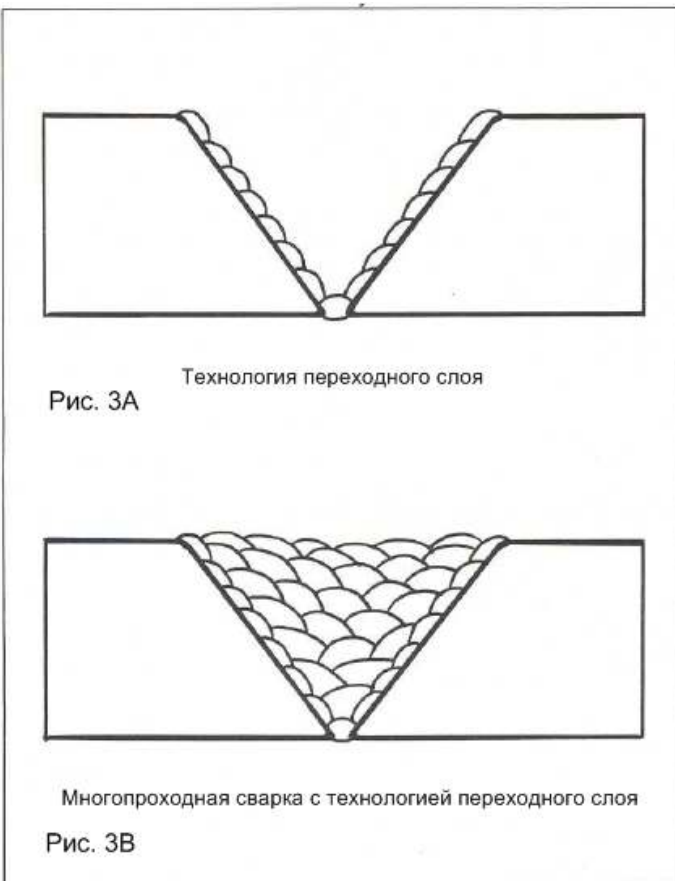
Предотвратить образование хрупких фаз при сварке разнородных материалов.

Механические свойства

Основная идея состоит в том, что остаточные напряжения, возникающие после охлаждения шва, основное свое воздействие сосредотачивают на пластичном буферном слое, а не на хрупкой структуре ЗТВ основного металла. (Конечно, ЗТВ основного металла все равно будет подвергаться воздействию этих остаточных напряжений через переходный слой, однако расстояние до этой зоны будет больше, и твердые фазы в ЗТВ будут подвергаться отжигу).

Буферный слой в основном применяется при:

Многопроходной сварке, для того чтобы облегчить технологию наплавки заполняющих слоев Рис.3В. Это в основном обуславливается следующими факторами:



- Воздействие усадочных напряжений от заполняющих проходов, возникающих при охлаждении шва, в основном концентрируется на переходном слое, тем самым снижая величину этих напряжений и риск образования трещин.

- Тепло от последующих слоев будет отжигать ЗТВ в чугуне, и понижать напряжения, возникшие в предыдущих слоях.

- Металл шва не разбавляется чугуном, т.к. они изолированы друг от друга буферным слоем.

Сварке чугуна с другим металлом, например со сталью, с медным или никелевым сплавом для того чтобы обеспечить хорошее сплавление кромок.

Ремонт обширных поверхностных дефектов, получившихся при механической обработке или литье чугунного изделия, от воздействия внешних механических факторов и т.п. Идея состоит в наплавке на этот дефект буферного слоя, который накладывается короткими валиками без поперечных колебаний с последующей немедленной проковкой. При дальнейшей наплавке на эти дефектные участки соблюдения таких жестких технологических рекомендаций уже не требуется.

Сварке жестко защемленной конструкции, например приварка заплатки из низколегированной стали вместо удаленного дефектного участка чугунного изделия.

4.4.3. Однопроходная сварка

При однопроходной сварке весь наплавленный металл находится в контакте с чугуном. Кроме того, не происходит отпуска ЗТВ от последующих слоев наплавки. Потому процедуры сварки и/или предварительного подогрева должны быть четко продуманы и выдержаны.

Холодная сварка

Твердость ЗТВ будет зависеть от скорости охлаждения стыка. И единственный способ ее снижения при отсутствии предварительного подогрева – это сварка с более высоким удельным тепловложением. Однако это повлечет за собой увеличение размеров сварочной ванны и нежелательному росту усадочных напряжений, что значительно опаснее, чем твердость ЗТВ.

А потому не следует варить чугун на режимах с высоким удельным тепловложением!

Вместо этого надо стремиться к тому, чтобы толщина ЗТВ была минимальной, насколько это возможно, чтобы минимизировать размеры этой опасной зоны, а усадочные напряжения необходимо нейтрализовать. Поэтому для данного типа сварки особенно важно придерживаться следующих технологических рекомендаций:

- Сварку надо выполнять без поперечных колебаний электрода короткими продольными швами длиной по 2-3 см
- Предпочтение отдавать электродам малого диаметра, а сварку выполнять на минимальных значениях тока
- Сварку предпочтительнее вести на постоянном токе обратной полярности (DC+), т.к. в этом случае доля участия основного металла минимальна, в частности при сварке серого чугуна электродами на основе чистого никеля.
- Перед наплавкой следующего валика необходимо дождаться, чтобы температура валика и околошовной зоны опустилась ниже 100°C
- Сварку необходимо выполнять обратноступенчатым способом (см. рис. 4)
- Наплавленный валик сразу после сварки необходимо проковать инструментом со скругленным бойком. При остывании, большинство наплавленных сварочных материалов создают усадочные напряжения, которые вызывают высокий риск образования трещин. Потому проковку необходимо выполнять, пока наплавленный валик еще имеет красное свечение. Очень важно чтобы удары при проковке наносились не перпендикулярно наплавленному валику, а с оттяжкой вдоль оси валика от его конца к началу. Данная операция проковки позволяет снизить вероятность образования трещин.

Полугорячая сварка

Данный вид подогрева используется в основном при сварке высокопрочных чугунов, а потому нижеприведенные рекомендации ориентированы именно на этот тип материалов. Упомянутый выше тип подогрева позволяет снизить скорость охлаждения, а следовательно и твердость ЗТВ. Однако это снижение твердости происходит при подогреве только до уровня температуры в 250°C, а потому рекомендации прописанные в разделе 3.1. необходимо соблюдать, хотя и не на столько жестко.

- Межпроходную температуру необходимо поддерживать на уровне 250°C
- Сварку необходимо выполнять короткими прямолинейными валиками без поперечных колебаний электрода. Максимальная длина валика 50 мм
- Сварку предпочтительнее выполнять обратноступенчатым способом, как это показано на рис. 4
- Сварку можно выполнять на более высоких токах, чем при холодной сварке, однако предпочтение следует отдавать более тонким электродам и не завышать ток сварки
- Необходимо выполнять операцию проковки (см. раздел 3.1.)
- Необходимо обеспечить медленную скорость охлаждения изделия!

Горячая сварка

Сварка с подогревом до данного уровня температур используется достаточно редко, т.к. подобному подогреву, как правило, можно подвергать только изделия небольшого размера. Горячая сварка в основном применяется при сварке обычных и уплотненных серых чугунов. Однако для уплотненных чугунов эта температура не должна превышать 350°C.

- Сварка можно выполнять также как и сварку нелегированных сталей, за исключением операции проковки наплавленного валика.
- Электроды ОК 92.60 более предпочтительны по сравнению с ОК 92.18, т.к. при такой высокой температуре предварительного подогрева увеличивается доля участия основного металла в шве, а ОК 92.60 в отношении этого фактора более выносливы.
- Необходимо обеспечить медленную скорость охлаждения изделия!

4.4.4. Многопроходная сварка

- Все наплавленные валики, находящиеся в физическом контакте с чугуном, в обязательном порядке должны наплавляться с соблюдением всех технологических рекомендаций, которые предписаны для однопроходной сварки.
- Последующие заполняющие проходы не должны соприкасаться с чугуном, а только наплавляться на уложенные перед ними слои.
- Наилучшие результаты при многопроходной сварке получаются в сочетании с технологией наплавки переходного слоя (см. рис.3)

4.5. Послесварочная термообработка

Наиболее распространенный вид послесварочной термообработки – это отпуск для снятия напряжений. Вопрос только в том, улучшит ли она в данном конкретном случае свойства сварного соединения или нет, хотя данный технологический прием весьма распространен, и, обобщая опыт его применения, можно сказать, что результат в основном получается положительный.

Термообработку обычно выполняют для снижения твердости сварного соединения. На практике при сварке чугунных изделий это обычно используется при использовании сварочных материалов на железной основе.

4.6. Охлаждение

В связи с тем, что чугун имеет более низкий коэффициент линейного расширения (в сравнении с металлами тех сварочных материалов, которые обычно используются для его сварки), а также из-за того что чугунные отливки очень часто имеют достаточно сложную форму, всем свариваемым чугунным изделиям необходимо обеспечивать медленную скорость охлаждения.

Скорость охлаждения можно снизить, поместив сваренное чугунное изделие в сухие древесные опилки, вермикулит, горячий сухой песок или обратно в печь, в которой производился предварительный подогрев.

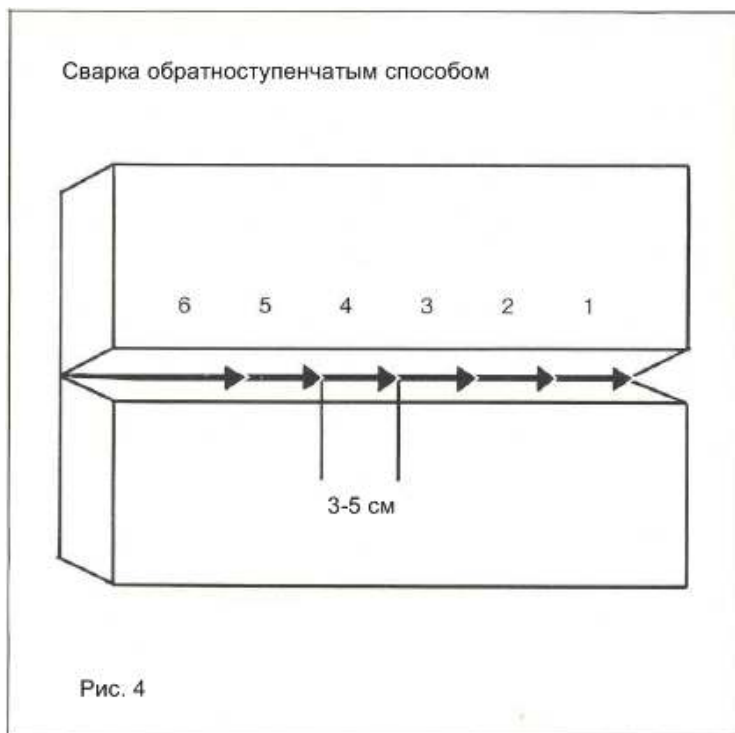


Рис. 4

5. Некоторые общие рекомендации

5.1. Дефекты литья

Эти дефекты, как правило, представляют собой каверны и газовые раковины.

- Прежде чем выполнять сварку, эти дефекты необходимо разделить и вычистить из них грязь, например пригоревший формовочный песок.

- Для заполнения этих полостей рекомендуется применять электроды ОК 92.18, ОК 92.58 или ОК 92.60.

5.2. Выполнение ремонтных работ

5.2.1. Введение

Отремонтированные чугунные изделия можно условно подразделить на две группы, наплавленный металл которых в процессе дальнейшей эксплуатации не будет подвергаться высоким нагрузкам и те, которые предназначены для эксплуатации под рабочими напряжениями.

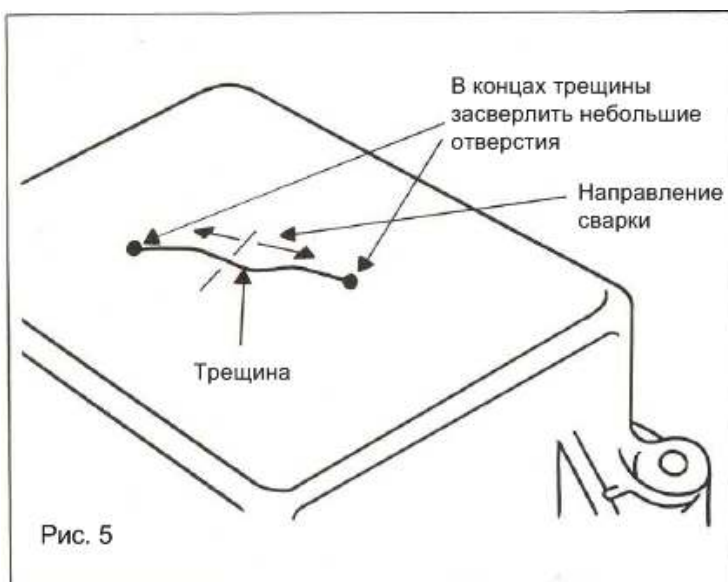
Если ремонтируемый узел не испытывает серьезных нагрузок, то его ремонт обычно заключается в удалении и заварки дефектного участка металла без дополнительного упрочнения отремонтированной зоны.

Когда ремонтируемый узел должен при дальнейшей эксплуатации воспринимать высокие нагрузки, то при его ремонте часто применяются дополнительные упрочняющие элементы, т.к. прочностных свойств чугуна подвергшегося сварке обычно недостаточно.

5.2.2. Трещина (невысокие нагрузки)

Необходимо точно определить протяженность трещины. Основное правило подготовки под сварку заключается в том, что длина удаляемого участка дефектного металла должна быть больше протяженности трещины, причем надо убедиться в том, что трещина была удалена в полном объеме.

На практике успешно применяют следующий технологический прием, когда точно по концам трещины аккуратно сверлят небольшие отверстия (~3 мм), чтобы предотвратить ее развитие в процессе ремонта. Удаление дефектного участка и его заварка не требуют больших трудозатрат, а потому в большинстве случаев рекомендуется разделять один из концов трещины до кромки отливки. В случаях, когда трещина распространяется от края изделия, сварку необходимо начинать от вершины раскрытия трещины в направлении к ее наружному краю. При любом типе ремонта следует очень четко продумывать, с какой точки должна начинаться сварка. Типичный пример ремонта трещины в чугунной отливке от ее центра к вершинам показан на рис. 5.



Фиксация свариваемых деталей

Любая свариваемая поверхность во время сварки должна быть жестко механически зафиксирована относительно другой. Если этого не сделать, любая деформация сваренных кромок может привести к образованию в них трещины.

Один очень характерный пример показан на рис.6 – ремонт опоры литого чугунного корпуса электродвигателя. Если привариваемая опора не будет зафиксирована во время сварки в одной плоскости с остальными опорами, то с высокой степенью вероятности следует ожидать перелома этой плоскости по линии шва. Когда мы, при монтаже электродвигателя, болтом притянем эту опору, то, из-за низкой пластичности чугуна, в ней возникнет повторная трещина.

5.2.3. Разрушение (высокие нагрузки)

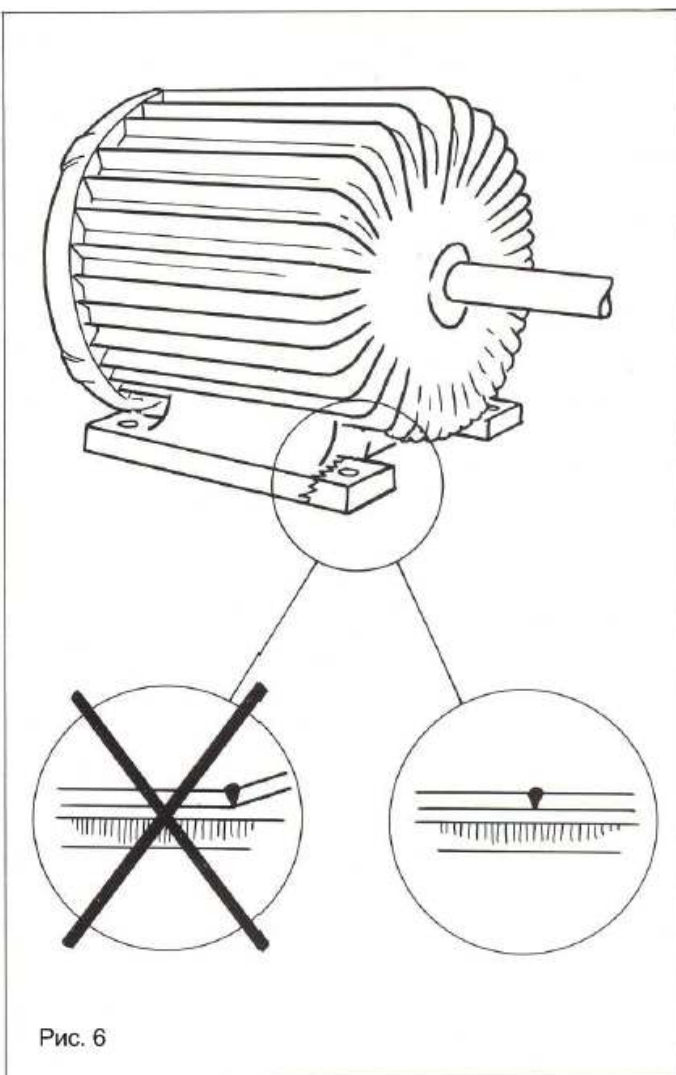
Выход изделия из строя по причине его разрушения обычно происходит из-за внезапного возрастания рабочих нагрузок, а потому вопрос упирается в способность отремонтированного участка при дальнейшей эксплуатации воспринимать заданные рабочие нагрузки. Это обычно достигается за счет механического усиления ремонтируемого стыка дополнительной накладкой, фиксируемой болтами, или, что более предпочтительно, за счет обжатия этого участка хомутом или биндажом, который будет воспринимать растягивающие нагрузки.

Повреждения, которые можно закрыть тонкой накладкой, например, течь в рубашке водяного охлаждения, очень часто ремонтируются путем удаления дефектного участка, и последующей приварки заплатки из углеродистой стали. Другой способ ремонта, который иногда успешно используется, но не может быть рекомендован для всех случаев, это установка шипов. Перед сваркой ремонтируемого соединения, в соединяемые поверхности вставляют шпильки из углеродистой стали, и приваривают их к чугуну. Для этого в основном металле нарезаются резьбовые отверстия, в которые до упора вкручиваются эти шпильки. Использование шпилек для стыковых швов, испытывающих растягивающие напряжения, в некоторых случаях может оказаться малоэффективным, т.к. очень часто сварка ослабляет эти шпильки. Однако, для армирования сломанных зубьев шестерен, на которые воздействуют срезающие нагрузки, шпильки являются хорошими упрочняющими элементами (см. рис.7).

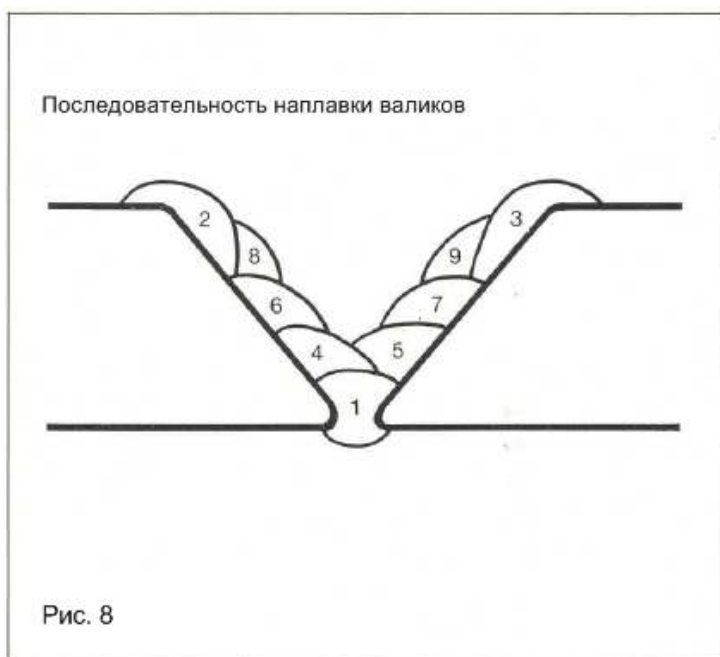
5.2.4. Заварка полостей

При ремонте полостных дефектов в литых чугунных изделиях необходимо придерживаться следующего алгоритма:

- У чугунного изделия полностью удалить участок с дефектным металлом (желательно зачисткой)
- Скруглить все острые кромки
- Зачистить чугунные кромки примерно под угол 45°
- Электродными ОК 92.60, ОК 92.58 или ОК 92.18 выполнить наплавку на чугунные кромки



- Вырезать стальную пластину, которая будет вставляться в вырезанную в чугуна полость с наплавленными кромками. Из-за разницы в коэффициентах линейного расширения между сталью и чугуном, лучше использовать стальную пластину, толщина которой составляет примерно половину толщины чугунной стенки. Необходимо тщательно подогнать размеры этой пластины, чтобы свести к минимуму количество наплавленного металла, что позволяет ограничить количество вкладываемого в изделие тепла.
 - У стального листа срезать кромки под угол примерно 45° . (Величина притупления должна составлять примерно 2 мм, что облегчит прихватку свариваемых поверхностей)
 - Вварить стальной лист в чугунное изделие
 - Сварку выполнять короткими швами обратноступенчатым способом. Последовательность наложения швов показана на рис. 8
 - При проковке, чтобы избежать образования трещин, удары лучше наносить с оттяжкой вдоль шва, а не перпендикулярно ему.
- Если все части сломанного чугунного изделия можно использовать для его восстановления, применять заменители из углеродистой стали не требуется. При этом можно обойтись без наплавки на свариваемые кромки буферного слоя, а саму сварку выполнять легче.



5.2.5. Пережженный чугун

Термин «Пережженный чугуна» обычно характеризует чугунное изделие, у которого окислы присутствуют как на его поверхности, так и внутри металла. Такое окисление происходит, когда чугунное изделие эксплуатируется при повышенных температурах. В зависимости от содержания легирующих элементов окисление может начинаться с температуры от 400°C . Пережженный чугун характеризуется:

1. Видимой на поверхности окалиной
Эти окалина состоит из Fe_2O_3 , Fe_3O_4 и FeO . Fe_2O_3 содержит максимальное количество кислорода, а потому находится на внешней ее поверхности. В окалине также можно обнаружить оксиды легирующих элементов.
2. Внутренним окислением
Кислород легко проникает внутрь материала по графитовым чешуйкам. Результатом такого термодинамического воздействия является не только выгорание графита до CO_2 и CO , но и образование оксидов железа. Эти оксиды железа формируются по зонам вокруг графитовых чешуек. Когда кислорода в избытке, а температура достаточно высока, графит начинает выгорать. Графит замещается оксидами железа или вовсе исчезает, улетучиваясь через поверхность. Этот процесс может продолжаться и продолжаться, пока не произойдет полная деструкция металла.
Оксиды железа занимают больший объем, чем чугун, что вызывает «свилинг» (распухание) чугунного изделия.
Присутствие в чугуна оксидов приводит к повышению его твердости.

Это, в сочетании с шероховатой грязной поверхностью, делает сварку пережженного чугуна весьма затруднительной, если только эти изношенные части поверхностей не будут удалены. Потому перед сваркой, в подобных случаях, рекомендуется строжкой или шлифовкой выбирать металл до чистого чугуна. В крайнем случае, для отливки небольшого размера с выгоревшими или окисленными поверхностями, нижеприведенная процедура поможет получить относительно удовлетворительное соединение:

- Свариваемые поверхности очистить от нагара и выбрать поврежденный материал. Сделать это можно с помощью стальной щетки или шлифованием.
- Электроды ОК 48.04 несколько раз пробежаться по свариваемым поверхностям. Это насытит материал испорченного чугуна металлом электрода и позволит создать лучшие условия для сварки при последующем заполнении стыка.
- Основную наплавку выполнять электродами ОК 92.58 или ОК 92.60

Практический опыт показал, что электроды ОК 94.25 могут дать положительный результат, в то время, когда сварка электродами на никелевой основе затруднена. Примером сварки пережженного чугуна может являться сварка выхлопных коллекторов двигателей внутреннего сгорания, которые в большинстве случаев можно относительно успешно ремонтировать.

5.2.6. Тонкостенные изделия

Тонкие стенки можно встретить у различных литых изделий, таких как блок цилиндров, головка блока, клапанная крышка и т.п. Основная проблема их сварки состоит в том, чтобы избежать наплавки большого количества металла для минимизации напряжений после остывания. Также возникают проблемы при проковке, т.к. удары сами по себе могут привести к трещинам в сварном соединении.

Наилучший способ избежать наплавки большого количества металла – это сварка в положении вертикаль на спуск. Специальное покрытие электродов ОК 92.60 позволяет успешно выполнять сварку в данном пространственном положении. Чтобы избежать поломки чугуна при проковке, удары при проковке предпочтительнее наносить под углом 45° вдоль линии шва, а не в перпендикулярном направлении.

6. Сварочные материалы

6.1. Введение

Электроды для сварки чугуна:

- ОК 91.00 – на основе чугуна
- ОК 48.04 – на основе углеродистой стали
- ОК 92.18 – на основе чистого никеля
- ОК 92.58, ОК 92.60 – на основе железо-никелевого сплава
- ОК 92.78 – на основе монель-сплава
- ОК 94.25 – на основе медно-оловянистого сплава

6.2. Электроды на основе железа

ОК 91.00 (сняты с производства) разработан для ремонта тяжелых литых чугунных изделий типа изложниц для стального литья, поддонов, шлаковых ковшей. В наплавке дает чугунный сплав, имеющий тот же цвет и склонность к ржавлению, что и основной материал. Если сварка выполняется без предварительного подогрева, наплавленный металл имеет достаточно высокую твердость. ОК 48.04 применяется для заварки каверн или других поверхностных дефектов. Наплавленный металл твердый и хрупкий, а потому данные электроды не рекомендуются для выполнения соединений. Наплавка имеющий тот же цвет и склонность к ржавлению, что и основной материал. Он также используется для нанесения предварительного подслоя на пережженный чугун для лучшего его сцепления с металлом заполняющего шва при сварке таких изделий как выхлопные коллекторы двигателей внутреннего сгорания, заслонки мартеновских и коксовых печей и т.п.

6.3. Электроды на основе никеля

ОК 92.18 применяется для сварки всех типов чугунов. Получаемый наплавленный металл эластичен и легко поддается механической обработке. Он рекомендуется для заварки каверн, общего ремонта, а также в случаях, когда требуется обрабатываемость наплавленного металла на том же уровне, что и чугуна, имеющего твердость около 150 НВ. Его не рекомендуется применять для сварки более чем в два слоя, поэтому, при многопроходной сварке, для заполняющих слоев рекомендуется применять электроды ОК 92.58 или ОК 92.60, а ОК 92.18 для облицовочного слоя. Данный электрод не рекомендуется применять для сварки чугунов с высоким содержанием серы или фосфора.

ОК 92.58 предназначен для сварки изделий из серого, высокопрочного и ковкого чугуна, а также для заварки дефектов и ремонта чугунных изделий и сварки чугуна со сталью. Сварка выполняется на холодную или с незначительным подогревом. Шов хорошо обрабатываем, и имеет твердость около 200 НВ. Наплавленный металл обладает более высокой прочностью, стойкостью к горячим трещинам и меньшей чувствительностью к загрязнениям в сравнении с ОК 92.18. Поэтому он больше подходит для сварки ковких чугунов, работающих при более высоких нагрузках, а также серых чугунов с повышенным содержанием серы и фосфора.

ОК 92.60 применяется для холодной сварки всех типов чугунов. Особенно он подходит для сварки чугунов с шаровидным графитом, т.к. обладает наиболее высокой прочностью. Он также рекомендуется в случаях, когда требуется обрабатываемость наплавленного металла на том же уровне, что и чугуна, имеющего твердость около 250 НВ. Наплавленный металл обладает меньшей чувствительностью к растворению в нем серы и фосфора в сравнении с ОК 92.18

ОК 92.78 предназначенный для сварки изделий из серого, высокопрочного и ковкого чугуна. Сварка выполняется на холодную или с незначительным подогревом. Шов хорошо обрабатываем и по цвету очень похож на чугун.

6.4. Электроды на основе меди

ОК 94.25 в основном предназначены для сварки сплавов на основе меди. Однако практический опыт показал, что данные электроды в сравнении с другими дают, достаточно хорошие результаты при сварке чугунов с высоким содержанием серы. В некоторых случаях он имеет преимущества при сварке пережженного чугуна, когда электроды на основе никеля не дают желаемого результата. Следует учитывать, что обрабатываемость металла, наплавленного данным электродом несколько хуже, чем у ОК 92.18