

## **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)).

**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: Сварка высокохромистых сталей**

**Цель:** Изучить особенности сварки высокохромистых сталей

### ***План***

1. Особенности сварки высокохромистых сталей
2. Сварка высокохромистых ферритных сталей
3. Сварка мартенситных сталей
4. Сварка мартенситно-ферритных сталей

### **1. Особенности сварки высокохромистых сталей**

Свойства сварных соединений высокохромистых сталей, наиболее близкие к свойствам катаного или ковального основного металла, могут быть получены только в тех случаях, если химический состав металла швов подобен по составу свариваемого металла и после сварки возможна термообработка в виде высокого отпуска. Однако это не всегда выполнимо, особенно в условиях монтажа или ремонта.

В швах по составу аналогичных основному металлу и в зоне термического влияния сварных соединений, выполненных без предварительного и сопутствующего подогрева и последующей термообработки, часто образуются трещины, кроме того, соединения обладают низкой деформационной способностью.

Поэтому в таких случаях приходится отказываться от получения швов, подобных по составу свариваемой хромистой стали. Более работоспособные сварные соединения получаются при аустенитной или аустенитно-ферритной структуре металла сварных швов, обычно хромоникелевых с достаточным количеством аустенизаторов, в основном никеля и марганца. Последующая термообработка по режиму, необходимому для измененного сварочным термомеханическим циклом основного металла, как правило, ухудшает свойства металла шва и вызывает резкие перепады остаточных напряжений

вблизи границы сплавления. Поэтому термообработку таких сварных соединений обычно не проводят.

Однако даже при получении швов, подобных по составу основному металлу, необходимо учитывать, что часть наиболее важных свойств сварных соединений может быть получена, когда металл шва по составу несколько отличается от свариваемой стали, например имеет меньшую концентрацию углерода, содержит некоторое количество титана и т.д. В связи с тем, что такое регулирование состава металла шва легче обеспечивается при дуговой сварке, этот способ сварки наиболее распространен при изготовлении и ремонте изделий из высокохромистых сталей. Большинство сварочных работ с этими сталями выполняют ручной дуговой сваркой стальными покрытыми электродами. Наряду с этим используют дуговую сварку плавящимся электродом в углекислом газе, в инертных газах (аргоне, аргонно-гелиевых смесях) и сварку под специальными флюсами.

В связи с тем, что растворяющийся при сварке в расплавленном металле водород значительно усиливает склонность к образованию холодных трещин в хрупком металле швов и околошовной зоны, для ручной сварки высокохромистых сталей не следует применять электродные покрытия, содержащие в качестве газообразующих органические соединения. В этом случае используют электродные покрытия фтористокальциевого типа, при которых газовая защита сварочной зоны образуется за счет распада карбонатов покрытия, в основном мрамора.

Образующиеся при этом высококальциевые шлаки благоприятны для удаления из сварочной ванны серы и фосфора — вредных примесей, ограничиваемых в высокохромистых сталях в большей степени, чем в обычных углеродистых. Окислительное влияние газовой фазы ( $\text{CO}_2$  и продуктов распада) компенсируется использованием электродов, содержащих раскислители в металлическом стержне или чаще в покрытии.

Для уменьшения возможного поглощения водорода электроды перед сваркой следует прокалить при температуре 450 ... 500 °С течение 2 ч (режим часто приводится в паспорте на электроды). Сварку выполняют постоянным током обратной полярности.

При сварке высокохромистых сталей в инертных защитных газах (аргоне и смесях на его основе) имеются благоприятные металлургические условия для снижения выгорания Cr и других легирующих элементов. Причем в основном используют сварку неплавящимся вольфрамовым электродом, а присадочный материал подбирают аналогичным желаемому составу наплавленного металла. При этом виде сварки в шов удается вводить почти без потерь такие весьма активные элементы (улучшающие свойства металла шва), как титан и алюминий. Однако из-за понижения производительности сварки применение этого метода обычно ограничивается изготовлением изделий малых толщин и выполнением корневого валика в многослойных швах металла большой толщины. В связи с тем, что ценный для свойств металла шва азот (для большинства таких сталей) при содержании его более 0,08 % может вызывать пористость, его

количество в металле шва следует ограничивать, обеспечивая хорошую газовую защиту расплавленного металла от воздуха, и не допускать большего его количества в защитном газе.

Сварка плавящимся электродом в углекислом газе хотя и обеспечивает обычно достаточное оттеснение воздуха от сварочной зоны, однако оказывает значительное окислительное воздействие на металл. Для борьбы с недопустимым окислением металла шва в электродную проволоку необходимо вводить раскислители в количествах, достаточных для предохранения от выгорания основных элементов, определяющих свойства металла шва.

Сварка под флюсом также требует разработки специальных сварочных материалов. Широко применяемые окислительные высококремнистые, высокомарганцовистые флюсы не пригодны для сварки высокохромистых сталей в связи с происходящими при этом процессами окисления не только активных легирующих элементов, но и основного легирующего элемента — хрома. В ряде случаев повышение концентрации кремния, а также марганца в высокохромистом металле вредно для его свойств, в частности, уменьшает его пластичность и вязкость.

Фторидные бескислородные флюсы не обеспечивают достаточно хорошего формирования швов. Поэтому для сварки высокохромистых сталей рекомендуется применение либо безокислительного, высокоосновного флюса, почти не изменяющего в процессе плавления состава электродной проволоки, либо слабоокислительного (за счет введения в низкокремнистый флюс некоторого количества окислов железа) флюса в комбинации со специальными проволоками Св-15Х12НМВФБ и Св-15Х12ГНМБФ.

При выборе вида сварки, сварочных материалов и режимов сварки высокохромистых сталей, особенно жаропрочных, необходимо учитывать, что даже небольшие отклонения в химическом составе металла швов (по ряду элементов в пределах десятых долей процента) могут приводить к значительному изменению их служебных свойств.

При использовании аустенитного или аустенитно-ферритного наплавленного металла обязательно необходимо учитывать и долю основного металла, попадающего в металл шва и тем самым влияющего на его состав, структуру и свойства.

По влиянию хрома и углерода высокохромистые стали подразделяются на три категории:

К **ферритным сталям** относятся :

- стали с 13% Cr при низком содержании углерода (08Х13)
- стали с 17 % Cr и добавками титана, (12Х17, 08Х17Т),
- стали содержанием 25—30% Cr (15Х25Т).

К **мартенситным сталям** относятся стали с более низким содержанием хрома (12-13%) и повышенным содержанием углерода (2Х13, 13Х11Н2ВМФ)

Стали **ферритно-мартенситного** класса получены из ферритных и мартенситных сталей путем дополнительного легирования никелем,

молибденом, вольфрамом, ниобием, ванадием.

## 2. Сварка высокохромистых ферритных сталей

К ферритным сталям относятся стали с 13% Cr с очень низким содержанием углерода, а также с 25–30% Cr. Общей характеристикой для этих сталей служит их склонность к росту зерна при высокотемпературной термообработке, в том числе и в результате сварочного нагрева в ЗТВ и в металле шва. При крупном зерне такие стали теряют пластичность и вязкость при комнатной температуре и более низкой.

При сварке ферритных высокохромистых сталей наблюдается выпадение карбидов хрома, в результате чего понижается **коррозийная стойкость** стали.

Для повышения коррозионной стойкости при сварке этих сталей необходимо:

- применять пониженные значения тока, тонкие электроды
- вводить в сталь и наплавленный металл карбидообразователи (Ti, Nb).
- производить термообработку после сварки при 700-800 °С для снятия остаточных сварочных напряжений и повышения пластичности.
- если по условиям эксплуатации не требуется обеспечение высокой пластичности, применяют низконикелевые электроды типа ЭФ-Х17АНЗ.

На **свариваемость** этих сталей оказывают влияние следующие ее свойства.

- малая пластичность (хрупкость) в холодном состоянии.
- склонность к росту зерна при высокотемпературной обработке, в том числе и в результате сварочного нагрева. При этом они теряют пластичность и вязкость при комнатных и более низких температурах.

Улучшить свариваемость хромистых ферритных сталей можно следующими мерами:

- 1) снижением содержания углерода и азота (в сумме) в основном металле 0,04%, в сварочных материалах 0,015%;
- 2) применением технологии сварки, обеспечивающей уменьшение перегрева и роста зерна, в том числе за счет уменьшения погонной энергии;
- 3) применением предварительного подогрева до температур выше температур перехода металла в хрупкое состояние.

Наиболее распространены следующие виды сварки:

### **Сварка покрытыми электродами**

При этом изделия толщиной более 10 мм сваривают с подогревом до температуры 120... 180 °С.

Для сварки используются электроды основного типа, легированные титаном или ниобием (ЭФ-Х25 и др.), а также сварочные материалы, позволяющие получить металл шва, по составу подобный основному, например, ЦЛ-10 и УОНИ-13/НЖ (стержень Св-10Х17Т),

Сварка проводится на постоянном токе обратной полярности.

### **Сварка в углекислом газе и под слоем флюса**

При механизированных и автоматизированных процессах сварки ферритных хромистых сталей используются электродные проволоки из хромоникелевых сталей, которые обеспечивают высокий уровень пластичности и ударной вязкости. При этом для обеспечения коррозионной стойкости, например, в азотной и уксусной кислотах, швы должны содержать титан или ниобий. Для сварки стали 08X17T в углекислом газе удовлетворительные результаты могут быть получены при использовании электродных проволок марок Св-08X20Н9Г7Т или Св-05X25Н12ТЮ. Однако наиболее удовлетворительное качество сварных соединений может быть получено при использовании проволоки Св-08X20Н15ФБЮ. Такие же результаты обеспечивает данная проволока при сварке под флюсом АН-26. Коррозионная стойкость таких сварных соединений в азотной кислоте различной концентрации сопоставима со стойкостью стали 08X17Т. Для сварки сталей, содержащих хрома более 25%, в сварных швах должна быть обеспечена примерно такая же концентрация хрома. При сварке стали 15X25Т в углекислом газе или под флюсом АН-26 необходимые структуры обеспечиваются применением проволок Св-07X25Н13Т или Св-13X25Н12ТЮ.

Для изделий малых толщин иногда применяют аргонодуговую сварку неплавящимся электродом.

В связи с невозможностью измельчения структуры ферритных сталей методами термической обработки хрупкость их сварных соединений является необратимой. Термическая обработка, применяемая для сварных соединений сталей ферритного класса, положительно сказывается в основном на снижении уровня остаточных напряжений. Отжиг при 760°С является универсальным для сталей ферритного класса. При этой температуре практически полностью релаксируют остаточные напряжения. Этот режим способствует также снижению склонности к межкристаллитной коррозии.

### **3. Сварка мартенситных сталей**

Независимо от толщины изделий сварные соединения высокохромистых мартенситных сталей, как правило, подвергают термической обработке для снятия остаточных напряжений, распада закалочных структур и формирования механических свойств заданного уровня.

Так как стали этого типа склонны к резкой закалке, то сварка их производится с обязательным предварительным подогревом (300-400 °С). После сварки обязательно охлаждение изделия на спокойном воздухе до  $T=120-100^{\circ}\text{C}$  (так называемое “подстуживание”).

- Затем осуществляется термообработка по режиму:
- Нагрев в печи до 720-750 °С.

- Выдержка при этой температуре ~5 минут на каждый миллиметр толщины изделия (но не менее 1 час).
- Охлаждение вместе с печью до ~600 °С.
- Охлаждение на спокойном воздухе.
- Температура отпуска выбирается не выше значений критической точки Ас1 (таблица 1).

Таблица 1 - Особенности теплового режима сварки мартенситных сталей

Марка стали	Т, °С, подогрева	Продолжительность хранения до термической обработки, ч	Термическая обработка
15X11МФ 15X12ВНМФ 18X11МНФБ 13X11Н2В2МФ	300	Не допускается	Отпуск при 700 ... 720 °С (без охлаждения ниже температуры подогрева). При толщине более 30 мм перед термообработкой рекомендуется «подстуживание» до 100 °С
12X11В2МФ	250 ... 300	72	Отпуск при 715 ... 745 °С (предварительный) и 735 ... 765 °С (окончательный)
10X12НД	>100	Не допускается	Отпуск при 650 °С (с предварительным «подстуживанием»)
06X12НЗД	>200	То же	Отпуск при 610 ... 630 °С (предварительный) и 625 ... 650 °С (окончательный)

Сварка в среде защитных газов производится как в среде инертных газов (в основном ручная аргонодуговая сварка), так и в среде СО<sub>2</sub>. С позиции металлургии наиболее благоприятна сварка в аргоне, где можно получать металл шва любого состава без потерь легирующих элементов. При сварке в среде СО<sub>2</sub> окислительное действие газа приходится компенсировать за счет усиленного легирования присадочных материалов.

Прочность сварных соединений определяется свойствами применяемых для сварки присадочных материалов. В случае однородных с основным металлом швов свойства сварных соединений близки к основному металлу.

Для деталей из высоколегированных мартенситных сталей применяют в основном ручную дуговую сварку покрытыми электродами, которые обеспечивают получение сварных швов, близких по химическому составу основному металлу. Это электроды с наплавленным металлом, содержащим 10- 12 % Cr, до 0,8 % Ni и до 1% Mo. Пониженное содержание углерода (0,02 -0,08 %) приводит к повышению вязкости металла швов, по химическому составу приближающихся к хромоникелевым мартенситным сталям. Наряду с электродами близкими по составу основному металлу применяют аустенитные электроды.

Для автоматической сварки используется проволока Св-15X12НМВФБ и Св-15X12ГНМБФ и флюсы АН-17 и ОФ-6.

Для уменьшения возможного поглощения водорода при сварке электроды перед сваркой следует прокалывать при повышенных температурах (450-500°C) длительностью 2 часа. Сварку выполняют постоянным током обратной полярности.

Таблица 2 - Электроды для сварки мартенситных и мартенситно-ферритных сталей

Электроды марка	Марка проволоки	Назначение (для каких сталей)
УОНИ 13/1Х13	Св10Х13	12Х13, 20Х13
КТИ-9	Св10Х11МФН	15Х11МФ
КТИ-10	Св10Х11ВМФН	15Х12ВНМФ, Х11ЛБ, Х11ЛА
УЛ-32	Св10Х11ВМФН	13Х11В2МФ
ЭЛ-898/2/	Св08Х19Н10Б	14Х17Н2
АНВ-2	Св08Х18Н2ГТ	14Х17Н2

Проволоки, применяемые для сварки в среде CO<sub>2</sub>:

Св08Х14ГНТ (Св10Х13), ПП-08Х14ГТ – для сталей 12Х13 и 20Х13;

Св15Х12НМВФВ, Св15Х12ПНМФБ – для стали 15Х11МФБ, Х11ЛА;

Св08Х18Н2ГТ – для стали 14Х17Н2.

При сварке под флюсом применяются, как правило, либо слабоокислительные флюсы типа АН-17 в комбинации со специальными проволоками типа 15Х12НМВФБ, либо безокислительные флюсы типа 48-ОФ-6.

Кроме того, применяются флюсы

- АН-30, АН-18, АН-10, АН-17–безкремнистый флюс системы CaF<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MnO;
- 48-ОФ-6–фторидный безокислительный флюс системы CaF<sub>2</sub> – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–CaO;
- АН-30 – флюс системы CaF<sub>2</sub> – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – MgO.

Используется постоянный ток обратной полярности (в случае применения безфтористых флюсов – прямая полярность). Следует иметь в виду, что сварке аустенитными проволоками, за счет пониженной ее теплопроводности и высокого электрического сопротивления при прочих равных условиях, она плавится быстрее, чем обычная низкоуглеродистая проволока. Поэтому для получения с хорошим формированием вылет электрода необходимо уменьшать в 1,5–2 раза в сравнении с низкоуглеродистой проволокой. Диаметр проволоки 2–3 мм (для уменьшения склонности к образованию кристаллизационных трещин).

Когда не требуется полная равноценность свойств, а необходимо, например, сохранить коррозионную стойкость, то можно упростить технологию сварки этих сталей путем применения хромоникелевых электродов. В этом случае сварку также производят с предварительным подогревом до тех же температур, но последующая термообработка уже не производится во избежание потери коррозионной стойкости металла шва.

#### 4.Сварка мартенситно - ферритных сталей

Сварные соединения мартенситно — ферритных сталей должны быть

подвергнуты термическому отпуску для «смягчения» структур закалки и снятия остаточных напряжений.

Так как эти стали также склонны к закалке, то они тоже свариваются с предварительным подогревом, но уже порядка 200-300 °С. Остальные операции после сварки аналогичны операциям при сварке высокохромистых мартенситных сталей:

- подстуживание 120-100 °С;
- нагрев в печи 750-780 °С;
- выдержка при этой температуре ~5 минут на каждый миллиметр толщины изделия (но не менее 1 час);
- охлаждение на спокойном воздухе.

При этом используют электроды, обеспечивающие легирование, соответствующее основному металлу, например типа ЭФ-Х17. Применение хромоникелевых электродов не целесообразно в связи с тем, что они не обеспечивают равноценной коррозионной стойкости при контакте с кислотосодержащими средами.

Для стали 08Х13 применяют различные способы сварки: ручная покрытыми электродами и в защитных газах, автоматическая под флюсом.

Наибольшее распространение имеют сварочные электроды и проволоки, обеспечивающие получение аустенитного наплавленного металла (электроды типа Э-10Х25Н13Г2, проволока Св-07Х25Н12Г2Т). Присадочные материалы для ручной дуговой сварки (электроды типа Э-10Х18Н2), аргонодуговой и автоматической сварки под флюсом (проволока Св-08Х18Н2ГТ и Св-08Х14ГНТ) стали 14Х17Н2 по химическому составу близки к основному металлу.

Так как для сталей 08Х13, 08Х14МФ, 12Х13 и 20Х13 применяют в основном аустенитные сварочные материалы, прочностные свойства их сварных соединений ниже по сравнению с основным металлом. Равнопрочность достигается при использовании для сварки электродов и проволок, обеспечивающих получение металла швов с мартенситной структурой.

### ***Контрольные вопросы:***

1. Какие стали относятся к высокохромистым? К каким классам могут быть отнесены высокохромистые стали в зависимости от структуры в нормализованном состоянии?
2. Приведите марки высокохромистых сталей разных структурных классов. Перечислите основные факторы, снижающие их свариваемость.
3. Как предотвратить образование холодных трещин в хромистых мартенситных и мартенситно-ферритных сталях?
4. Укажите причины охрупчивания сварных соединений из хромистых ферритных сталей. Как решается эта проблема?
5. Перечислите особенности сварки хромистых ферритных сталей.
6. Укажите способы сварки высокохромистых сталей и сварочные материалы для них. Какие режимы сварки наиболее целесообразно использовать?