МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

Единая система защиты от коррозии и старения

МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ

Общие требования к методам испытаний на коррозионное растрескивание

ГОСТ 9.901.1—89 (ИСО 7539-1—87)

Unified system of corrosion and ageing protection. Metals and alloys. General requirements for corrosion cracking test methods

ОКСТУ 0009

Дата введения 01.01.91

Настоящий стандарт устанавливает общие требования к выбору, использованию и обработке результатов различных методов испытаний на коррозионное растрескивание (КР).

Общие требования к испытаниям на КР используют при планировании и проведении испытаний с целью оценки чувствительности металлов к КР.

Термины, применяемые в стандарте, и пояснения к ним приведены в приложении.

1. ВЫБОР МЕТОДА

1.1. При выборе метода типа «выдержал/разрушился» необходимо, чтобы метод не был настолько «жестким», чтобы это привело к отказу от использования материала, который в конкретных условиях эксплуатации оказался бы вполне пригодным, и не был настолько «мягким», чтобы это способствовало использованию материала в условиях, где могло бы произойти его быстрое разрушение.

1.2. Цель испытания на КР состоит в более быстром получении результатов, чем это может быть в условиях эксплуатации. Как правило, это достигается за счет использования более высокого напряжения, медленной непрерывной деформации, применения образцов с предварительно нанесенными трещинами, более высокой концентрации реагентов в испытательной среде по сравнению с эксплуатационной средой, повышенной температуры и электрохимической активации. Важно контролировать эти способы так, чтобы механизм разрушения остался неизменным.

2. СИСТЕМЫ НАГРУЖЕНИЯ

2.1. **Общие положения**

2.1.1. Методы нагружения испытуемых образцов независимо от исходного состояния (гладкие, надрезанные или с предварительно нанесенными трещинами) группируют по следующим признакам:

постоянная деформация;

постоянная нагрузка;

деформация с малой скоростью.

2.1.2. При использовании образцов с предварительно нанесенными трещинами критерием стойкости материала к КР является пороговый коэффициент интенсивности напряжений $K_{Iкр}$. Испытания допускается проводить при постоянном коэффициенте интенсивности напряжения.

2.2. **Испытания при постоянной деформации**

2.2.1. Эти испытания являются наиболее распространенной группой благодаря многочисленным видам испытаний на изгиб. Кроме того, они имитируют напряжения, возникающие при изготовлении изделия, с которыми наиболее часто связаны разрушения на стадии эксплуатации.

2.2.2. Листовой материал часто испытывают на изгиб; плиты испытывают на растяжение или на С-образных кольцевых образцах.

2.2.3. Испытания на изгиб выгодно отличаются от других испытаний благодаря использованию простых, а следовательно, и более дешевых образцов и нагружающих приспособлений. Для измерения поверхностных напряжений в некоторых случаях следует использовать проволочные тензометры.

gost.e-ecolog.ru

2.2.4. Трубчатый материал испытывают на образцах С-образной формы, которые нагружают частичным сужением или расширением зазора. С-образный образец наиболее целесообразно использовать при испытаниях толстостенных изделий, например, из алюминиевых сплавов в высотном направлении.

Примечание. При релаксации напряжений степень релаксации может меняться от образца к образцу, и это может влиять на время до разрушения в зависимости от числа развивающихся трещин или питтингов. Заметная релаксация нагрузки наблюдается на образце с многочисленными трещинами или питтингами, малая — когда присутствует только одна или несколько трещин. Если развивается только одна трещина, она не обязательно должна достигнуть больших размеров перед внезапным разрушением, поскольку приложенная нагрузка остается высокой.

2.3. **Испытания при постоянной нагрузке**

2.3.1. Сущность метода заключается в моделировании разрушения при КР от приложенных или рабочих постоянных нагрузок. Поскольку эффективное поперечное сечение образца уменьшается по мере развития трещин, то напряжения увеличиваются, что скорее приводит к более быстрому разрушению или к полному разрушению, чем испытания при постоянной деформации.

2.3.2. Стоимость испытаний образцов при постоянной нагрузке на индивидуальных машинах уменьшают при проведении испытаний цепочки образцов на одной машине. Кроме того, цепочки одноосных разрывных образцов в испытательной камере соединяют с помощью простых нагружающих соединений.

Примечание. В испытаниях при постоянной нагрузке происходит повышение напряжения по мере развития трещин, следовательно, мало вероятно, что зародившиеся трещины перестанут распространяться, как это может быть при испытаниях при постоянной деформации при напряжениях ниже пороговых. Таким образом, пороговое напряжение, определенное при постоянной нагрузке, может быть ниже, чем при постоянной деформации.

2.4. **Испытания при малой скорости деформации**

2.4.1. Сущность метода заключается в растяжении или изгибе образца с относительно медленной скоростью, например, 10^{-6} $с^{-1}$ при соответствующем воздействии среды до тех пор, пока не произойдет разрушение.

2.4.2. Образование трещин при КР происходит обычно при деформации в диапазоне 10^{-3}—10^{-6} мм $с^{-1}$, т.е. разрушение образцов обычных размеров в условиях лабораторных испытаний при постоянной деформации или нагрузке произойдет через несколько дней. Это справедливо для системы, в которой коррозионные трещины при КР зарождаются быстро.

Примечание. Метод испытания при малой скорости деформации, как правило, приводит к разрушению образцов в течение приблизительно 2 суток в результате вязкого разрушения или коррозионного растрескивания в зависимости от чувствительности металла к последнему. Преимущество этих испытаний состоит в том, что они протекают в определенном режиме в течение относительно короткого периода времени.

2.4.3. Оборудование для испытаний при малой скорости деформации должно допускать выбор скорости деформации и обладать достаточной мощностью, чтобы обеспечить требуемые нагрузки. Устройство нагружения состоит из умеренно жесткой рамы и приводного механизма с рядом редукторов, который допускает выбор скоростей движения траверсы в диапазоне 10^{-3}—10^{-7} мм $с^{-1}$.

2.4. Одинаковая скорость деформации не во всех системах позволяет получить идентичную характеристику коррозионного растрескивания, и скорость выбирают применительно к конкретно исследуемой системе.

3. ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ СРЕДА

3.1. **Состав раствора**

3.1.1. Окружающая среда является одним из самых важных воздействующих факторов при испытаниях на КР.

Следует учитывать, что для ряда сплавов относительная чувствительность к КР в разных растворах не всегда одинакова.

Примечание. Стандартные растворы широко используют для испытаний определенных типов сплавов, например, кипящие растворы хлористого магния используют для испытаний нержавеющих сталей, кипящие нитратные растворы — для испытаний углеродистых сталей.

Испытания в растворах проводят при условии, что их приготовляют и используют в соответствии с требованиями стандартов, при этом условии допускаемые погрешности не влияют на результаты испытаний на КР.

Примечание. Существуют испытания, где относительно небольшие изменения состава испытательной среды могут вызвать изменения характеристик растрескивания, например, при использовании 42 %-ного кипящего раствора хлористого магния для испытания нержавеющих сталей. Так как гидрат хлорида магния

гигроскопичен, то приготовление раствора взвешиванием рассчитанной навески соли может привести к значительным расхождениям у разных исследователей в температуре кипения раствора, а отсюда — к расхождениям во времени до разрушения при испытании на КР. Готовить указанный раствор следует добавляя воду в гидрат хлорида магния для достижения нужной температуры кипения.

3.1.3. Следует учитывать влияние изменения pH среды во время испытания на результаты испытания, как и изменение начального значения pH. Изменение pH во время испытания будет зависеть от объема раствора и площади поверхности испытуемого образца, а также от продолжительности испытания. Использование относительно большого объема раствора в сочетании с небольшой площадью металла, контактирующего с раствором, или обновление раствора в процессе испытаний позволяет избежать значительного изменения pH.

Время до разрушения образцов в этом растворе будет отличаться от испытаний при небольшом объеме раствора и большой площади образцов. Если объем раствора достаточно мал или площадь образцов велика, в некоторых системах разрушение образцов может не произойти. Когда испытания осуществляются при анодной поляризации, особенно при погружении дополнительного электрода непосредственно в коррозионную ячейку, влияние pH наиболее заметно.

При использовании электрохимической поляризации возможно разложение раствора до такой степени, что механизм разрушения будет значительно изменен по сравнению с тем, который имел место при свободном потенциале коррозии. Для предотвращения этого используют буферные растворы, но их применение может изменить механизм растрескивания или даже замедлить этот вид разрушения.

3.1.4. Если кислород играет важную роль в процессах, которые способствуют растрескиванию, то небольшие изменения его концентрации в растворе могут оказывать довольно заметное влияние на образование трещин. Например, при испытании определенных марок алюминиевых сплавов в аэрированных растворах разрушение происходит в течение нескольких часов, а в неаэрированных не происходит.

Кислород, специально введенный или удаленный из раствора, служит определяющим фактором возможных эффектов, возникающих от присутствия этого вещества. Насыщение кислородом раствора при перемешивании или распылении приводит к уменьшению времени разрушения алюминиевых сплавов по сравнению с полным погружением.

3.1.5. Результаты испытаний, проведенных в одном из стандартных растворов, принимают за относительную чувствительность к КР ряда сплавов независимо от состава эксплуатационных сред. При выборе материалов для промышленного оборудования заключение о стойкости к КР следует делать на основе данных испытаний, наиболее приближенных к эксплуатационным условиям.

3.1.6. При моделировании эксплуатационных условий следует учитывать, что может иметь место локальное увеличение концентрации раствора, например, в щелях или там, где теплопередача происходит через поверхности раздела, при этом причиной образования трещин может быть среда другого состава. Другим примером является питтинг, предшествующий коррозионному растрескиванию, при котором среда, вызывающая растрескивание, возникает на стадии развития питтингов.

Следует учитывать, что состав среды в вершине трещины может отличаться от основной среды, что наблюдается как у образцов с предварительно нанесенными трещинами, так и у плоских образцов с развивающимися трещинами.

3.2. **Электрохимическое воздействие**

3.2.1. На электрохимическую природу реакций, связанных с КР, влияет приложение электрического тока или потенциала от внешнего источника: смещение потенциала в анодную область увеличивает чувствительность к растрескиванию, наложение катодного тока замедляет растрескивание или даже его останавливает в зависимости от особенностей механизма реакции. Например, если сплав восприимчив к КР в результате воздействия водорода, эффект воздействия от изменения потенциала может быть противоположным указанному выше, исходящему из предположения, что растрескивание происходит в результате растворения по активным путям.

Увеличение тока и контроль потенциала образцов для получения надежных данных проводят с целью уменьшения времени до разрушения в лабораторных испытаниях или улучшения воспроизводимости результатов. При использовании гальваностатической техники влияние ее состоит не только в простом воздействии на кинетику растрескивания, поскольку приложение тока будет изменять и потенциал, а следовательно, способствовать различным эффектам. Испытания на КР с электрохимической поляризацией не допускается проводить без принятия мер по обеспечению стабильности механизма разрушения и хорошей корреляции полученных данных с опытом эксплуатации.

3.2.2. Влияние потенциала на КР меняется от системы к системе,например, углеродистые стали разрушаются в различных диапазонах потенциала в зависимости от того, в какую среду они погружены: в растворы гидроокисей карбонатов или нитратов.

Примечание. Свободный потенциал коррозии сталей в соответствующих растворах обычно лежит в пределах диапазона растрескивания для нитратных растворов и вне этого диапазона для других растворов. В конкретных условиях испытания при разрушении в нитратных растворах при свободном потенциале коррозии, оно может и не произойти в гидроокисных или карбонатных растворах. Это не означает, что углеродистые стали никогда не будут разрушаться от КР в двух последних средах при свободном потенциале коррозии, а означает, что данная сталь в конкретных растворах не разрушается при свободном потенциале коррозии, который зависит от состава стали, состояния ее поверхности и состава среды.

3.2.3. В лабораторных испытаниях, моделирующих эксплуатационные разрушения, следует точно воспроизводить воздействие внешних факторов и особенно точно соблюдать соответствующий потенциал.

В результате незначительных добавок к среде, вводимых преднамеренно или присутствующих в качестве примесей, коррозионный потенциал может располагаться в диапазоне образования трещин, вызывая КР без наложения потенциала.

Примечание. Этим можно объяснить влияние незначительных добавок свинцовых солей в растворы гидроокиси натрия, способствующие щелочному растрескиванию в лабораторных испытаниях, в то время, как при отсутствии добавок свинцовых солей растрескивания не происходит. Влияние незначительных изменений химического состава сталей может быть отчасти объяснено аналогично. Тот факт, что небольшие добавки алюминия в углеродистой стали повышают ее сопротивление к КР, а присадка меди уменьшает это сопротивление, можно объяснить тем, что в первом случае достигается более отрицательный, а во втором — более положительный потенциал коррозии с соответствующим влиянием на предрасположенность к КР.

3.2.4. Если установлено, что КР происходит только в пределах критического интервала потенциалов, то можно измерением потенциала в реальных условиях определять, будет ли происходить растрескивание эксплуатирующего оборудования. В некоторых случаях опасность КР может быть уменьшена или полностью устранена поддержанием потенциала за пределами критического интервала введением ингибиторов либо катодной или анодной защитой.

3.2.5. Использование потенциостата в лабораторных испытаниях (который, как правило, не применяют в условиях производства, так как он значительно повышает стоимость испытаний) — наиболее эффективный способ достижения данного потенциала и повышения стабильности результатов. Гальваностатические методы, оборудование которых значительно дешевле методов, связанных с применением потенциостата, допускается использовать в отдельных случаях. При этом плотность приложенного тока должна быть относительно малой, чтобы потенциал не отличался значительно от свободного потенциала коррозии, если неизвестно, распространяются ли влияния потенциала по п. 3.2.2 на рассматриваемую систему.

Механические испытания требуют проведения электрохимических исследований, но для исследовательской работы, направленной на изучение КР в условиях эксплуатации, испытания при свободном потенциале коррозии (при условии, что он известен для данных условий эксплуатации) более надежны.

Свободный потенциал коррозии зависит от ряда факторов (состояние поверхности, время экспонирования и т. д.), поэтому этот показатель в лабораторных испытаниях, использующих образцы с механически обработанными или полированными поверхностями, может существенно отличаться от показателей, полученных на образцах в условиях эксплуатации, например, образцы, на поверхности которых имеется заводская окалина или ржавчина.

Электрохимический контроль испытаний, моделирующих эксплуатационные разрушения с целью сокращения времени испытаний или получения стабильной воспроизводимости, оправдан только в том случае, если будут соблюдены рассмотренные условия.

В других случаях для получения стабильной воспроизводимости лабораторных данных проводят правильно спланированную, статистически надежную серию экспериментов.

3.2.6. Так как потенциал оказывает значительное влияние на характеристику КР, следует принять меры для изолирования испытуемых образцов от металлических деталей оборудования, которые погружены в испытательный раствор.

3.2.7. Потенциал в вершине трещины, особенно при использовании образцов с предварительно нанесенной трещиной, может отличаться от потенциала на поверхности там, где появляется трещина и где обычно измеряют потенциал. Значения потенциала вдоль трещин могут быть весьма незначительными — несколько милливольт — но в других случаях достигают сотен милливольт.

4. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОБРАЗЦОВ

4.1. **Общие положения**

4.1.1. Размер образца может ограничивать стоимость материала, наличие материала в требуемом металлургическом состоянии, а также возможности испытательного оборудования (предельные нагрузки, объем испытательной камеры). Крупные образцы имеют преимущество в том, что при

испытании все требуемые характеристики материала получают с высокой точностью и исключаются проблемы, связанные с общей или точечной коррозией, которые возникают при использовании образцов малого поперечного сечения, например, очень тонкой проволоки.

4.1.2. Ориентация опытных образцов, взятых от основного материала, по отношению к форме и ориентации зерен и остаточные напряжения имеют большое значение, равно как и наличие неметаллических включений и частиц второй фазы.

4.1.3. В некоторых случаях программы испытания на КР составляют после разрушений в условиях эксплуатации, и разрушенные детали используют в качестве опытного материала. Если требуется отобрать образцы из разрушенных изделий для исследования развития микротрещин, их отбирают только из зон, свободных от трещин.

Различия в структуре металла, имеющиеся в исследуемом изделии, также должны учитываться при выборе материала для изготовления образцов.

4.1.4. На испытуемые образцы наносят идентификационные номера или их клеймят. Они должны располагаться как можно дальше от испытуемого участка образца, например, на концах образцов типа изогнутого бруса, чтобы избежать влияния на результаты испытаний.

4.2. **Состояние поверхности**

4.2.1. Зарождение трещин КР всегда связано с инициированием реакций на поверхности, поэтому состояние поверхности определяется изменением ее шероховатости в зависимости от особенностей выбранного метода обработки. На поверхности могут оставаться остаточные напряжения, и локальные изменения состава и структуры могут быть связаны с поверхностными слоями. В программе испытаний следует учитывать эти факторы.

4.2.2. Чистота поверхности, как правило, оказывает более заметное влияние на результаты испытаний мягких, более пластичных материалов или образцов большого сечения. Так на КР латуней не оказывает заметного влияния значительное изменение шероховатости поверхности, тогда как шлифование, особенно если при нем образуются микротрещины, может резко снизить сопротивление высокопрочных сталей к КР. Влияние изменения шероховатости поверхности изменяется обратно пропорционально сечению образцов.

4.2.3. Остаточные напряжения возникают на поверхности как результат неоднородной пластической деформации, например, обусловленной механической обработкой, или косвенно, вследствие тепловых эффектов или изменений объема, связанных с фазовыми превращениями. Могут также возникать локальные изменения в составе. Остаточные напряжения на поверхности образцов, испытываемых на КР, влияют на длительность испытаний: сжимающие напряжения увеличивают, а растягивающие — уменьшают время до разрушения при других сравнимых условиях. Остаточные напряжения устраняют или уменьшают соответствующей термической обработкой, проводимой таким образом, чтобы не повлиять на другие факторы, например, на механические свойства.

4.2.4. Помимо различных воздействий, объясняемых эффектами остаточных напряжений, структурные изменения, возникающие в поверхностных слоях образцов, могут быть значительными сами по себе в отношении влияния на КР некоторых сплавов. Влияние пластической деформации на сопротивление растрескиванию может быть довольно значительным, как и влияние локальных фазовых превращений под действием деформации или тепла, генерированного последней.

Например, время до разрушения образцов сталей типа 18—8 с механически обработанной поверхностью будет меньше (примерно в 4 раза), чем для образцов с поверхностью, полученной электрополированием; образцы высокопрочных, закаленных и отпущенных сталей, шлифованию которых способствует образование тонкого слоя неотпущенного мартенсита на поверхности, обладают повышенной чувствительностью к КР.

4.2.5. Термическая обработка, проводимая на полностью изготовленных образцах, может вызвать довольно значительные изменения состава поверхности, например, обезуглероживание сталей или обесцинкование латуней, которые вызывают резкое изменение сопротивления КР. Пленки окислов, особенно если они образовались при высоких температурах во время термообработки или изготовления, могут влиять на результаты испытаний, в особенности тогда, когда время зарождения трещин составляет значительную часть времени до разрушения.

4.2.6. Если до окончательной подготовки поверхности образцов используют химические или электрохимические методы обработки, следует принять меры, обеспечивающие минимальное загрязнение поверхности. Для материалов, чувствительных к разрушению при наводороживании, не допускается использовать химические или электрохимические методы обработки, при которых выделяется водород. При этих обработках иногда возникает избирательная коррозия определенных фаз, что может влиять на результаты испытаний.

4.3. **Влияние площади образцов**

Результаты испытаний на КР зависят от площади испытуемых образцов, подвергаемой действию среды. Обычно влияние заключается в увеличении разброса результатов, и образец должен иметь достаточные размеры, чтобы свести к минимуму этот эффект.

4.4. **Испытание образцов с предварительно нанесенной трещиной**

4.4.1. Использование образцов с надрезами при испытаниях на КР дает стабильную воспроизводимость результатов благодаря легкости измерения таких параметров, как скорость роста трещин, когда положение трещины предварительно определено. При испытаниях гладких образцов в идентичных условиях растрескивания не наблюдается. Исследования в области механики хрупкого разрушения привели к эволюции новой области испытания на КР на основе использования образцов, имеющих острую, предварительно нанесенную трещину, обычно получаемую от надреза путем усталостного нагружения.

Примечание. Определение в процессе испытаний значений коэффициента интенсивности напряжений K_1, который определяет область напряжений вблизи вершины трещины, имеет большое практическое значение, особенно для материалов с высоким пределом текучести, поскольку изделия часто имеют трещины, появляющиеся в процессе их изготовления или эксплуатации. По величине коэффициента интенсивности напряжений может быть оценена вероятность и предельная степень распространения трещины, что позволит сделать выводы о возможности дальнейшей эксплуатации изделия.

4.4.2. Трудности при выборе гладких образцов для оценки сопротивления КР аналогичны трудностям при выборе образцов с предварительно нанесенной трещиной из-за большого количества типов таких образцов. Стойкость к КР образцов различных размеров и форм связывается через коэффициент интенсивности напряжения, что позволяет сопоставлять результаты испытаний.

Наибольшие трудности связаны с необходимостью выбора образцов больших размеров из высокопластичных металлов. Эксплуатационные разрушения при КР наиболее часто происходят в высокопластичных материалах в относительно тонких сечениях, что приводит к определенным проблемам при выборе образцов. Образцы с предварительно нанесенными трещинами, размеры которых не соответствуют требованиям линейного упругого анализа, следует применять в тех случаях, когда результаты испытаний используют для изделий таких же размеров и аналогичных условий эксплуатации.

4.4.3. Исходя из линейной механики разрушения, можно найти примеры, где использование образцов с предварительно нанесенными трещинами для моделирования условий эксплуатации оправдано той относительной легкостью, с которой зарождаются трещины при развитии коррозионного процесса, или преимуществами, которые могут быть получены от распространения одной единственной трещины.

Примечание. Не всегда справедливы утверждения, что использование указанных образцов исключает начальную стадию развития трещин, так как они ошибочно связываются с влиянием коррозионного питтинга, приводящего к концентрации напряжения, соизмеримой с концентрацией напряжений в вершине предварительно нанесенной трещины.

Размеры и форма питтинга, надреза или предварительно нанесенной трещины, распределение напряжений при испытаниях важны при рассмотрении влияния электрохимических факторов. Это объясняется тем, что при нарушении непрерывности геометрического контура создаются локализованные электрохимические условия в части состава среды или электродного потенциала, благодаря которым возможно распространение коррозионных трещин.

Возражения, которые иногда выдвигались против использования образцов с предварительно нанесенными трещинами (например, в отношении правомерности выращивания транскристаллитной предварительной трещины в образце, который подвергается межкристаллитному коррозионному растрескиванию, или в отношении необходимости проведения дорогостоящих экспериментов для получения очень острых трещин, в то время как воздействие коррозионной среды может притупить трещину растворением), не учитывают того, что такие острые несплошности существуют в реальных материалах. Одно из главных преимуществ испытания образцов с предварительно нанесенными трещинами в том, что оно позволяет получить данные, на основе которых рассчитываются максимально допустимые размеры дефекта в конструкциях. Следует учитывать, что существует нижний предел размера дефектов и верхний предел приложенных напряжений, за пределами которых применение законов линейной механики разрушения неправомерно. В частности, результаты испытаний при размерах дефектов ниже 0,1 мм или когда величина локального напряжения достигает предела текучести, могут быть не очень надежными, как и расчеты максимальных размеров допустимого дефекта.

4.4.4. Если используют образцы с предварительно нанесенными трещинами и в данных различных лабораторий имеются расхождения, то для определения $K_{Iкр}$ применяют метод возрастающей нагрузки.

Примечание. При ступенчатом и прямом нагружениях наблюдалось хорошее согласование результатов испытаний, однако была отмечена также их зависимость от скорости ступенчатого нагружения.

4.4.5. Если трещина распространилась на определенное расстояние, то испытание на гладком образце становится неотличимым от испытания, в котором растрескивание зарождается от предва-

рительно полученной трещины, — по крайней мере, в отношении $K_{1кр}$, хотя может наблюдаться влияние электрохимических факторов.

4.4.6. При вычислении перед проведением испытания длины исходной предварительно нанесенной усталостной трещины учитывают, что трещина может иметь кривизну и максимальная длина трещины может быть больше измеренной на поверхности образца.

5. ЯЧЕЙКИ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ

5.1. Ячейка, в которой помещается образец и среда для испытания на КР, представляет собой сосуд, изготовленный из стекла или другого химически инертного материала, не имеющего электрического взаимодействия с опытным образцом.

Примечание. Следует учитывать выщелачивающее воздействие на стекло концентрированных растворов гидроокиси натрия, а также менее очевидные реакции между материалом сосуда и испытательной средой. Так, в горячей высокочистой водной среде во время испытания выщелачивается достаточное количество двуокиси кремния из стеклянной стандартной лабораторной посуды, которое может значительно повлиять на коррозионное поведение образцов, изготовленных из низколегированной стали.

5.2. Если трещина зарождается на поверхности, через которую происходит теплопередача, следует проектировать такую испытательную ячейку, которая учитывала бы этот эффект, так как местное увеличение концентрации веществ в растворе вблизи поверхности раздела может играть важную роль в стимулировании процесса растрескивания, особенно в тех случаях, когда за счет испарения на поверхности происходит осаждение растворенных веществ (растрескивание труб из нержавеющей стали под теплоизоляцией, щелочное растрескивание клепаных паровых котлов из низколегированной стали).

5.3. При проектировании испытательных ячеек следует учитывать соотношение площади образцов и объема раствора, в который они погружены (п. 3.1.3).

6. ОСОБЕННОСТИ НАЧАЛА ИСПЫТАНИЙ

Начало испытаний на коррозию под напряжением означает контакт среды с образцами, в которых созданы напряжения. Однако несоблюдение последовательности этапов может повлиять на полученные результаты. Например, при коррозионных испытаниях в атмосфере на результаты влияет время года, когда начинается данное испытание, а также ориентация образца, т. е. расположение растянутой поверхности образцов, при испытаниях на изгиб (горизонтально кверху или книзу, или под каким-то другим углом). Но даже в лабораторных условиях на результаты может влиять отношение времени приложения напряжения ко времени подведения среды, а также время достижения температуры испытания или время до начала какого-либо электрохимического стимулирования.Следует учитывать также данные испытаний с возрастающей нагрузкой образцов с предварительно нанесенными трещинами, указанные в п. 4.4.4.

7. ОЦЕНКА И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

7.1. Число стандартных методов испытания на КР и методов оценки полученных результатов увеличивается за последние годы. Поэтому выбор метода оценки зависит от ряда факторов, что не исключает в ряде случаев применения достаточно простой оценки.

7.2. Первый метод оценки заключался в определении времени до разрушения (или отсутствия разрушения) образца. Следует учитывать ряд ограничений при его применении: влияние жесткости нагружающего устройства, вязкость разрушения материала, агрессивность среды, число образовавшихся трещин, толщину образца и другие факторы, рассмотренные в п. 2.2.

7.3. Оценка сопротивления КР материалов по времени до разрушения при данном напряжении даже при использовании стандартного оборудования не всегда оправдана. Пороговый уровень напряжения или (для образцов с предварительно нанесенной трещиной) пороговый коэффициент интенсивности напряжений является более надежной основой для сопоставления результатов.

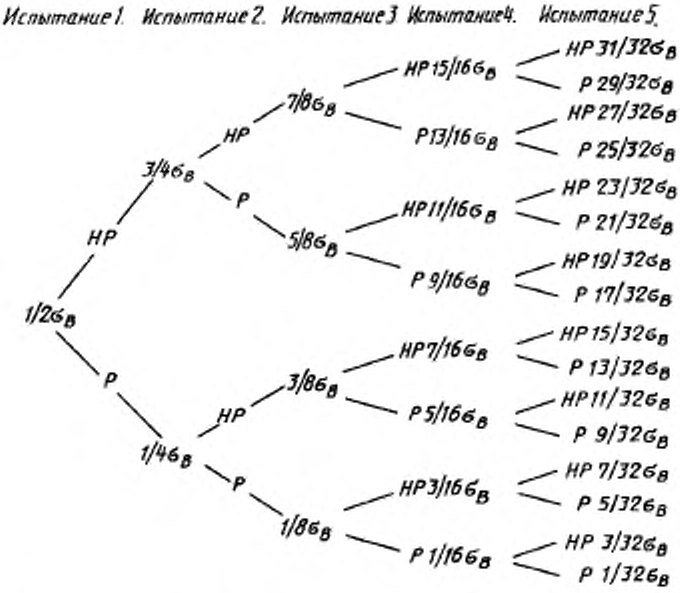
Предпочтительнее испытывать образцы в диапазоне уровней начального напряжения или начального коэффициента интенсивности напряжения, чем проводить большое количество повторных испытаний при одном и том же уровне напряжения или коэффициента интенсивности напряжения. При использовании такого подхода можно ожидать различий в полученных результатах в зависимости от типа испытания. Уровень порогового напряжения (или порогового коэффициента интенсивности напряжения) в испытании при постоянной нагрузке имеет тенденцию к уменьшению в сравнении с уровнями в условиях постоянной общей деформации.

Следует учитывать, что результаты зависят от испытательной среды, пороговое значение при испытании в одном растворе отличается от порогового значения при испытаниях в других растворах.

7.4. Для уменьшения числа испытуемых образцов при определении порогового напряжения используют систему бинарного поиска. При этом первое испытание поводят при начальном напряжении, равном половине предела прочности исследуемого материала, последующие испытания — при напряжениях, кратных другим долям предела прочности, как показано на чертеже, в зависимости от того, будет или нет происходить разрушение образцов в предыдущем испытании.

7.5. При испытаниях в качестве критерия используют время до появления первой трещины. При осмотре образцов во время испытания следует соблюдать осторожность, чтобы избежать загрязнения поверхностей. Некоторые растворы, используемые для выявления трещин, содержат значительные количества вредных примесей, которые сами по себе могут вызывать КР. Следует принимать во внимание, что снятие образцов с испытания и последующая повторная постановка могут повлиять на результаты испытаний, поэтому следует иметь несколько образцов на одном уровне напряжения, чтобы исключить повторную постановку.

Методика бинарного поиска для определения порогового напряжения



P — разрушился;
HP — не разрушился;
$\sigma_в$ — временное сопротивление при растяжении

Часто образцы осматривают под микроскопом при малом увеличении. В таких случаях следует использовать стандартное увеличение (например, 20×), поскольку выявление трещин зависит от разрешающей способности используемой системы.

7.6. Из определения коррозии под напряжением видно, что оно включает объединенное действие двух факторов; следовательно, индивидуальный эффект среды должен оцениваться отдельно для подтверждения того, что испытуемый образец разрушился от КР.

Программа работ должна включать испытание ненапряженных образцов, которые исследуют после окончания испытания различными методами с целью получения сравнительных данных.

7.7. Результаты испытаний при малой скорости деформации оценивают, используя ряд параметров. Эффекты КР можно представить в виде кривой зависимости прогиба от нагрузки или через максимально достигнутую нагрузку или удлинение при разрушении. Эти характеристики, а также относительное сужение используют для выражения чувствительности к КР. При оценке результатов сочетание нагрузки и пластичности может являться полезной основой для сравнения. Как и в других методах испытания, время до разрушения является полезным параметром оценки, результаты обычно нормализуются делением их на время до разрушения в инертной среде при одинаковой

скорости деформации и температуре. Иногда для оценки чувствительности к КР исследуют внешний вид поверхности излома. В качестве критерия используют процентное отношение площади разрушения вследствие воздействия окружающей среды к пластическому разрушению.

7.8. Скорость распределения коррозионных трещин или пороговый коэффициент интенсивности напряжения являются важной информацией, которая необходима конструктору. Использование образцов с предварительно нанесенными трещинами наиболее пригодно при оценке (с некоторыми оговорками) скорости роста трещин. Распространение трещин можно проследить различными способами: например, изменением податливости, с помощью рентгена, акустической эмиссии, измерения падения потенциала и т. д. Гладкие образцы используют для определения скорости развития трещин при прерывистом испытании, при котором по истечении различных интервалов времени определяют трещины различной длины. Пороговые коэффициенты интенсивности напряжения определяют на основании вышерассмотренных наблюдений или при испытании при возрастающей нагрузке образцов с предварительно нанесенными трещинами.

7.9. Результаты испытаний на КР следует обрабатывать методами математической статистики, если это возможно.

ПРИЛОЖЕНИЕ
Рекомендуемое

ТЕРМИНЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В СТАНДАРТЕ, И ПОЯСНЕНИЯ К НИМ

1. **Коррозионное растрескивание (КР)** — поражение металла, вызванное одновременным воздействием коррозионной среды и номинально статическим растягивающим напряжением, в результате которого обычно образуются трещины. Этот процесс часто значительно снижает несущую способность металлических конструкций.

2. **Пороговое напряжение при КР ($\sigma_{кр}$)** — напряжение, выше которого трещины от КР возникают и растут при определенных условиях испытания.

3. **Пороговый коэффициент интенсивности напряжения при КР ($K_{I\,кр}$)** — коэффициент интенсивности напряжений при плоской деформации, характеризующий сопротивление материала росту трещины при коррозионном растрескивании (в данных условиях электролит, температура и т. п.), ниже которого рост трещины отсутствует или скорость роста не превышает 0,0001 мм/ч.

4. **Коэффициент интенсивности напряжений (K_I)** — величина, характеризующая интенсивность напряжений вблизи вершины трещины в линейно упругой среде при отрывном типе деформации (поверхности трещины отходят друг от друга по нормали) в условиях трехосного напряженного состояния материала (при плоской деформации).

5. **Испытательная среда** — эксплуатационная или лабораторная среда, в которой экспонируется испытуемый образец. Концентрация среды поддерживается постоянной или меняется установленным образом. При КР состав среды часто является весьма специфичным.

6. **Начало испытания** — время, когда приложено напряжение или образец помещен в коррозионную среду, в зависимости от того, какая операция происходит позже.

7. **Время до появления трещины** — период времени от начала испытания до момента, когда трещина обнаруживается установленным способом.

8. **Время до разрушения** — период времени от начала испытания до разрушения; за критерий разрушения принимают время первого появления трещин, время полного разрушения испытуемого образца или время наступления согласованного промежуточного состояния образца.

9. **Испытание при малой скорости деформации** — испытание при контролируемом растяжении или изгибе испытуемого образца при начальной скорости деформации в диапазоне от 10^{-3} до 10^{-7} $с^{-1}$. Деформация увеличивается непрерывно или ступенчато, но не циклически.

10. **Средняя скорость роста трещины** — максимальная глубина трещины (трещин) вследствие коррозионного растрескивания, деленная на время испытания.

11. **Ориентация** — направление продольной оси растягиваемого образца относительно некоторого установленного напряжения в полуфабрикате, из которого он приготовлен (например, направление прокатки в плите).

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ

1. РАЗРАБОТАН И ВНЕСЕН Министерством авиационной промышленности СССР

2. УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Постановлением Государственного комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартам от 28.12.89 № 4192

3. ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

4. Стандарт полностью соответствует международному стандарту ИСО 7539-1—87

5. ПЕРЕИЗДАНИЕ с Изменением № 1, утвержденным в октябре 1990 г. (ИУС 1—91)

gost.e-ecolog.ru