

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. Г. В. КАРПЕНКО

На правах рукописи

БАРНА

Роман Андреевич

**ОЦЕНКА ЦИКЛИЧЕСКОЙ
КОРРОЗИОННОЙ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ
КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ
С УЧЕТОМ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ**

Специальности: 01.02.04 — механика деформируемого
твердого тела,
05.17.14 — химическое сопротивление материалов
и защита от коррозии

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Робота виконана в Фізико-механічному інституті
ім. Г.В.Карпенко АН України.

НАУЧНИЙ РУКОВОДИТЕЛЬ - доктор технічних наук, старший
науковий співробітник РАТЬЧ Л.В.

ОФІЦІАЛЬНІ ОПОНЕНТИ - доктор технічних наук, старший
науковий співробітник СТЕПАНОВ І.А.

- кандидат технічних наук, старший
науковий співробітник ГНЬП І.П.

ВЕДУЩЕ ПІДПРИЯТТЯ - Інститут проблем міцності
АН України

Захист проводиться " 3 " 07 1992 г. в 10
годин на засіданні спеціалізованого ради Д 016.42.01
в Фізико-механічному інституті ім. Г.В.Карпенко АН України
(290601, Львів, ГСП, ул. Научна, 5).

С дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці фізико-
механічного інституту ім. Г.В.Карпенко АН України.

Автореферат розісланий " 3 " 06 1992 г.

Учений секретар
спеціалізованого ради

Григор НИКИШОРЧИН Г.Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Современные методы расчетов на прочность и долговечность на стадии проектирования ответственных конструкций предусматривают оценку их работоспособности также с позиций механики разрушения. Для этого, кроме данных о напряженно-деформированном состоянии конкретного элемента конструкции при наличии в нем трещины, необходимы значения характеристик трещиностойкости материала с учетом предполагаемых эксплуатационных условий. Особенно важно такую оценку производить для конструкций, контактирующих с коррозионной средой, которая, как свидетельствуют многочисленные исследования, существенно снижает их работоспособность и способствует развитию крупного разрушения. В этом случае расчеты на долговечность базируются на так называемых диаграммах статической и циклической коррозионной трещиностойкости материала, построенных по результатам испытаний в коррозионной среде, методологически близких к экспериментам на воздухе. Однако вскоре оказалось, что эти диаграммы неинвариантны, так как дополнительно отражают зависимость трещиностойкости от исходного коэффициента интенсивности напряжений и длины трещины и являются характеристикой испытываемого образца, а не системы материал-среда. Поэтому оценка работоспособности конструкций по таким неинвариантным диаграммам неправомерна. Для решения данной проблемы в Физико-механическом институте им. Г.В.Карпенко АН Украины В.В.Панасюком, Л.В.Ратычем и И.Н.Дытрахом был предложен новый подход к определению характеристик трещиностойкости материала в коррозионной среде, предусматривающий учет не только напряженно-деформированного состояния, но и электрохимических условий в вершине трещины. Разработанная в его рамках методология испытаний обеспечивает получение информации о циклической коррозионной трещиностойкости материала при постоянных и изменяющихся электрохимических условиях в вершине трещины.

Хотя правомочность основных концепций нового подхода подтверждена авторами экспериментально, однако ряд важных аспектов при этом все же не исследован. В частности, не изу-

чено влияние металлургических и эксплуатационных факторов на тенденцию изменения электрохимических параметров в вершине коррозионно-усталостной трещины и их взаимосвязь с циклической коррозионной трещиностойкостью. Не решен вопрос количественной оценки вклада механизмов локального анодного растворения и водородного охрупчивания в ускоренный рост трещины в коррозионной среде; не исследована роль кислорода в реализации этих механизмов и не определена степень его влияния на коррозионную трещиностойкость. Необходима также дальнейшая апробация нового подхода и методологий испытаний на примере других систем металл-среда.

Перечисленные вопросы весьма актуальны как для теории коррозионно-усталостного разрушения материалов, так и для практики при оценке работоспособности элементов конструкций в коррозионных средах.

Целью работы является дальнейшая апробация основных концепций предложенного подхода к оценке характеристик коррозионной трещиностойкости металлов и разработанной в ее рамках методологии испытаний на иные системы металл-среда при одновременном изучении влияния не исследованных еще факторов на электрохимические условия в вершине трещины, циклическую коррозионную трещиностойкость материалов и механизмы ускорения роста усталостной трещины в коррозионной среде.

Научная новизна работы. Изучены тенденции изменения водородного показателя среды и электродного потенциала металл в вершине трещины в зависимости от длительности взаимодействия среды с металлом, химического состава стали, частоты нагружения и концентрации растворенного в среде кислорода, а также их взаимосвязь с циклической коррозионной трещиностойкостью исследуемых систем металл-среда.

Разработаны методики определения характеристик системы металл-среда в случае реализации механизмов локального анодного растворения и водородного охрупчивания для приближенной количественной оценки вклада этих механизмов в ускоренное развитие усталостной трещины в водной среде.

Исследовано влияние растворенного в рабочей среде кислорода на электрохимические условия в вершине коррозионно-усталостной трещины.

Практическая ценность работы. Разработаны методики выбора оптимальной марки материала и концентрации кислорода, обеспечивающие оптимальную трещиностойкость используемого металла при работе в заданной коррозионной среде, а также методика стабилизации концентрации кислорода в вершине трещины.

Дана оценка склонности стали 40X в дистиллированной воде и сталей 20X13, 40X13 и 15X16H2M в 3%-м растворе NaCl к водородному орупчиванию в зависимости от длительности взаимодействия среды, химического состава стали, частоты нагружения и концентрации растворенного в среде кислорода.

Получены данные о циклической коррозионной трещиностойкости сталей 30XMA, 12X13, 07X16H4B и 08X18NiOT, рекомендуемых для изготовления деталей газоперекачивающих агрегатов в наводороживающей среде, а также о влиянии основных факторов на циклическую коррозионную трещиностойкость сталей 40X, 40XH2MA, 20X13, 40X13 и 15X16H2M.

Впервые дана количественная оценка вклада механизмов локального анодного растворения и водородного орупчивания в увеличение скорости роста усталостной трещины в системе сталь 40X - дистиллированная вода.

Суммарный экономический эффект от внедрения результатов работы составляет 93 тыс. руб.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Результаты исследования влияния ряда факторов (длительности взаимодействия среды с металлом, химического состава стали, частоты нагружения, концентрации растворенного в среде кислорода) на тенденцию изменения водородного показателя среды и электродного потенциала металла в вершине трещины и оценка склонности различных металлов к водородной деполяризации в этих условиях.

2. Инвариантные данные о циклической коррозионной трещиностойкости сталей 30XMA, 12X13, 07X16H4B и 08X18NiOT в наводороживающей среде, рекомендуемых для изготовления деталей газоперекачивающих агрегатов, а также о влиянии основных факторов на циклическую коррозионную трещиностойкость сталей 40X, 40XH2MA, 20X13, 40X13 и 15X16H2M.

3. Методики определения характеристик системы металл-среда в случае реализации механизмов локального анодного рас-

творения и водородного охрупчивания для приближенной количественной оценки вклада этих механизмов в ускоренный рост усталостной трещины в водной среде.

4. Усредненные электрохимические параметры в качестве критериев количественной оценки влияния кислорода на коррозионно-электрохимическое поведение материала в водной среде.

5. Методики выбора оптимальной марки материала и концентрации растворенного в среде кислорода для обеспечения оптимальной коррозионной трещиностойкости металла в заданной коррозионной среде, а также методика стабилизации концентрации кислорода в вершине трещины.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на VIII Всесоюзной конференции по усталости металлов (Москва, 1982); на Всесоюзном совещании "Защита нефтепромышленного оборудования от коррозии в условиях сероводородной агрессии" (Волгоград, 1984); на конференции "Применение методов механики разрушения в расчетах строительных металлических конструкций на хрупкую прочность и долговечность" (Красноярск, 1984); на II Всесоюзном симпозиуме по механике разрушения (Житомир, 1985); на I Всесоюзной конференции "Механика разрушения материалов" (Львов, 1987); на научном семинаре "Механика хрупкого разрушения" Физико-механического института им. Г.В.Карпенко АН Украины (Львов, 1992).

Публикации. Основное содержание диссертации отражено в 8 печатных работах.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, выводов, списка литературы (201 источник) и приложения. Изложена на 223 страницах машинописного текста, содержит 67 рисунков, 14 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении аргументирована актуальность и важность вопросов, составляющих предмет исследований, кратко изложено содержание работы, а также перечислены наиболее важные научные положения, защищаемые соискателем.

В первой главе приведены основные положения линейной механики разрушения, которые могут быть привлечены к оценке трещиностойкости материалов в коррозионной среде; описаны но-

вый подход к определению коррозионной трещиностойкости материалов, предусматривающий одновременный учет не только напряженно-деформированного состояния материала около вершины трещины, но и физико-химического состояния среды и металла в вершине трещины, а также методология оценки работоспособности элементов конструкций с учетом трещиностойкости материала; сформулированы цель и задачи работы.

Во второй главе изложена сущность методики исследований; приведены данные об образцах, исследуемых материалах и средах; описаны установка и применяемые средства, а также изложены методики испытаний на циклическую трещиностойкость и обработки результатов экспериментов.

Исследовали стали 40X, 30XMA, 40XN2MA, 12X13, 20X13, 40X13, 15X16N2M, 07X16N4B и 08X18N10T, а также сплав H65M-BI. В качестве рабочей среды использовали дистиллированную воду, 3%-й раствор NaCl , наводороживающую среду и спиртоводный раствор соляной кислоты при комнатной температуре или $T = 298 \text{ K}$.

Все исследования выполнены по известной методике испытаний на коррозионную трещиностойкость с учетом электрохимических условий в вершине трещины на балочных образцах прямоугольного поперечного сечения размером $10 \times 20 \text{ мм}$ с краевой трещиной трех типов: без отверстия, с одним или двумя отверстиями в плоскости распространения трещины. Испытания проводили при синусоидальной форме цикла нагружения чистым изгибом с частотой $0,1 \dots 1 \text{ Гц}$ и коэффициенте асимметрии $R = 0$.

Стабилизации содержания кислорода в вершине трещины достигали принудительной циркуляцией насыщенной до необходимой концентрации кислорода среды через вершину трещины с помощью капилляра. Требуемую концентрацию растворенного в среде кислорода обеспечивали непрерывной барботацией через нее кислород-аргонной смеси определенного состава из буферного баллона в течение нескольких часов до насыщения ею рабочего раствора. Концентрацию кислорода в растворе контролировали кислородомером.

В третьей главе представлены результаты исследования влияния некоторых наиболее важных физико-химических и эксплуатационных факторов на тенденцию изменения электрохимических

характеристик (водородного показателя среды pH и электродного потенциала металла φ) в вершине трещины (pH_B, φ_B) при статическом и циклическом нагружениях, а также дана оценка влияния этих факторов на склонность материалов к водородной деполаризации в данных условиях.

Исследованиями сталей 20Х13 и 15Х16Н2М в 3%-м растворе $NaCl$ установлено, что продолжительность предварительного взаимодействия среды с металлом в вершине трещины определяет исходный уровень электрохимических характеристик pH_B и φ_B в момент старта коррозионно-усталостной трещины (КУТ), а также дальнейшую тенденцию изменения и их абсолютные значения по мере роста трещины. При этом pH_B в зависимости от исследуемой системы металл-среда может как повышаться, так и понижаться, а φ_B только смещается в отрицательную сторону. При конкретной длине трещины φ_B с увеличением исходного значения pH_B для системы сталь 20Х13 - 3%-й раствор $NaCl$ смещается в отрицательную сторону, а в случае системы 15Х16Н2М - 3%-й раствор $NaCl$ - в положительном направлении.

Изучено влияние двух наиболее важных элементов химического состава сталей - углерода и хрома - на электрохимические условия в вершине трещины при испытаниях сталей 40Х, 20Х13 и 40Х13 на циклическую коррозионную трещиностойкость (ЦКТ) в дистиллированной воде и 3%-м растворе $NaCl$. Констатируется, что с повышением содержания углерода pH_B понижается, а φ_B смещается в отрицательную сторону, причем наличие ионов хлора в растворе усугубляет эти изменения. С увеличением содержания хрома pH_B понижается, а φ_B смещается в положительном направлении. Присутствие ионов хлора в растворе стабилизирует значение pH_B и нивелирует положительный эффект воздействия хрома на величину φ_B .

С уменьшением частоты циклов нагружения (система сталь 40Х - дистиллированная вода) значения pH_B понижаются, а величина φ_B смещается в отрицательную сторону, сохраняя подобную тенденцию изменения.

Тенденция изменения и значений электрохимических параметров в вершине стационарной статически нагруженной трещины (система сталь 40Х13 - 3%-й раствор $NaCl$) существенно зависят от содержания растворенного в среде кислорода (рис.1).

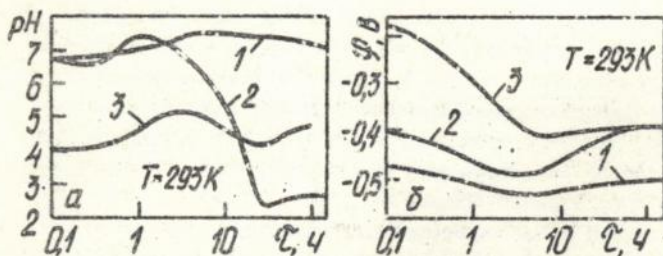


Рис. 1. Влияние концентрации растворенного в среде кислорода C_K на хронограммы pH_B (а) и φ_B (б) для стали 40X13 в 3%-м растворе NaCl: 1 - $C_K = 0$; 2 - $C_K = 6,5$ мг/л; 3 - $C_K = 37$ мг/л.

Со временем наступает стабилизация значений φ_B , при этом тем быстрее и при тем более положительном значении, чем выше концентрация кислорода. Для данной системы существует некая концентрация кислорода, которая может при определенной базе испытаний обеспечить стабильное значение φ_B .

Сопоставление электрохимических характеристик в вершине трещины с диаграммой термодинамической устойчивости воды позволяет оценить склонность исследуемых материалов к водородному охрупчиванию. Оказалось, что с понижением исходного значения pH_B создаются условия, способствующие водородной деполаризации. Интенсивность ее усиливается с уменьшением частоты нагружения, приростом длины трещины и повышением содержания углерода и хрома в стали, а с увеличением содержания кислорода в растворе - убывает.

Четвертая глава посвящена исследованиям влияния неизученных еще физико-химических, механических и структурных факторов на ЦКТ некоторых сталей, а также сплава Н65М-ВН.

На примере системы сталь 40ХН2МА - дистиллированная вода установлено, что испытания при постоянных электрохимических условиях на поверхности образца не обеспечивают однозначной оценки ЦКТ материала. Построенные по результатам испытаний диаграммы ЦКТ материала зависят от исходного коэффициента интенсивности напряжений (КИН) и поэтому неинвариантны. Такие диаграммы являются характеристиками собственно образца, а не материала в целом. Поэтому они не могут быть использованы для

оценки работоспособности конструкций в коррозионной среде.

Только при испытаниях на ЦСТ, проведенных при стабилизации электрохимических условий в вершине трещины, можно получить данные для построения инвариантных (не зависящих от исходного КИИ, длины трещины и др.) диаграмм ЦСТ материала, которые однозначно характеризуют трещиностойкость материала в конкретной коррозионной среде.

Дальнейшими исследованиями, выполненными на сталях 15Х16Н2М и 20Х13 в 3%-м растворе NaCl , показано, что неинвариантность диаграмм ЦСТ материала вызвана различными электрохимическими условиями в вершине КУТ в процессе ее развития, тенденция изменения которых, в первую очередь, зависит от исходного значения $\text{pH}_в$ в момент старта трещины.

Результаты этих экспериментов наглядно подтвердили целесообразность и правомочность разработанного нового подхода к оценке коррозионной трещиностойкости конструкционных материалов и методологии испытаний.

Исследованиями сталей 40Х, 20Х13 и 40Х13 установлено, что с повышением содержания углерода в стали ее циклическая трещиностойкость на воздухе и в коррозионной среде понижается, с возрастанием же содержания хрома циклическая трещиностойкость в дистиллированной воде уменьшается, а в 3%-м растворе NaCl — повышается.

Наблюдаемые тенденции изменения ЦСТ исследуемых материалов связаны с изменением не только их механических свойств, но и самих электрохимических процессов в вершине трещины, что подтверждается соответствующими изменениями электрохимических характеристик в вершине КУТ.

Понижение частоты циклов нагружения от 1 до 0,33 Гц при стабилизации электрохимических условий в вершине трещины на циклической трещиностойкости стали 15Х16Н2М в 3%-м растворе $\text{NaCl} + \text{HCl}$ до $\text{pH}4$ сколько-нибудь существенно не сказывается, а уменьшение циклической трещиностойкости стали 40Х в дистиллированной воде при понижении частоты циклов нагружения от 0,33 до 0,10 Гц вызвано изменением электрохимических условий в вершине КУТ в более агрессивную сторону.

Установлено, что с повышением концентрации растворенного в среде кислорода ЦСТ сталей 40ХН2МА и 40Х13 возрастает

(рис.2) и эту особенность можно использовать для их защиты от коррозионно-механического разрушения. Однако для более

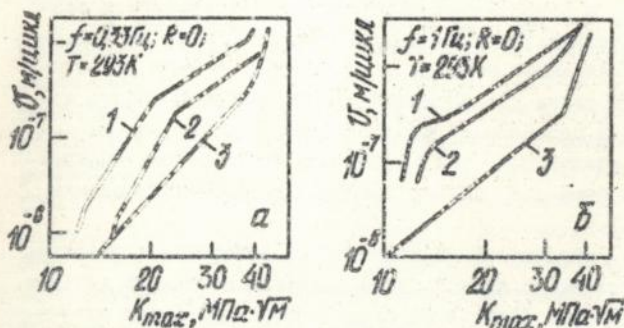


Рис.2. Влияние концентрации растворенного в среде кислорода C_K на циклическую трещиностойкость стали 40XН2МА в дистиллированной воде (а; 1 - $C_K = 9$ мг/л; 2 - $C_K = 45$ мг/л) и стали 40X13 в 3%-м растворе NaCl (б; 1 - $C_K = 0$; 2 - $C_K = 6,5$ мг/л); (а; б; 3 - трещиностойкость стали на воздухе).

пластичной стали 20X13, в которой также отмечено значительное ускорение развития усталостной трещины в 3%-м растворе NaCl по сравнению с таковой на воздухе, ЦКТ в довольно широком диапазоне изменения КИН фактически не зависит от содержания кислорода в среде. Однако при низких КИН (в припороговой области) ЦКТ стали 20X13 по мере увеличения концентрации растворенного в среде кислорода уменьшается.

Таким образом, в зависимости от стали возможно как повышение, так и падение ЦКТ с ростом концентрации растворенного в среде кислорода. Поэтому целесообразность использования кислородной защиты от коррозионно-механического разрушения следует определять для каждого сочетания металл-среда.

Показано, что при развитии усталостной трещины вдоль направления прокатки сплав Н65М-ВИ не чувствителен к воздействию компонентов производства кремнийорганической жидкости, а пластическое его деформирование способствует повышению сопротивляемости распространению усталостной трещины в поперечном направлении прокатки.

В пятой главе сформулированы критерии приближенной количественной оценки интенсивности механизмов локального анодного растворения и водородного охрупчивания в окрестности вершины трещины при статическом и циклическом нагружении в водных средах; предложены формулы для оценки их вклада в увеличение скорости роста усталостной трещины в водной среде; изложены методики определения характеристик системы металл-раствор в случаях реализации этих механизмов и рассмотрен конкретный пример расчета для системы сталь 40X - дистиллированная вода.

Известно, что основными механизмами ускоренного развития усталостной трещины в водной среде являются локальное анодное растворение (ЛАР) и водородное охрупчивание (ВО). Для количественной оценки вклада этих механизмов, В.В.Панасюком, Л.В.Ратычем и И.М.Слободяном была предложена расчетная модель, в соответствии с которой прирост скорости роста усталостной трещины ΔU_c равен приближенно сумме приростов ΔU_a и ΔU_b , обусловленных механизмами ЛАР и ВО. С учетом графического представления диаграмм циклической трещиностойкости материала на воздухе и в коррозионной среде это предположение можно записать в виде

$$\Delta U_c = U_c - U = \Delta U_a + \Delta U_b, \quad (1)$$

где U_c и U - соответственно скорости роста усталостной трещины в водной среде и на воздухе.

Для определения приростов ΔU_a и ΔU_b были предложены формулы:

$$\Delta U_a = \beta_a \cdot \Delta \varphi_a \quad \text{и} \quad \Delta U_b = \beta_b \cdot \Delta \varphi_b, \quad (2)$$

где $\Delta \varphi_a = \varphi_n - \varphi_s$ и $\Delta \varphi_b = \varphi_n - \varphi_s$ - электрохимические критерии интенсивности механизмов ЛАР и ВО; $\varphi_n = -0,014 - 0,0591 \text{ pH}$ - потенциал равновесного водородного электрода; β_a и β_b - коэффициенты, которые характеризуют исследуемую систему металл-водная среда в случае реализации механизмов ЛАР и ВО.

Таким образом, на основании данных об электрохимических параметрах в вершине трещины и на поверхности образца можно количественно оценить вклад механизмов ЛАР и ВО в увеличение

скорости роста усталостной трещины в водной коррозионной среде.

Для определения коэффициентов β_a и β_b нами разработаны специальные расчетно-экспериментальные методики. Сущность методик заключается в проведении для исследуемой системы материал-среда испытаний на ЦКТ при различных электрохимических условиях в вершине трещины с одновременным измерением электрохимических характеристик в вершине КУТ и на поверхности образца и использование полученных результатов в расчетной формуле. Методики отличаются между собой способом достижения этих условий и расчетными формулами. В частности, в случае испытаний на ЦКТ при частотах циклов нагружения f_1 и f_2 формулы для определения коэффициентов β_a и β_b имеют вид

$$\beta_a = \frac{f_1 \cdot \Delta U_c^{f_1} \cdot \Delta \varphi_b^{f_1} - f_2 \cdot \Delta U_c^{f_2} \cdot \Delta \varphi_b^{f_2}}{f_1 \cdot \Delta \varphi_a^{f_1} \cdot \Delta \varphi_b^{f_1} - f_2 \cdot \Delta \varphi_a^{f_2} \cdot \Delta \varphi_b^{f_2}}, \quad (3)$$

$$\beta_b = \frac{f_1 \cdot f_2 (\Delta U_c^{f_2} \cdot \Delta \varphi_a^{f_1} - \Delta U_c^{f_1} \cdot \Delta \varphi_a^{f_2})}{f_1 \cdot \Delta \varphi_a^{f_1} \cdot \Delta \varphi_b^{f_2} - f_2 \cdot \Delta \varphi_a^{f_2} \cdot \Delta \varphi_b^{f_1}},$$

где $\Delta U_c^{f_1}$ и $\Delta U_c^{f_2}$, $\Delta \varphi_a^{f_1}$ и $\Delta \varphi_a^{f_2}$, $\Delta \varphi_b^{f_1}$ и $\Delta \varphi_b^{f_2}$ - соответственно увеличение скорости роста усталостной трещины в конкретной среде и электрохимические критерии интенсивности механизмов ЛАР и ВО для исследуемой системы материал-среда при частотах нагружения f_1 и f_2 .

Данная методология впервые использована нами для количественной оценки вклада механизмов ЛАР и ВО в увеличение скорости роста усталостной трещины для системы сталь 40X - дистиллированная вода (рис.3).

Результаты этой оценки свидетельствуют, что прирост ΔU_c обусловлен в основном ВО, интенсивность которого возрастает с понижением частоты нагружения. Вклад механизма ЛАР в прирост ΔU_c зависит от уровня КИН и несколько уменьшается с падением частоты от 0,33 до 0,10 Гц.

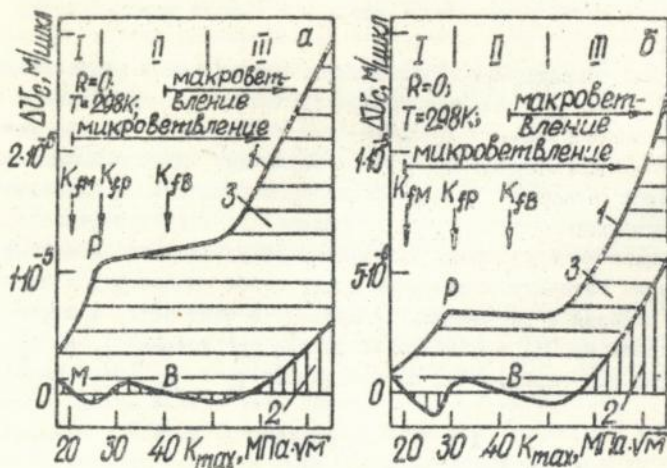


Рис.3. Вклад механизмов ЛАР (2) и ВО (3) в увеличение скорости роста усталостной трещины ΔU_c (I) для системы сталь 40X - дистиллированная вода при частотах циклов нагружения $f_1 = 0, 10$ Гц (а) и $f_2 = 0, 33$ Гц (б).

В шестой главе изложены методики выбора оптимальной марки материала и концентрации растворенного кислорода, обеспечивающие оптимальную трещиностойкость используемого металла при работе в заданной коррозионной среде, а также обобщены известные данные о влиянии растворенного в среде кислорода на коррозионно-электрохимическое поведение и коррозионную трещиностойкость материала.

Объективный выбор оптимальной марки материала для работы в конкретной коррозионной среде может быть осуществлен только на основании инвариантных диаграмм ЦСТ различных материалов. Сущность методики заключается в выборе для определенного элемента конструкции из ряда предварительно уже отобранных именно такого материала, который обеспечил бы наибольшую его работоспособность в предполагаемых условиях эксплуатации. Для этого необходимо провести испытания на ЦСТ рекомендуемых марок сталей в заданной среде при постоянных электрохимических условиях в вершине КУТ и построить инвариантные диаграммы ЦСТ

материалов, по которым затем оценивается долговечность любого стандартного элемента конструкции. По результатам этих расчетов делают заключение о ранжировке материалов.

Методика, в частности, была использована при выборе материалов рекомендуемых для газоперекачивающих агрегатов, работающих в среде с высоким содержанием сероводорода. Так, из четырех марок сталей 30ХМА, 12Х13, 07Х16Н4Б и 08Х18Н10Т наилучшей оказалась сталь 30ХМА, обладающая в 4,9 раз большей долговечностью в наводороживающей среде нежели сталь 12Х13.

В настоящее время в связи с привлечением кислорода для защиты материалов от коррозии на электростанциях весьма заинтересованно обсуждается вопрос о его влиянии на ЦКТ материала.

Испытания на ЦКТ стали 40ХН2МА в дистиллированной воде и одновременное измерение электрохимических параметров в вершине трещины позволили констатировать, что тенденция их изменения существенно зависит от концентрации растворенного в среде кислорода. Иными словами, кислород сказывается на интенсивности механизмов ЛАР и ВО. Поэтому для оценки влияния кислорода на электрохимические процессы в трещине и, значит, ЦКТ материала могут быть использованы электрохимические критерии $\Delta\Phi_\alpha$ и $\Delta\Phi_\beta$. Однако в случае оценки влияния различных концентраций растворенного в среде кислорода на эти процессы возникают трудности, связанные с изменением данных критериев во времени или с увеличением числа циклов нагружения по весьма сложному закону. Для этой цели были предложены следующие усредненные электрохимические параметры:

$$\overline{\Delta\Phi}_\alpha = \frac{1}{N_0} \int_0^{N_0} [\Delta\Phi_\alpha(N)] dN \quad (4)$$

при оценке механизма ЛАР и

$$\overline{\Delta\Phi}_\beta = \frac{1}{N_0} \int_0^{N_0} [\Delta\Phi_\beta(N)] dN \quad (5)$$

при оценке механизма ВО, где N_0 - заданное число циклов при циклическом нагружении.

Параметры $\overline{\Delta\Phi}_\alpha$ и $\overline{\Delta\Phi}_\beta$ положены в основу методики определения оптимальной концентрации растворенного в среде кислорода. Сущность ее заключается в том, что по измеренным значениям электрохимических характеристик рН и Φ в вершине трещины и

на поверхности образца в течение некоторой базы испытаний определяют усредненные электрохимические параметры $\overline{\Delta\Phi}_a$ и $\overline{\Delta\Phi}_s$ при различных концентрациях растворенного в среде кислорода C_K . Затем по построенным зависимостям $\overline{\Delta\Phi}_a = f_1(C_K)$ и $\overline{\Delta\Phi}_s = f_2(C_K)$ находят оптимальную его концентрацию, при которой значения этих характеристик будут минимальными или при которой ЦСТ окажется наибольшей.

Методика использована для определения оптимальной концентрации кислорода в системе сталь 40ХН2МА - дистиллированная вода (рис.4).

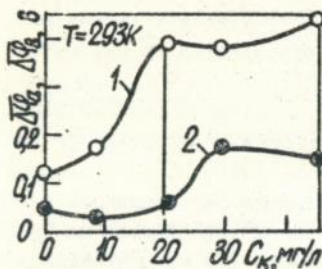


Рис.4. Влияние концентрации растворенного в среде кислорода C_K на интенсивность механизмов ЛАР (1) и ВО (2) для системы сталь 40ХН2МА - дистиллированная вода.

Для этой системы оптимальная концентрация кислорода с учетом благоприятного его влияния на скорости роста КУТ должна составлять примерно 20 мг/л.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Подтверждены основные концепции нового подхода к оценке коррозионной трещиностойкости материалов на I2-и системах металл-среда.

2. Для ряда систем металл-среда изучено влияние длительности взаимодействия среды с металлом, химического состава стали, частоты нагружения, содержания растворенного в среде кислорода на электрохимические характеристики в вершине трещины. Установлено, что эти факторы могут существенно изменять как тенденцию, так и абсолютные значения водородного показателя среды и электродного потенциала металла в вершине трещины в зависимости от исследуемой системы металл-среда, а также склонность систем к водородной деполяризации.

3. Подтверждена на примере системы сталь 40ХН2МА - дис-

тиллированная вода гипотеза, что инвариантность диаграммы циклической коррозионной трещиностойкости материала обеспечивается только при стабилизации электрохимических условий в вершине коррозионно-усталостной трещины.

4. Разработана методика определения характеристик системы металл-среда в случае реализации механизмов локального анодного растворения и водородного охрупчивания.

5. На примере системы сталь 40X-дистиллированная вода дана приближенная количественная оценка вклада механизмов локального анодного растворения и водородного охрупчивания в увеличение скорости роста усталостной трещины в воде. Показано, что ускорение роста усталостной трещины обусловлено в основном механизмом водородного охрупчивания, интенсивность которого возрастает с повышением коэффициента интенсивности напряжений и снижением частоты нагружения.

6. Разработана методика выбора оптимальной марки материала по инвариантным диаграммам циклической коррозионной трещиностойкости исследуемых систем, обеспечивающая оптимальную трещиностойкость металла в заданной среде.

7. Построены инвариантные диаграммы циклической коррозионной трещиностойкости сталей 30XMA, 12X13, 07X16H4B и 08X16H10T, рекомендуемых для изготовления деталей газоперекачивающих агрегатов в наводороживающей среде, а также диаграммы их циклической трещиностойкости на воздухе. Одним из лучших материалов признана сталь 30XMA, обладающая в 4,9 раза большей долговечностью в наводородивающей среде, чем сталь 12X13.

8. Исследовано влияние содержания углерода и хрома на циклическую коррозионную трещиностойкость сталей 20X13, 40X и 40X13. Установлено, что с повышением содержания углерода в стали ее циклическая трещиностойкость на воздухе и в коррозионной среде понижается, с увеличением же содержания хрома в стали циклическая трещиностойкость в дистиллированной воде понижается, а в 3%-м растворе NaCl - возрастает.

9. Циклическая коррозионная трещиностойкость сталей 40XN2MA и 40X13 с повышением концентрации растворенного в среде кислорода увеличивается, и эту особенность можно использовать для их защиты от коррозионно-механического раз-

рушения.

Ю. Предложены усредненные электрохимические параметры и разработана методика определения оптимальной концентрации растворенного в среде кислорода, обеспечивающая оптимальную циклическую коррозионную трещиностойкость материала.

II. Установлено, что для системы сталь 40ХН2МА - дистиллированная вода оптимальная концентрация растворенного в среде кислорода с учетом его влияния на механизмы локального анодного растворения и водородного охрупчивания в окрестности вершины трещины составляет 20 мг/л.

ПУБЛИКАЦИИ ПО МАТЕРИАЛАМ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

1. Ратыч Л.В., Дмытрак И.Н., Барна Р.А. К вопросу об инвариантности диаграмм усталостного разрушения конструкционных материалов в водных средах // Тез. пленар. докл. УШ Всесоюз. конф. по усталости металлов. - Москва, 1982. - С. 128-131.
2. Ратыч Л.В., Барна Р.А. Влияние наводороживающей среды на циклическую трещиностойкость некоторых конструкционных материалов // Тез. докл. Всесоюз. совещ. "Защита нефтепромыслового оборудования от коррозии в условиях сероводородной агрессии". - Волгоград, 1984. - С. 35-37.
3. Ратыч Л.В., Барна Р.А., Долотова Т.С. Циклическая коррозионная трещиностойкость сталей для газоперекачивающих агрегатов // Физ.-хим. механика материалов. - 1984. - 20, № 4. - С. 29-34.
4. Барна Р.А., Ратыч Л.В. Расчетная методика выбора оптимальной марки материала для строительных конструкций // Тез. докл. конф. "Применение методов механики разрушения в расчетах строительных металлических конструкций на крупную прочность и долговечность". - Красноярск, 1984. - С. 109-111.
5. Барна Р.А. Построение инвариантных диаграмм циклической трещиностойкости сталей в коррозионной среде // Тез. докл. II Всесоюз. симпозиум по механике разрушения "Трещиностойкость материалов и элементов конструкций". - Житомир, 1985. - С. 10.
6. Исследование содержания металлов в трещинах и роли раство-

ренного кислорода при коррозионно-механическом разрушении сталей / В.А.Яртысь, Р.А.Барна, И.Ю.Завалий, А.М.Гута // Тез. докл. I Всесоюз. конф. "Механика разрушения материалов". - Львов, 1987. - С. 232.

7. Барна Р.А., Яртысь В.А. Влияние растворенного кислорода на коррозионно-усталостное разрушение стали 40Х13 // Физ.-хим. механика материалов. - 1987. - 23, № 5. - С. 119-121.
8. Ратич Л.В., Барна Р.А. Вплив деяких факторів на електрохімічні умови у вершині корозійно-втомної тріщини // Там же. - 1991. - 27, № 1. - С. 17-26.

Р. Барна

Подписано к печ. 26.05.92. Формат 60x84/16 Печать офсет. Бумага офсет. Усл.п.л. 0,93 Усл. кр.-отт 1,17 Уч.-изд.л 0,8 Тираж 150 экз. Зак.2740. Бесплатно.

Областная книжная типография, 290000, Львов, ул. Стефаника, 11

467036

Бесплатно

4
AB 25.562