

*Министерство образования и науки Российской Федерации
Калужский филиал
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»*

Н.С. Герасимова, Ю.Г. Головачева

МЕЖКРИСТАЛЛИТНАЯ КОРРОЗИЯ НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ

Методические указания по выполнению лабораторной работы по
курсу «Специальные главы материаловедения»

Калуга
2017 г.

УДК 669.01
ББК 30.3
Г 37

Данные методические указания издаются в соответствии с учебным планом для специальности 13.04.03. «Энергетическое машиностроение».

Методические указания рассмотрены и одобрены:

кафедрой Технологии обработки материалов (М5-КФ)

протокол № _____ от «__» _____ 2017 г.

Зав. кафедрой _____ д.т.н., профессор В.К. Шаталов

Методической комиссией факультета МТК

протокол № _____ от «__» _____ 2017 г.

Председатель методической комиссии факультета МТК

_____ к.ф.-м.н., доцент Степанов С.Е.

Методической комиссией КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

протокол № _____ от «__» _____ 2017 г.

Председатель метод. комиссии

_____ д.э.н. профессор О.Л. Перерва

Рецензент:

Зав. кафедрой К2-КФ

_____ к.т.н., доцент Коротков В.В.

Авторы:

к.т.н., доцент Герасимова Наталия Сергеевна;
ст. преподаватель Головачева Юлия Геннадиевна

Аннотация

В методических указаниях рассматривается природа локальной межкристаллитной коррозии (МКК) нержавеющей сталей, способы ее предотвращения, а также методика испытания на склонность материалов к МКК. Методические указания предназначены для студентов специальности 13.04.03. «Энергетическое машиностроение».

© КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017 г.

© Герасимова Н.С., Головачева Ю.Г. 2017 г.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
СОДЕРЖАНИЕ.....	3
ВВЕДЕНИЕ	4
1. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИЗУЧЕНИЯ, ИССЛЕДОВАНИЯ	5
1.1. РОЛЬ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ В НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЯХ.....	5
1.2. ПРИРОДА МЕЖКРИСТАЛЛИТНОЙ КОРРОЗИИ.....	6
2. СПОСОБЫ БОРЬБЫ С МЕЖКРИСТАЛЛИТНОЙ КОРРОЗИЕЙ.....	8
3. НОЖЕВАЯ И ТОЧЕЧНАЯ КОРРОЗИЯ.....	10
4. ИСПЫТАНИЯ НА СКЛОННОСТЬ К МЕЖКРИСТАЛЛИТНОЙ КОРРОЗИИ	12
5. ОБРАЗЦЫ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ.....	13
6. СУЩНОСТЬ МЕТОДА АМ	15
7. МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИСПЫТУЕМЫХ ОБРАЗЦОВ	16
8. ЗАДАЧИ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.....	17
9. СХЕМА И ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ.....	18
10. ФОРМА ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ.....	19
ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ	20
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	21

ВВЕДЕНИЕ

Коррозией называется разрушение металла под воздействием окружающей среды. Обычные стали неустойчивы против коррозии в атмосфере, в воде и во многих других средах. Легирование сталей хромом и некоторыми другими элементами (например: никелем, молибденом, кремнием) повышает их коррозионную стойкость. Стойкость против коррозии зависит не только от химического состава стали, но и от её структурного состояния, типа коррозионной среды, в которой она работает, и ряда других факторов.

Одним из наиболее опасных видов коррозии для большинства конструкционных материалов является электрохимическая коррозия, которая развивается в электролитах. Это атмосферная коррозия, почвенная, коррозия в воде и водных растворах и т.п. *Стали, способные сопротивляться электрохимической коррозии, называют нержавеющими.*

Различают общую и местную (локальную) электрохимическую коррозию.

Если металл однороден (например, однофазный твёрдый раствор), то наблюдается равномерная общая коррозия, протекающая примерно с одинаковой скоростью по всей поверхности металла. В неоднородном металле с гетерофазной структурой, что является наиболее частым случаем, коррозия носит локальный характер и развивается только на некоторых участках поверхности. Такая локальная коррозия делится на *точечную, пятнистую, язвенную и межкристаллитную*. Очаги местной коррозии являются концентраторами напряжений и приводят к преждевременному разрушению деталей и конструкций.

Наиболее опасным видом местной коррозии является *межкристаллитная (МКК) или интеркристаллитная*. Она распространяется по границам зёрен в глубь металла без каких либо заметных внешних признаков, резко снижая его механические свойства. Сталь, поражённая межкристаллитной коррозией, теряет металлический звук и при изгибе даёт надрывы по границам зёрен.

Цель: формирование практических навыков определения межкристаллитной коррозии (МКК) нержавеющей сталей.

1. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИЗУЧЕНИЯ, ИССЛЕДОВАНИЯ

Межкристаллитная коррозия – наиболее опасный вид электрохимического разрушения сплавов по причине того, что материал теряет свои прочностные свойства без заметного изменения внешнего вида. Межкристаллитная коррозия может быть вызвана неправильной термообработкой, а также определенным термическим воздействием в процессе сварки или другими видами технологической обработки. Этому виду коррозии подвержены: *аустенитные хромоникелевые стали; высокохромистые стали, содержащие более 13 % хрома; аустенитные стали, легированные молибденом; нержавеющие стали, легированные молибденом и медью.*

1.1. РОЛЬ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ В НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЯХ

Хром является основным легирующим элементом, делающим сталь коррозионноустойчивой в окислительных средах. Это объясняется образованием на поверхности плотной пассивной плёнки типа Cr_2O_3 . Такая плёнка образуется при содержании *хрома* более 12,5 %. Именно при такой концентрации *хрома* электрохимический потенциал стали скачкообразно повышается и становится положительным. Наилучшая стойкость против коррозии будет в том случае, когда весь *хром* в стали будет находиться в твёрдом растворе, а её структура будет однофазной. С этой точки зрения *углерод* в нержавеющей сталях является нежелательным элементом, т.к., связывая *хром* в карбиды, он тем самым обедняет твёрдый раствор *хромом* и понижает коррозионную стойкость. Кроме того, способствуя получению двухфазного состояния, он также может снизить коррозионную стойкость.

Таким образом, чем выше содержание хрома, тем выше коррозионная стойкость стали. В настоящее время нержавеющей стали выплавляют с содержанием *хрома* от 13 % до 28 %. Более высокое содержание *хрома* (>30 %) приводит к образованию в структуре стали весьма хрупкой δ -фазы, что нежелательно.

Весьма полезным элементом в нержавеющей стали является *никель* (или *марганец*). При содержании более 8 %, *никель* способствует получению однофазной аустенитной структуры при комнатной температуре, которая отличается высокой пластичностью, умеренной прочностью, низким пределом текучести и хорошей коррозионной стойкостью в окислительных средах. Эти стали, кроме всего прочего, лучше свариваются, теплостойки, парамагнитны. Типичным примером сталей, в которых может проявляться склонность к МКК, являются аустенитные хромоникелевые стали типа 12X18H9 или 12X18H10.

1.2.ПРИРОДА МЕЖКРИСТАЛЛИТНОЙ КОРРОЗИИ

В современной науке существуют четыре теории, объясняющие причины возникновения межкристаллитной коррозии.

1. Обеднение границ зерен *хромом* вследствие выделения по границам составляющих, богатых *хромом* карбидов.

2. Возникновение напряжений в результате образования новых фаз по границам зерен.

3. Образование по границам зерен нестойкой избыточной фазы, которая служит анодом в образующейся электрохимической системе.

4. Особое расположение хромистых карбидов в виде сплошной или слабо разобранной цепочки.

Наибольшим признанием пользуется теория локального обеднения границ зёрен *хромом* вследствие образования на границах богатых *хромом* карбидов. Суть этой теории заключается в том, что при нагреве стали в критическом интервале температур 500-700 °С (для разных сталей этот интервал различен) происходит выпадение из твёрдого раствора (аустенита) по границам зёрен сложных карбидов *железа* и *хрома* типа $(Cr, Fe)_3C$ или $(Cr, Fe)_2C_6$. Диффузия *углерода* к границам протекает быстрее, чем диффузия *хрома*. Поэтому на образование карбидов расходуется не только имеющийся там запас *углерода*, но и *углерод*, диффундирующий изнутри зёрен. В то же время *хром*, необходимый для образования карбидов, поступает первоначально только с границ или приграничных зон зерна аустенита. В результате содержание *хрома* в приграничных участках зёрен аустенита становится менее 12,5 % (даже до 6,5 %), что недостаточно для обеспечения их коррозионной стойкости.

Условия возникновения межкристаллитной коррозии в нержавеющей сталях для аустенитного и ферритного классов различны.

В закаленном состоянии нержавеющие стали аустенитного класса не склонны к ней, последующий провоцирующий отпуск в интервале 500 - 700 °С вызывает межкристаллитную коррозию. Склонность аустенитных сталей к такой коррозии оценивается по продолжительности провоцирующего отпуска, который ее вызывает — τ_{\min} (рис. 1).

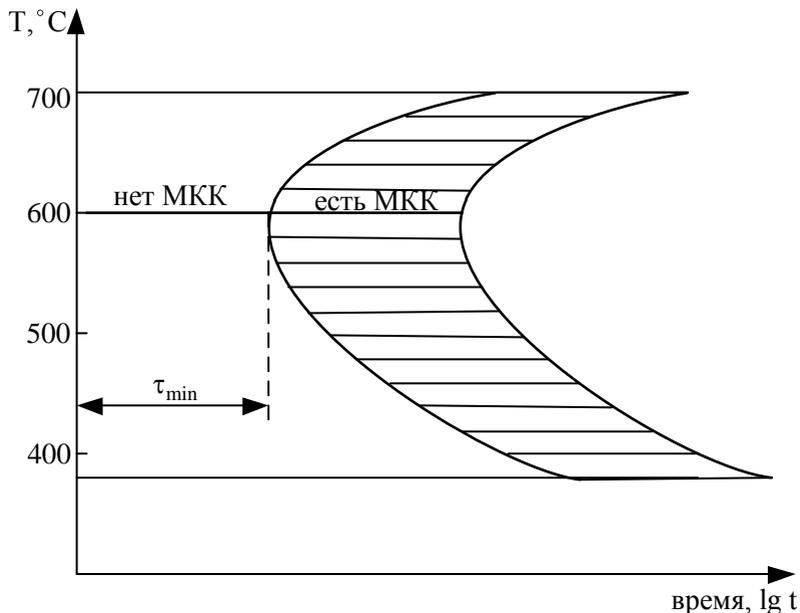


Рис. 1. С-образные кривые склонности нержавеющей сталей к межкристаллитной коррозии (МКК)

Чем больше τ_{\min} , тем меньше склонность стали к межкристаллитной коррозии. Принято считать, что если τ_{\min} больше одного часа, то сталь можно подвергать сварке и другим технологическим операциям, поскольку общее время пребывания стали в интервале температур 500 - 700 °С не превышает одного часа; если τ_{\min} меньше одного часа, то сталь можно применять, но без сварки, пайки и других горячих технологических операций или после них сталь необходимо подвергать повторной закалке.

Условия возникновения межкристаллитной коррозии в нержавеющих сталях ферритного класса другие и вызываются нагревом при высоких температурах ($>1000\text{ }^{\circ}\text{C}$) и быстрым охлаждением. Дополнительный отпуск при $550\text{--}800\text{ }^{\circ}\text{C}$ устраняет склонность к межкристаллитной коррозии.

2. СПОСОБЫ БОРЬБЫ С МЕЖКРИСТАЛЛИТНОЙ КОРРОЗИЕЙ

Ознакомившись с природой МКК и причинами, вызывающими её, можно предложить несколько способов устранения или сведения к минимуму этого явления.

1. Ввиду того, что одним из нежелательных элементов, способствующим возникновению МКК, является *углерод*, следует понизить его концентрацию в сталях до очень малых количеств (менее $0,02\text{--}0,03\%$). В этом случае вероятность образования *карбидов хрома* по границам зёрен снижается, *хром* остаётся в твёрдом растворе и, как следствие, сталь не подвергается МКК. Этот способ используется весьма ограниченно из-за дороговизны таких сталей (стали 04X18H10, 03X18H10).

2. Применение закалки аустенитных сталей на чистый аустенит с температур $1100\text{--}1150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Однако, следует иметь ввиду, что при последующем нагреве в область критических температур (например, нагрев околосварной зоны при сварке) такая сталь снова приобретёт склонность к МКК.

3. Введение в состав нержавеющих сталей стабилизирующих карбидообразующих элементов - *титана*, *ниобия*, *тантала*. Эти элементы обладают более сильным сродством к *углероду*, чем *хром*. В результате избыточный *углерод* стали связывается в очень стойкие карбиды типа MC (TiC , NbC), а весь *хром* остаётся в твёрдом растворе. Эти карбиды исключают возможность выделения карбидов *хрома* и обеднения границ зёрен *хромом* при нагреве в критическом интервале температур. Для этой цели чаще всего используется *титан*. Его необходимо ввести примерно в 5-7 раз больше, чем содержание *углерода* в стали. Примеры таких сталей: 12X18H10T, 12X18H11Б.

4. Создать смешанную феррито-аустенитную структуру, в которой условия диффузионного распада твердых растворов на границе зерен разные.

Стабилизация однофазных нержавеющей сталей сбалансированным количеством (по отношению к *углероду*) сильных карбидообразующих элементов — *титаном* или *ниобием* — не всегда достигает желаемой цели.

В двухфазных сталях феррито-аустенитного класса межкристаллитная коррозия возникает как по «аустенитному», так и по «ферритному» типу.

Закалка с высоких температур, устраняя межкристаллитную коррозию аустенитного типа, вызывает такую коррозию ферритного типа, а отпуск при 500-700 °С вызывает обратное явление.

В отношении целесообразности введения стабилизирующих добавок в двухфазные стали нет единого мнения.

Сторонники «ферритной теории» считают, что существенную роль в предупреждении межкристаллитной коррозии играет соотношение феррито- и аустенитообразующих элементов и добавка *титана* — сильного ферритообразующего элемента — способствует увеличению ферритной фазы, приводит к появлению склонности к межкристаллитной коррозии после высокотемпературных нагревов (по механизму ферритных сталей).

Сторонники «аустенитного механизма» считают, что добавка *титана* — сильного карбидообразующего элемента благоприятно действует на предотвращение межкристаллитной коррозии после высокотемпературных нагревов и последующего отпуска в интервале 500-700 °С.

Известно, что добавка *титана* как в ферритные, так и в аустенитные стали при обычном содержании углерода 0,1 % не всегда оказывается эффективной в устранении склонности к межкристаллитной коррозии. Так, ферритные титаносодержащие стали марок 08X17T, 15X25T проявляют склонность к такой коррозии после продолжительного высокотемпературного нагрева, а аустенитные титаносодержащие стали — после продолжительного высокотемпературного нагрева и последующего отпуска.

Необходимым условием для полного связывания *углерода* в карбиды *титана* или *ниобия* является наличие некоторого избыточного (по отношению к стехиометрическому) количества *титана* или *ниобия*, что объясняется термодинамическими условиями образования

карбидов титана. Реакция образования карбидов титана $Ti + C \rightleftharpoons TiC$ обратима. Каждой температуре соответствует определенная степень диссоциации *карбида титана*, тем большая, чем выше температура. Таким образом, с повышением температуры в твердом растворе увеличивается концентрация *углерода* и *титана*.

Добавка *титана* в количестве, необходимом для связывания *углерода*, является благоприятной. Однако большее количество *титана* приводит к увеличению феррита после высокотемпературных нагревов, что ускоряет развитие межкристаллитной коррозии.

Склонность двухфазных сталей к межкристаллитной коррозии обычно оценивается по методике, принятой для аустенитных сталей. При этом не учитывается важный фактор, который оказывает влияние на оценку склонности двухфазных сталей к такой коррозии. В интервале температур 400-800 °С двухфазные стали склонны к охрупчиванию, причем температурно-временные интервалы охрупчивания и проявления склонности к межкристаллитной коррозии могут совпадать или быть различными в зависимости от фазового состава сталей. Поэтому необходимо перед испытанием образцов на межкристаллитную коррозию выявить температурные области хрупкого разрушения, поскольку образцы, хрупкие до испытания (возникновение трещин на изогнутой поверхности образцов), остаются хрупкими и после испытания.

3. НОЖЕВАЯ И ТОЧЕЧНАЯ КОРРОЗИЯ

Разновидностью МКК считается ***ножевая коррозия***(рис.2). Механизм ее образования идентичен тому, который вызывает межкристаллитные разрушения. *Ножевое ржавление поражает нержавеющие стали в областях, которые находятся непосредственно возле сварного соединения (то есть примыкают к нему)*. Такой коррозии подвержены даже сплавы, прошедшие стабилизацию *ниобием* либо *титаном*.

Ножевые коррозионные проявления обусловлены полным переходом карбидов *ниобия* и *титана* при сварочных температурах более 1300 °С в твердый раствор. Когда после сварки сталь охлаждается (процесс должен идти достаточно быстро), выделения этих карбидов не происходит, зато карбиды *хрома* сразу же появляются возле соединительных швов. Также *ножевая коррозия* активно развивается в

сильноокислительных атмосферах, когда металл в перепассивированном состоянии.



Рис. 2. Ножевая коррозия

Защита от ножевого ржавления выполняется такими способами:

- выбор такого сварочного режима, при котором на пришовную зону не оказывают влияния высокие температуры;
- уменьшение объемов углерода в «нержавейке»;
- повышение (по сравнению с расчетным) содержания в сплаве ниобия или титана.

Под точечной коррозией принято понимать локализованное разрушение сталей, проявляющееся в виде отверстий на их поверхности (рис.3). Это происходит из-за недостатка в определенной (как правило, небольшой по размерам) области кислорода. Данная ситуация приводит к тому, что эта область по своим свойствам становится анодной, а другая область, где кислород имеется в избытке, превращается в катодную. В результате наблюдается гальваническая коррозия в узлокализованной зоне, которая способна продвигаться с течением времени в глубинные слои стали.

Точечная коррозия нержавеющей сталей встречается очень часто в форме питтингов с существенными глубинами, но малым (до одного миллиметра) диаметром. Питтинги образуются из-за появления на «нержавейке» серы и других посторонних включений, а также при повреждении пассивного слоя на металле. Предотвратить точечное разрушение можно добавочным легированием стали никелем и молибденом.



Рис. 3. Точечная коррозия

4. ИСПЫТАНИЯ НА СКЛОННОСТЬ К МЕЖКРИСТАЛЛИТНОЙ КОРРОЗИИ

Ввиду большой опасности МКК большинство выплавляемых нержавеющей сталей проходят обязательные испытания на склонность к этому виду коррозии. Испытания проводят в соответствии с ГОСТ 6032-89.

Этот стандарт устанавливает методы испытания стойкости против МКК металлопродукции из коррозионно-стойких сталей и сплавов, в том числе двухслойных, сварных соединений, наплавленного металла и металла шва. Стандарт распространяется на стали ферритного, аустенитного, аустенито-ферритного, аустенито-мартенситного классов, а также сплавы на железоникелевой основе.

В зависимости от химического состава стали или сплава и их назначения существуют несколько методов испытания на МКК. Методы имеют буквенные обозначения: АМ, АМУ, АМУФ, ВУ, ДУ. Буквы в условных обозначениях расшифровываются следующим образом:

А, Б, В, Д - буквенное наименование методов;

М - проведение испытания в присутствии металлической *меди* в растворе;

Ф - испытания в присутствии ионов *фтора* в растворе;
У - ускоренное испытание.

5. ОБРАЗЦЫ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ

Для различных видов металлопродукции стандарт предусматривает разные виды и размеры образцов.

В случае испытания листового материала толщиной не более 10 мм, плоский образец вырезают из любого места. Его размеры могут несколько отличаться в зависимости от толщины проката, марки стали и метода испытания.

Одним из наиболее распространенных методов испытания на склонность к МКК является метод АМ. (Подробно о других методах см. в ГОСТ 6032-89). Для этого метода размеры плоского образца могут быть следующими: сторона «а» - не менее 50 мм, «в» - 20 мм, «с» - такая же, как у заготовки.

Изготовление из заготовки образцов требуемой толщины производится механической обработкой. Для испытания методом АМ листового материала изготавливают:

- из аустенитных сталей - один комплект образцов (но не менее 2 штук);
- из ферритных, аустенито-ферритных или аустенито-мартенситных сталей - два комплекта образцов (не менее 4 штук), один из которых контрольный.

Нестабилизированные стали (не содержащие *титан* или *ниобий*), применяемые в состоянии поставки, испытывают без какой-либо предварительной (провоцирующей) термической обработки. Стабилизированные стали и сплавы (содержащие *титан* или *ниобий*) испытывают на образцах, вырезанных из заготовок подвергнутых дополнительному провоцирующему нагреву по режимам, приведенным в табл.1.

Допускается проводить провоцирующий нагрев не на заготовках, а на образцах.

Таблица 1
Режимы нагрева стабилизированных сталей и сплавов

Марки сталей и сплавов	Режим нагрева		Среда охлаждения
	Температура, °С	Продолжительность выдержки, мин.	
08X17T , 15X25T	1080-1120	30 ± 3	Вода или воздух
08X22H6T , 08X22H6M2T , 08X18Г8H2T	540-560	60 ± 3	Воздух
03X21H21M4ГБ, 03XH28MДГ	690-710	60 ± 3	Воздух
06XH28MДГ	690-710	20 ± 3	Воздух
Все остальные стабилизированные и нестабилизированные стали с содержанием массовой доли углерода не более 0,03 % *	640-660	60 ± 3	Воздух

* Стали марок 03X17H14M3 и 03X16H15M3 испытывают методом ДУ на образцах без дополнительного провоцирующего нагрева при отсутствии иных требований потребителя.

Окалина, если она образовалась на поверхности образцов после закалки или провоцирующего нагрева, должна быть удалена химическим или электрохимическим травлением или механическим способом. Параметр шероховатости поверхности образцов R перед испытанием должен быть не более 0,8 мкм. Требуемую шероховатость достигают шлифованием или полированием. Далее образцы маркируют. Номер выбивают или наносят электропером. Перед испытанием образцы обезжиривают органическими растворителями: *четырёххлористым углеродом, ацетоном, бензином* и т.п.

6. СУЩНОСТЬ МЕТОДА АМ

Образцы стали, предназначенные для испытаний, выдерживают в кипящем растворе сернокислой меди и серной кислоты в присутствии металлической *меди*. Этот метод используют для большинства аустенитных хромоникелевых и хромомарганцевых коррозионно-стойких сталей.

Раствор приготавливают следующим образом. В дистиллированную воду объёмом 1000 см³ добавляют 130 г сернокислой меди, а затем небольшими порциями добавляют серную кислоту объёмом 120 см³.

Испытания проводят в стеклянной колбе с обратным холодильником или в бачке из хромоникелевой коррозионно-стойкой стабилизированной стали с крышкой, снабженной обратным холодильником. На дно сосуда насыпают слой медной стружки, а на неё укладывают испытуемые образцы (кроме контрольных). Далее реакционный сосуд заполняют приготовленным раствором не менее, чем на 20 мм выше поверхности образцов и непрерывно кипятят, не допуская нагрева холодильника.

Продолжительность выдержки в кипящем растворе – 24 часа. При вынужденном перерыве испытания образцы не извлекают из раствора. Для некоторых марок сталей выдержка может составлять 15 часов.

После выдержки образцы промывают водой и просушивают. В случае отложения меди на поверхности её удаляют, промывая образцы в 20-30 %-ном растворе азотной кислоты.

За развитием межкристаллитной коррозии можно наблюдать несколькими способами:

1. периодически извлекать образцы из раствора и измерять их электросопротивление: увеличение электросопротивления указывает на развитие межкристаллитной коррозии;

2. периодически извлекать образцы из раствора и, бросая их на твердую плиту (кафель, стекло и т.п.), по звуку судить о развитии межкристаллитной коррозии: при глубокой межкристаллитной коррозии образец (если он не покрыт отложениями меди) теряет металлический звон;

3. подвергать образцы холодному загибу на угол 90° с помощью специальных оправок, радиус закругления которых обычно от 1 мм до 5 мм в зависимости от толщины образца и марки стали (в некоторых

случаях до 10 мм). При изгибе образцу придают Z-образную форму, чтобы проверить обе поверхности. Такую же операцию проводят и с контрольными образцами. Осмотр изогнутых образцов проводят с помощью лупы с увеличением 8-12 раз. Отсутствие поперечных трещин в месте изгиба свидетельствует о стойкости против МКК. Если же обнаружены поперечные трещины, или образец разрушился при изгибе, то это свидетельствует о протекании межкристаллитной коррозии;

4. микрошлиф исследовать под микроскопом (металлографический анализ): границы зерен стали с межкристаллитной коррозией выглядят широкими и темными.

7. МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИСПЫТУЕМЫХ ОБРАЗЦОВ

Для металлографического анализа из неизогнутого участка образца, прошедшего испытания, вырезают пластинку так, чтобы плоскость реза была перпендикулярна контролируемой поверхности образца. В случае испытания сварных образцов плоскость реза должна быть перпендикулярна сварному шву. По плоскости реза готовят микрошлиф, исключая возможность завала кромок.

Наличие и глубину межкристаллитной коррозии устанавливают путём исследования протравленных до слабого выявления границ зёрен шлифов при увеличениях от 200 до 500 раз. Режимы травления и реактивы, используемые для этого, зависят от контролируемых марок сталей. Шлиф следует просматривать со стороны контролируемой поверхности.

Определяют максимальную глубину проникновения МКК в шести полях зрения. В эти поля зрения должны быть включены участки с наибольшей глубиной межкристаллитной коррозии.

Признаком стойкости против межкристаллитной коррозии при металлографическом контроле считается разрушение (разъедание) границ зёрен на глубину не более 30 мкм; при толщине проката не более 1,5 мкм - на глубину не более 10 мкм.

8. ЗАДАЧИ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Задачи

В настоящей работе студенты должны изучить природу МКК, способы борьбы с ней и методику испытаний на МКК.

После выполнения лабораторной работы студенты должны приобрести навыки:

- проведения испытаний на МКК по методу АМ,
- проведения металлографического анализа коллекции микрошлифов.

Порядок выполнения работы

1. Пользуясь предлагаемыми методическими материалами, изучите природу межкристаллитной коррозии нержавеющей стали, способы её предотвращения.

2. Произведите визуальный контроль серии образцов стали 12Х18Н10Т после испытания их по методу АМ и загиба на 90° , выделить номера образцов, наиболее интенсивно подвергшихся МКК и наиболее стойких против МКК.

3. Проведите металлографический анализ коллекции подготовленных заранее микрошлифов из тех же самых образцов после испытания на МКК. С этой целью исследуйте на металлографическом микроскопе при увеличении 200-500 раз шлифы, протравленные химическим или электролитическим методами.

4. В случае выявления МКК определите максимальную глубину разрушения (разъедания) границ зёрен в шести полях зрения с наибольшей глубиной межкристаллитной коррозии.

5. Для определения глубины МКК используйте микроскоп с окуляр-микрометром и заранее определённой ценой его деления.

6. Дайте заключение о стойкости исследованных образцов против МКК, учитывая, что признаком стойкости считается разрушение границ на глубину не более 30 мкм.

7. Составьте отчёт по проделанной работе.

9. СХЕМА И ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Необходимые материалы и оборудование

1. Комплект микрошлифов.
2. Образцы стали 12X18Н10, 12X18Н10Т после испытания на МКК по методу АМ (или АМУФ) и контрольного загиба на 90° .
3. Металлографический микроскоп МИМ – 7.

Микроскоп металлографический вертикальный МИМ – 7

Металлографический микроскоп позволяет рассматривать при увеличении от 60 до 1500 раз непрозрачные тела в отражённом свете.

Микроскоп МИМ-7 (рис. 4) состоит из трех основных частей: осветителя, корпуса и верхней части.

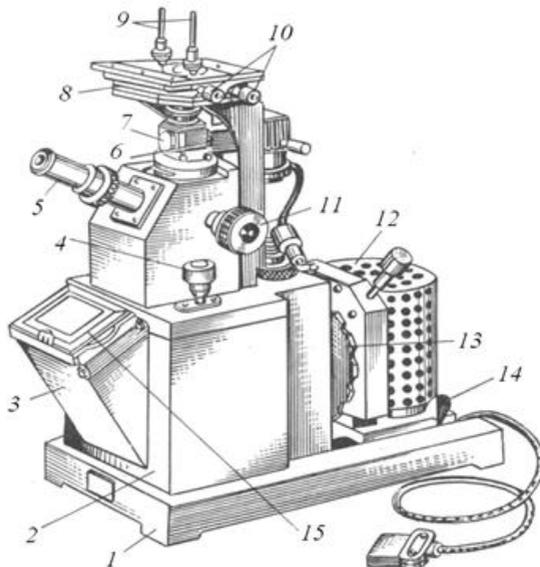


Рис.4. Общий вид микроскопа МИМ-7:

1 – основание; 2 – корпус; 3 - фотокамера; 4 – микрометрический винт; 5 – визуальный тубус с окуляром; 6 – рукоятка иллюминатора; 7 – иллюминатор; 8 – предметный столик; 9 – клеммы; 10 – винты перемещения столика; 11 – макрометрический винт; 12 – осветитель; 13 – рукоятка светофильтра; 14 – стопорное устройство осветителя; 15 – рамка с матовым стеклом

10. ФОРМА ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Отчет по лабораторной работе должен содержать следующее:

1. Название и цель работы.
2. Краткое описание природы МКК и способов борьбы с ней.
3. Краткое описание одного из методов выявления МКК (метод АМ).
4. Результаты визуального контроля образцов.
5. Рисунки микроструктур поверхностного слоя образца, стойкого против МКК и подвергшегося МКК (отметьте, в чём проявляется МКК).
6. Результаты измерения глубины разъедания границ зёрен, выявленные металлографическим контролем.
7. Краткие выводы о стойкости изученных образцов против МКК.
8. Список используемой литературы.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Перечислите причины, вызывающие межкристаллитную коррозию.
2. Назовите легирующие элементы, повышающие коррозионную стойкость сталей, дайте им характеристику.
3. Перечислите конструкционные материалы наиболее подверженные этому разрушению.
4. Опишите способы устранения МКК.
5. Охарактеризуйте ножевую и точечную коррозии.
6. Дайте характеристику методам испытаний по выявлению склонности к межкристаллитной коррозии.
7. Опишите методику испытаний образцов сталей на МКК по методу АМ.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адаскин А.М., Климов В.Н., Онегина А.К., Седов Ю.Е. Материаловедение в машиностроении в 2 ч. Часть 1- 2-е изд., испр. и доп.- М.: Юрайт –2017. - 258 с.

2. Богодухов, С.И. Курс материаловедения в вопросах и ответах: Учебные пособия / С.И. Богодухов, А.В. Синюхин, Е.С. Козик. — Электрон.дан. — М. : Машиностроение, 2014. — 352 с. — URL: <http://e.lanbook.com/book/63212>.

3. Сапунов, С.В. Материаловедение: Учебные пособия — Электрон.дан. — СПб. : Лань, 2015. — 208 с. — URL:<http://e.lanbook.com/book/56171>.

