



ТЕХНОЛОГІЯ І ОБОРУДОВАННЯ СВАРКИ ПЛАВЛЕННЯМ

(по матеріалам учебника Акулова А.И., Бельчука Г.А., Демянцевич В.П.
Технология и оборудование сварки плавлением. Учебник для студентов вузов.
М., «Машиностроение», 1977. – 432 с.)

Автор: д. т. н. Лузан С.О.

Лекция 12. Сварка высокохромистых мартенситных, мартенситно-ферритных и ферритных сталей. (тема 5)

План лекции

1. Классификация сталей, основные свойства
2. Свариваемость и особенности сварки высокохромистых сталей
3. Общие рекомендации по сварке высокохромистых сталей
4. Особенности технологии и техники сварки мартенситных и мартенситно – ферритных сталей
5. Особенности технологии и техники сварки высокохромистых ферритных сталей



1. Классификация сталей, основные свойства

Высоколегированные стали с содержанием **хрома более 12 %** являются нержавеющими и относятся к высокохромистым. Увеличение содержания хрома в стали, способствует сужению аустенитной γ – области и расширению ферритной α – области.



Сталь 40X10C2M

При содержании хрома более 13 % – γ область не существует, и при всех температурах сплав железо - хром сохраняет структуру α - области, то есть феррита.

Высокохромистые стали при их дополнительном легировании молибденом, вольфрамом, ниобием, ванадием, а иногда и никелем обладают **повышенным сопротивлением ползучести** при работе под напряжением при повышенных температурах, их используют как жаропрочные применительно к **температуре эксплуатации до 600 °C**.



1. Классификация сталей, основные свойства

В зависимости от структуры высокохромистые стали делят на следующие классы:

Мартенситные – 20X13,
14X17H2, 13H11H2B2HФ

Мартенситно-
ферритные – 12X13,
08X13, 15X11МФ,
15X11МФБ, 15X11МВФ,
15X12ВНМФ

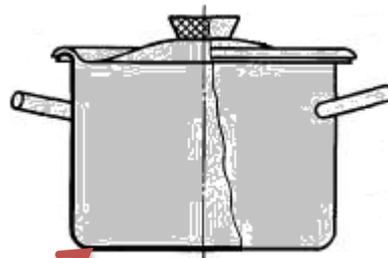
Ферритные – 12X17, 08X17Т, 15X18С10, 15X25Т, 15X28,
10X17Т, 10X25Т



1. Классификация сталей, основные свойства

Особые свойства высокохромистых сталей:

коррозионная стойкость, жаропрочность до 600 °С, жаростойкость до 750 °С, 1100 °С.



Изделие из ленты холоднокатаной коррозионно-стойкой и жаростойкой стали

К коррозионно-стойким относятся, стали, способные сопротивляться коррозии в атмосфере, воде, кислотах, солях, почве.

К жаропрочным предъявляется требование – сохранять прочность при повышенных температурах, к жаростойким – стойкость против окисления на воздухе и в различных средах, например, цементационной среде при высоких температурах вплоть до 1200 – 1300 °С

1. Классификация сталей, основные свойства

Особые свойства высокохромистых сталей:
коррозионная стойкость, жаропрочность до 600 °С, жаростойкость до 750 °С, 1100 °С.



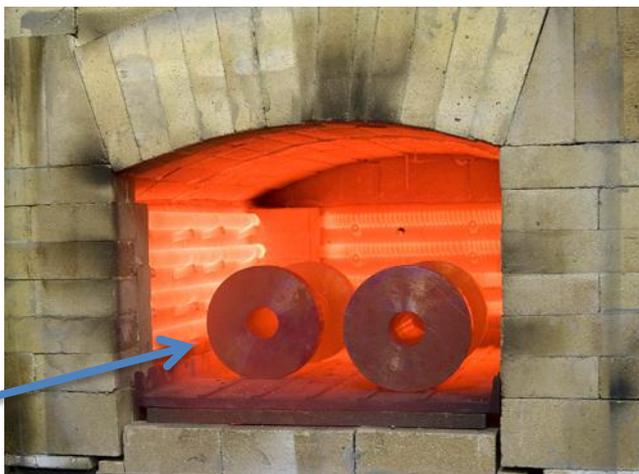
К коррозионно-стойким относятся, стали, способные сопротивляться коррозии в атмосфере, воде, кислотах, солях, почве.

К жаропрочным предъявляется требование – сохранять прочность при повышенных температурах, к жаростойким – стойкость против окисления на воздухе и в различных средах, например, цементационной среде при высоких температурах вплоть до 1200 – 1300 °С



1. Классификация сталей, основные свойства

Оптимальные механические свойства высокохромистые стали приобретают после двойной термической обработки – **заковки** или **нормализации** с последующим **отпуском**.

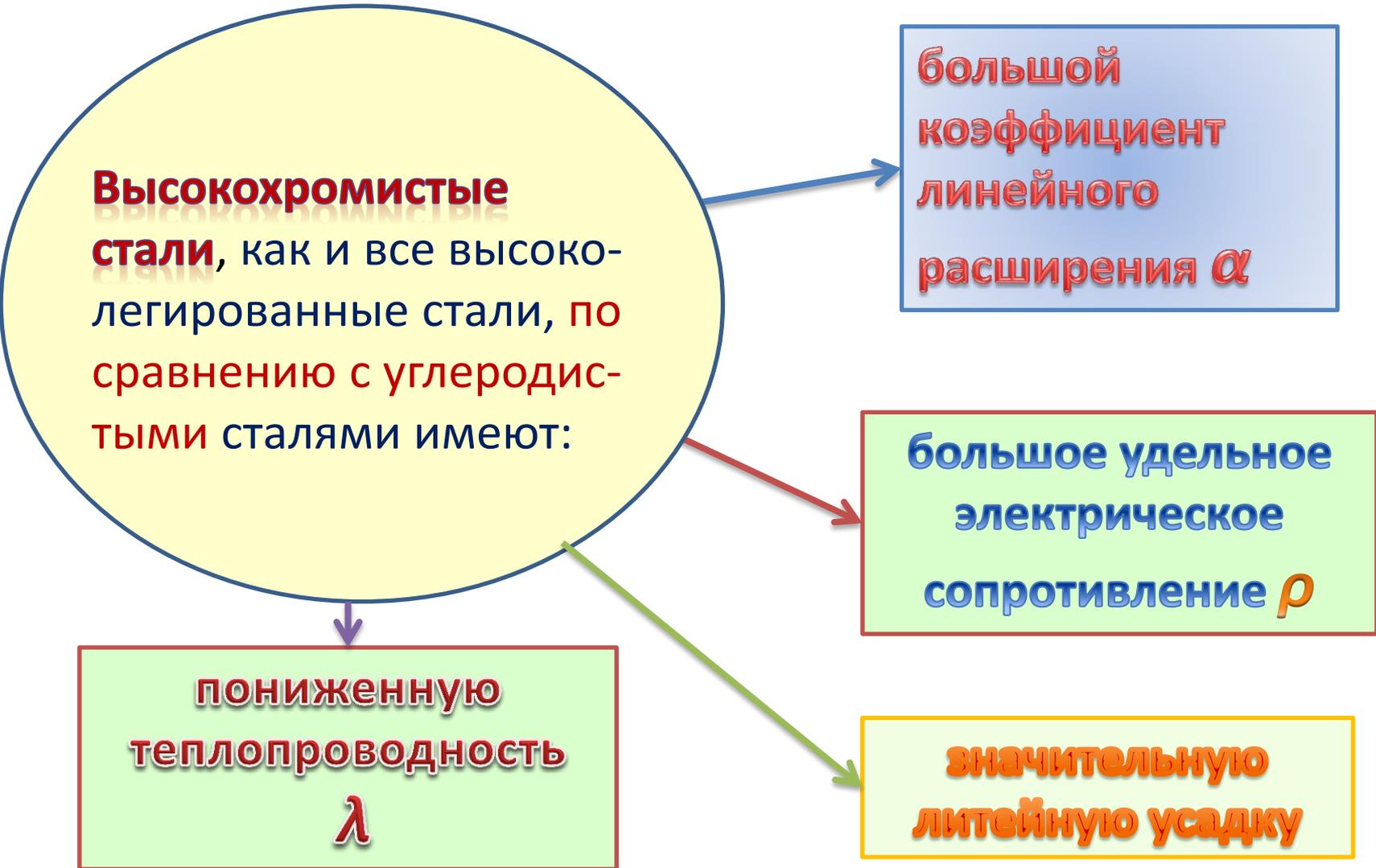


Оптимальным уровнем прочности сталей данной группы при комнатной температуре следует считать предел текучести $\sigma_T = 550 \dots 650$ МПа, который достигается при отпуске 720 - 750°C.

Эта же температура отпуска (720 - 750°C) рекомендуется и для сварных соединений.



1. Классификация сталей, основные свойства



1. Классификация сталей, основные свойства

Хромистые стали – важнейший конструкционный материал для изготовления химической и нефтехимической аппаратуры



Оборудования азотнокислотных и консервных заводов



Цилиндров газовых турбин

Рабочих и направляющих лопаток паровых турбин



Элементов котельных установок



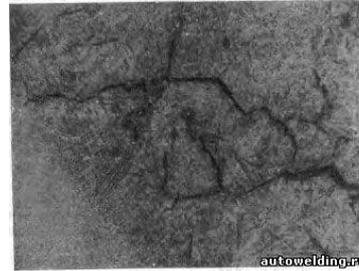
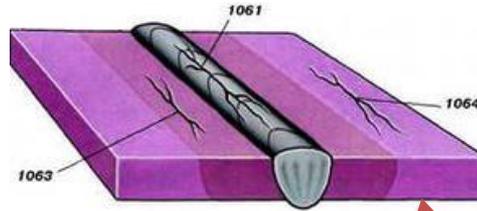
Контрольные вопросы 1

1. Какие стали называются высоколегированными?
2. Классификация сталей по структуре?
3. Что означает жаропрочность и жаростойкость высокохромистых сталей?



2. Свариваемость и особенности сварки высокохромистых сталей

Высокохромистые стали, относятся к удовлетворительно свариваемым сталям



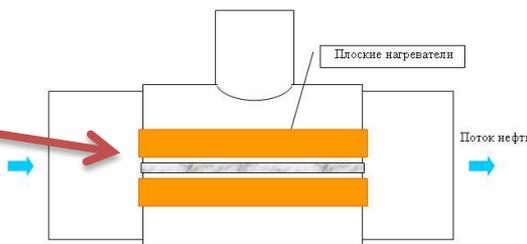
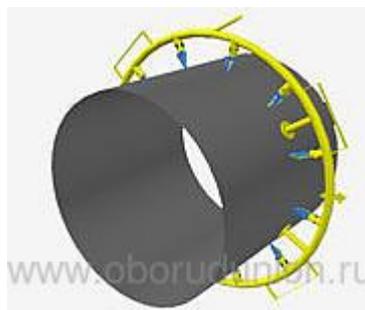
Околошовные участки и металл шва закаливаются на мартенсит с высокой твёрдостью и низкой деформационной способностью.

В результате возможно образование холодных трещин. Они образуются на последней стадии непрерывного охлаждения при температурах **около 100 °С** и **более низких** или при выдержке металла при комнатных температурах.



2. Свариваемость и особенности сварки высокохромистых сталей

Радикальной мерой предотвращения трещин является предварительный и сопутствующий подогрев.



Для **хромистых сталей** рекомендуется общий, иногда местный подогрев **до 200-450 °С**. Температура подогрева назначается большей с увеличением склонности к закалке и жёсткости изделия.

Подогрев изделий при сварке **не предохраняет металл шва** и в зоне термического влияния, **от распада по мартенситному механизму** при охлаждении до комнатных температур.



2. Свариваемость и особенности сварки высокохромистых сталей

В состоянии после сварки с характерным для этих условий быстрым охлаждением сварные соединения имеют **высокую твёрдость и достаточно низкую вязкость.**



Шахтная печь
для ТО высокохромистых сталей

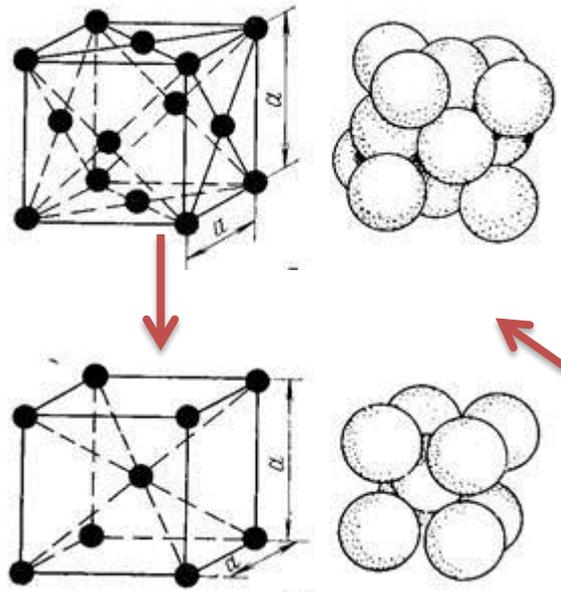
Для улучшения структуры и свойств необходимо осуществлять **высокий отпуск.** Структура после отпуска характеризуется сорбитом отпуска, с тем или иным количеством свободного феррита.

Лучшие свойства достигаются **при полном или почти полном отсутствии в структуре свободного феррита.**



2. Свариваемость и особенности сварки высокохромистых сталей

Наилучшие свойства могут быть получены, когда после сварки с температур сопутствующего подогрева производят «подстуживание» примерно до 100 °С.



Превращение аустенита в мартенсит

Делают выдержку при этой температуре в течение 2 часов для завершения распада аустенит – мартенсит без образования трещин и посадку в печь для термической обработки всего изделия.

Такие же результаты получаются, если металлу изделия дать «отдых» при 100 – 120 °С в течение ≥ 10 часов.



2. Свариваемость и особенности сварки высокохромистых сталей

При сварке хромистых сталей следует учитывать некоторую

склонность к межкристаллической коррозии

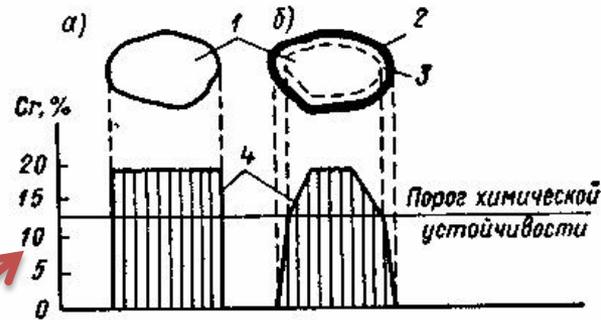


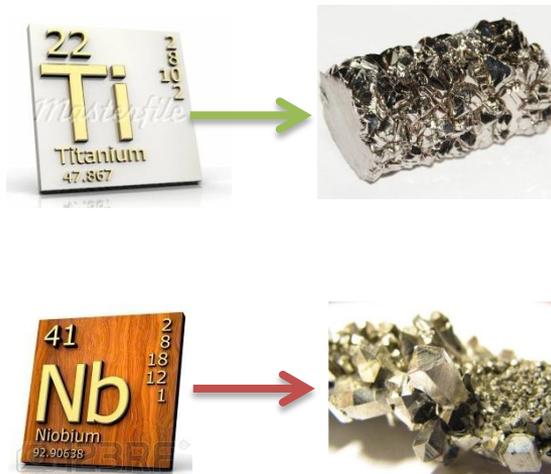
Схема распределения хрома по зерну аустенитной стали, склонной к межкристаллитной коррозии

а - в стабилизированном состоянии (отсутствие коррозии); **б** - после нагрева в критическом интервале температур и при воздействии агрессивной среды (наличие коррозии): **1** - условная форма аустенитного зерна; **2** - карбиды хрома на границах зерен; **3** - объединенные хромом пограничные участки; **4** - линии распределения хрома по аустенитному зерну.

После воздействия критических температур (500 ... 800 °С) выпадают комплексные карбиды железа и хрома. Выпадение этих карбидов влечёт за собой обеднение хромом (ниже 10 ... 12 %) пограничных слоёв зёрен или кристаллитов твёрдого раствора и соответствующую потерю коррозионной стойкости металла.

2. Свариваемость и особенности сварки высокохромистых сталей

Стабилизирующий отжиг в течение 2 - 3 часов при температуре 760 - 780 °С приводит к более полному выпадению карбидов и стабилизации их состава.



При последующем воздействии более низких критических температур, обеднение хромом вследствие выпадения карбидов не произойдет.

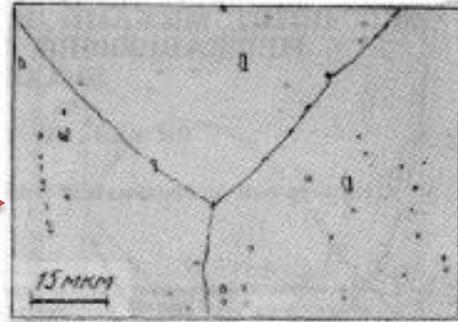
Термическая обработка изделий не всегда возможна, поэтому наиболее эффективными средствами предупреждения МКК являются снижение в стали и шве углерода и легирование их такими энергичными, карбидообразователями, как титан и ниобий.



2. Свариваемость и особенности сварки высокохромистых сталей

Высокохромистые стали склонны к охрупчиванию

при сварке, горячей обработке или в процессе эксплуатации.



Микроструктура стали Cr18Mo2

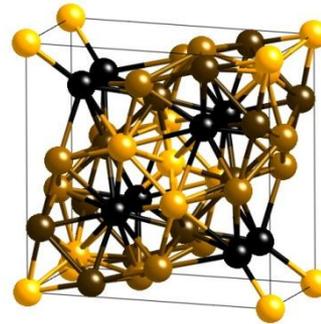
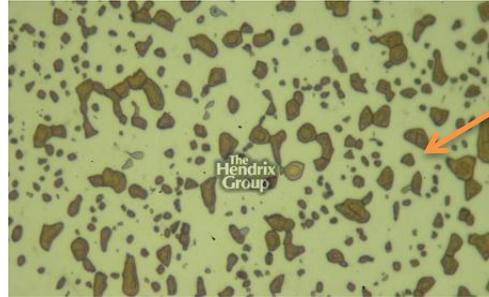
В зависимости от химического состава стали, и влияния термического воздействия в хромистых сталях наблюдаются: **475 – градусная хрупкость; хрупкость связанная с образованием σ -фазы.**

475 – градусная хрупкость появляется у сталей, содержащих более **15 % хрома** и свыше **15 – 20 % ферритной фазы**. Чем больше феррита содержится в стали, больше продолжительность и выше температура нагрева в интервале **350 ... 530 °C**, тем интенсивнее охрупчивание



2. Свариваемость и особенности сварки высокохромистых сталей

При содержании более 15 ... 25 % хрома в сварных швах в интервале температур 600 ... 850 °C длительный нагрев вызывает появление новой структурной составляющей так называемой σ -фазы (сигма-фазы).



Сигма-фаза

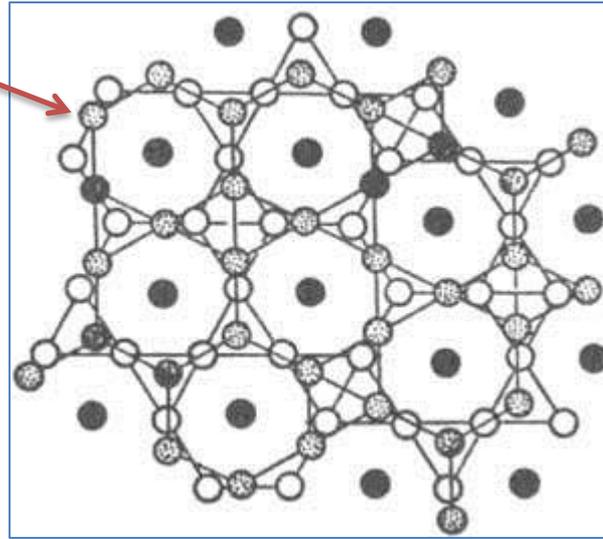
Сигма -фаза – условное название хрупкой твёрдой немагнитной структурной составляющей из интерметаллида хрома типа FeCr, образующегося в связи с диффузией хрома в твёрдом растворе.

К элементам, способствующим образованию σ -фазы в высокохромистых сталях, в том числе в хромо-никелевых и хромо-никель-марганцевых, относятся молибден, кремний, ванадий, вольфрам, а также ниобий и титан.



2. Свариваемость и особенности сварки высокохромистых сталей

Выпадение σ -фазы, а также процессы, вызывающие появление 475-градусной хрупкости, понижают коррозионную стойкость хромистых сталей.



Сигма-фаза

Кроме того, σ -фазы снижает сопротивление ползучести при высоких температурах.

Исключить влияние 475-градусной хрупкости и выпадение σ -фазы можно нагревом этих сталей до температур, выше температур, способствующих появлению хрупкости (соответственно 550 и ≈ 950 °C), с последующим быстрым охлаждением до 400 °C или более низкой температуры.



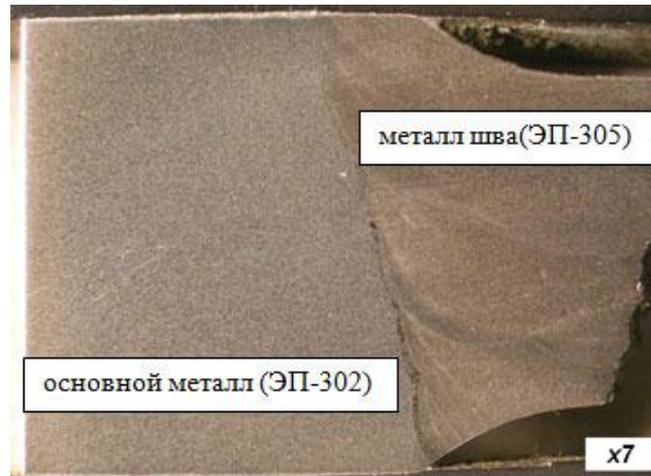
Контрольные вопросы 2

1. Какими по свариваемости являются высокохромистые стали?
2. Какие меры предпринимаются для предотвращения трещин при сварке высокохромистых сталей?
3. С какой целью применяют технологический прием «подстуживание»?



3. Общие рекомендации по сварке высокохромистых сталей

Применение швов, состав которых аналогичен составу свариваемого металла, без усложнения технологии (предварительного и сопутствующего подогрева) и последующей термической обработки



во многих случаях приводит к появлению в сварных швах и в зоне термического воздействия сварки, трещин и к низкой деформационной способности сварных соединений.

В таких случаях приходится отказаться от получения швов, состав которых подобен составу, свариваемой хромистой стали. Более работоспособные сварные соединения получаются при аустенитной или аустенитно-ферритной структуре сварных швов, обычно хромо-никелевых.



Контрольные вопросы 3

1. К чему приводит применение швов по составу аналогичному свариваемой высокохромистой стали?
2. Какие структуры сварных швов наиболее работоспособны при сварке хромистой стали?
3. С какой целью применяют технологический приемы «предварительный и сопутствующий подогрев»?



4. Особенности технологии и техники сварки мартенситных и мартенситно – ферритных сталей.

Реакция высокохромистых сталей мартенситного и мартенситно-ферритного классов, содержащих 13 % хрома, на сварочный нагрев зависит от содержания аустенитообразующих элементов, в первую очередь углерода и никеля.



При содержании углерода 0,08 % и менее сталь с 13 % хрома толщиной 16 ... 20 мм может свариваться без подогрева. При большей толщине металла рекомендуется производить предварительный и сопутствующий подогрев, в пределах 200 ... 300 °С.

С повышенным содержанием углерода (никеля) и жёсткости конструкции минимальная толщина металла, свариваемого без подогрева, снижается: для стали 12X13 до 10 мм; для стали 20X3 до 8 мм.



4. Особенности технологии и техники сварки мартенситных и мартенситно – ферритных сталей.

Сварку высокохромистых жаропрочных сталей содержащих 11 ... 12 % хрома (15X11МФБ, 15X11ВМФ, 14X12В2МФ, 14X17Н2 и др.) производят с предварительным и сопутствующим подогревом до температуры 350 ... 400 °С.

При выборе сварочных материалов для изготовления конструкций из высокохромистых (12 % Cr) жаропрочных сталей стремятся обеспечить состав шва, близкий к составу свариваемой стали.

Стали, содержащие 10 ... 13 % хрома, используются как коррозионностойкие для слабо агрессивных сред и как жаропрочные. К первым относятся, стали 08X13, 12X13, 20X13, 08X12НД. Ко вторым – 15X11МФБ, 15X12ВМФ, 15X12В2МФ и др. 

4. Особенности технологии и техники сварки мартенситных и мартенситно – ферритных сталей.

Сварочные материалы для сварки высокохромистых мартенситных и мартенситно-ферритных сталей

Марка стали	Сварка		
	ручная покрытыми электродами		
	тип электрода по ГОСТ 10052 - 75	марка электрода	марка электродного стержня
08X13 12X13	Э – 12X13	УОНИ – 13/12X13	Св – 12X13
15X11МФ	Э – 12X11НМФ	КТИ – 9	Св – 12X11НМФ
15X11ВМФ	Э – 12X11НВМФ	КТИ – 10	Св – 12X11НВМФ
15X11МЕФ	Э – 12X11НВМФ	КТИ – 10	Св – 12X11НВМФ
14X12В2МФ	Э – 14X11НВМФ	ЦЛ – 32	Св – 14X11НВМФ
14ХПН2	Э – 08X19Н10Г2МБ	ЭА – 898/21Б	Св – 07X19Н10Б
10X12НДЛ	Э – 06X13Н	ЦЛ – 41	Св – 06X14



4. Особенности технологии и техники сварки мартенситных и мартенситно – ферритных сталей.

Ручная дуговая сварка высокохромистых мартенситных и мартенситно–ферритных сталей производится электродами типов Э- 12Х13, Э- 06Х13Н, Э - 12Х11НМФ, Э - 12Х11НВМФ, Э - 14Х11НВМФ по ГОСТ 100052 – 75 с основным покрытием на постоянном токе обратной полярности.

Автоматическую сварку под флюсом производят сварочными высоколегированными проволоками по ГОСТ 2246-70 Св - 12Х13, Св - 20Х13, Св - 06Х14, Св - 08Х14ТНТ под высокоокислительными флюсами АН - 17, АН - 17М, АН - 18 и низкокремнистыми АН - 26, АН - 22 по ГОСТ 9087 - 81.

Механизированную сварку в углекислом газе применяют при производстве паровых турбин и трубопроводов из сталей 15Х11МФБ, 15Х12ВНМФ, 18Х12В2МФ для заварки раковин литья из высокохромистых сталей. Сваривают стандартными сварочными проволоками



Контрольные вопросы 4

1. От каких элементов в первую очередь зависит свариваемость высокохромистых сталей мартенситного и мартенситно-ферритного классов?
2. Как производят сварку высокохромистых жаропрочных сталей, содержащих 11-12% Cr?
3. Какие электроды применяют для сварки высокохромистых мартенситных и мартенсито-ферритных сталей?



5. Особенности технологии и техники сварки высокохромистых ферритных сталей.

К ферритным высокохромистым относятся некоторые низкоуглеродистые стали с 17 % хрома и добавками титана (12X17, 08X17Т, 08X18Т1, 15X18С10), а также с 25 ... 30 % хрома (15X28, 15X25Т).

Отличительной характеристикой этих сталей является их склонность к росту зерна при высокотемпературной обработке. В том числе и в результате сварочного нагрева в околошовной зоне и в металле швов (при составе швов, аналогичном ферритных сталей).

При отсутствии в сталях титана или при малом его количестве нагрев ферритных высокохромистых сталей выше 950 °С и быстрое охлаждение приводят к ухудшению общей коррозионной стойкости и появлению склонности к МКК. Отпуск при 760 ... 780 °С повышает пластичность и коррозионную стойкость металла и сварных соединений.



5. Особенности технологии и техники сварки высокохромистых ферритных сталей.

При ручной дуговой сварке и сварке в CO_2 применяют электроды и электродные сварочные проволоки, обеспечивающие получение металла шва, по составу подобного свариваемому металлу, или металла шва с аустенитной или аустенитно-ферритной структурой.

Хрупкость, связанная с крупными зёрнами, представляет опасность не только для околошовной зоны, но и для металла сварного шва. Она может быть уменьшена, если применить сварочные материалы, которые при сварочных скоростях охлаждения позволяет получить не чисто ферритную структуру, а структуру с некоторым содержанием мартенситной составляющей.

При отсутствии в сталях титана или при малом его количестве нагрев ферритных высокохромистых сталей выше $950\text{ }^{\circ}\text{C}$ и быстрое охлаждение приводят к ухудшению общей коррозионной стойкости и появлению склонности к МКК. Отпуск при $760\text{-}780\text{ }^{\circ}\text{C}$ повышает пластичность и коррозионную стойкость металла и сварных соединений.



5. Особенности технологии и техники сварки высокохромистых ферритных сталей.

Аустенитно–ферритные швы получают, используя сварочные материалы, обеспечивающие получение хромо-никелевого или хромо-никеле-марганцевого металла.

При автоматической сварке под флюсом доля основного металла в металле шва больше, чем при ручной дуговой сварке.

Поэтому количество аустенизаторов в электродной сварочной проволоке должно быть выше, чем в электродах, например, при ручной сварке можно применять электроды со стержнем из Св – 07Х23Н13, а при автоматической сварке под флюсом – Св – 13Х25Н18.



5. Особенности технологии и техники сварки высокохромистых ферритных сталей.

Сварочные материалы для сварки высокохромистых ферритных сталей

Марка стали	Сварка		
	ручная покрытыми электродами		
	тип электрода по ГОСТ 10052 - 75	марка электрода	марка электродного стержня
08X17T 12X17	Э – 10X17T	ЦЛ – 10 УОНИ – 13/Х17 НЗЛ – Х17	Св – 10X17T Св – 10X17T Св – 10X17T
	Э – 10X25Н13Г2Б	ЦЛ – 9	Св – 07X25Н13
10X25T	Э – 10X17T	НЗЛ – Х30	типа 10X29T
15X25T	Э – 10X25Н13Г2Б	ЦЛ – 9	Св – 07X25Н13
15X28		ЗНО – 32	Св – 07X25Н13
		ЦЛ – 8	Св – 13X25Н18
	Э – 28X24Н16Г6	ОЗЛ – 9	Св – 13X25Н18
Марка стали	Сварка		
	в CO ₂	автоматическая под флюсом	
	марка электродной проволоки	марка электродной проволоки по ГОСТ 2246 – 70 или ТУ	марка флюса
08X17T	Св – 06X25Н12ТЮ Св – 08X20Н15ФБЮ* Св – 08X20Н9Г7Т	Св – 08X20Н9Г7Т Св – 06X25Н12ТЮ Св – 08X20Н15ФБЮ*	АН – 26 АН – 26 АН – 26
12X17	Св – 10X17T Св – 13X25Н18	Св – 08X20Н9Г7Т Св – 06X25Н12ТЮ	АН – 26 АН – 26
08X17M2T	–	Св – 06X20Н11М3ТБ	АН – 26
15X25T	Св – 06X25Н12ТЮ	Св – 13X25Н18	АН – 26
10X25T	Св – 13X25Н18 Св – 07X25Н12Г2Т	Св – 07X25Н13 Св – 06X25Н2ТЮ	АН – 26 АН – 26
15X28	–	–	–

* Сварочная проволока поставляется по ТУ НИИ ЧМ



Контрольные вопросы 5

1. Перечислите марки ферритных высокохромистых низкоуглеродистых сталей?
2. Какая отличительная особенность ферритных высокохромистых низкоуглеродистых сталей?
3. К чему приводит нагрев ферритных высокохромистых сталей выше 950°C и быстрое охлаждение?



Задание для самостоятельного изучения:



Сведения о свариваемости аустенитных высоколегированных сталей

Акулова А.И., Бельчука Г.А., Демянцевич В.П. Технология и оборудование сварки плавлением. Учебник для студентов вузов. М., «Машиностроение», 1977. – 432 с. (С. 286-291)





Кафедра технології металлов и матеріалознавства

Лузан Сергей Алексеевич

E-mail: khadi.luzan@gmail.com

г. Харьков, ул. Петровского, 25, ХНАДУ, КАФЕДРА ТМ и М

Тел. 097-174-19-15