

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНА
ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ И МЕХАНИКИ**

На правах рукописи

ЭМИН ТЕЛЬМАН оглы БАГИРОВ

**КОРРОЗИОННОЕ РАСТРЕСКИВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ
КОНСТРУКЦИЙ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОМ
ИЗМЕНЕНИИ ПОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ**

2002.01- Механика деформируемого твердого тела

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание ученой степени
доктора философии по механике

Баку-2016

Работа выполнена в отделе «**Теория ползучести**» Института Математики и Механики НАН Азербайджана.

Научный консультант:

кандидат физ.-мат. наук, доцент

Раиса А.Кязимова

Официальные оппоненты:

доктор физ.-мат. наук, профессор

Вагиф Дж.Гаджиев

(Институт Математики и Механики НАН Азербайджана)

кандидат физ.-мат. наук, доцент

Халид М.Мамедов

(Бакинский Государственный Университет)

Ведущая организация:

Азербайджанский Государственный Университет Нефти и Промышленности

Кафедра «Механика»

Защита диссертации состоится 14 октября 2016 г. в 16⁰⁰ часов на заседании разового Диссертационного Совета D 01.111 по присуждению ученой степени доктора наук и доктора философии по математике и механике при Институте Математики и Механики Национальной Академии Наук Азербайджана.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института Математики и Механики Национальной Академии Наук Азербайджана.

Адрес: Az 1141, г.Баку, ул. Б. Вагабзаде 9.

Автореферат разослан « 02» сентября 2016 г.

Ученый секретарь

Диссертационного Совета

Д 01.111 ИММ НАНА

д.м.н., доц. Ровшан Бандалиев

AZƏRBAYCAN MİLLİ ELMLƏR AKADEMİYASI
RİYAZİYYAT VƏ MEXANİKA İNSTİTUTU

Əlyazması hüququnda

EMİN TELMAN OĞLU BAĞIROV

KONSTRUKSIYA ELEMENTLƏRİNİN TEMPERATURUNUN
QEYRİ-STASİONAR DƏYİŞİLMƏSİNDƏ
KORROZİYADAN ÇATLAMASI

2002.01- Deformasiya olunan bərk cism mexanikası

Mexanika üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı-2016

İş Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Riyaziyyat və Mexanika İnstitutunun «**Sürüncəklik nəzəriyyəsi**» şöbəsində yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər:

Fizika-riyaziyyat elmləri namizədi, dosent

Raisə Ə.Kazımova

Rəsmi opponentlər:

Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor
(AMEA Riyaziyyat və Mexanika İnstitutu)

Vaqif C.Hacıyev

Fizika-riyaziyyat elmləri namizədi, dosent
(Bakı Dövlət Universiteti)

Xalid M.Məmmədov

Aparıcı təşkilat:

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
«Mexanika» kafedrası

Disertasiyanın müdafiəsi 14 oktyabr 2016-cı il tarixində saat 16⁰⁰-da Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Riyaziyyat və Mexanika İnstitutunun nəzdində riyaziyyat və mexanika üzrə elmlər doktoru və fəlsəfə doktoru alimlik dərəcəsi almaq üçün D 01.111 dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcəkdir.

Dissertasiya ilə Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Riyaziyyat və Mexanika İnstitutunun kitabxanasında tanış olmaq olar.

Ünvan: AZ 1141, Bakı şəhəri, B.Vahabzadə küç., 9.

Avtoreferat «02» sentyabr 2016-cı ildə göndərilmişdir.

AMEA RMI-nın

D 01.111 Dissertasiya Şurasının
elmi katibi

r.e.d., dos. Rövşən Bəndəliyev

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Многие промышленные конструкции эксплуатируются в условиях сред, под действием которых в материалах этих конструкции возникает особый вид повреждения, называемым коррозионным повреждением. Среди видов коррозионного разрушения особо выделяется коррозионное растрескивание, которого можно определить как разрушение металла под одновременным воздействием коррозионной среды и механического напряжения. Коррозионное разрушение под напряжением часто приводит к тяжелым последствиям. Серьезность последствий коррозионных разрушений делает необходимым проведение исследования по вопросу о прогнозировании подобных разрушений. Этим и обуславливается **актуальность темы** настоящей диссертационной работы. Многие ученые мира внесли огромный вклад изучению коррозионного процесса и прогнозированию времени до коррозионного разрушения материалов. Среди них особый вклад внесли Ф.З.Аеби, Ф.Ф.Ажогин, Г.В.Акимов, П.А.Акользин, Е.Дикс, С.Эделяну, Ю.Р.Эванс, Дж. Хайнс, Т.Хор, А.М.Жуков, Г.В.Карпенко, Г.Кеше, В.Л.Кларк, Е.Г.Колеман, В.В.Герасимов, В.В.Герасимова, Л.А.Гликман, О.Лиснер, Х.Л.Логан, Р.К.Мелехов, В.М.Никифорова, М.Онаяма, Т.Оока, Ю.Н.Работнов, П.А.Ребиндер, В.В.Романов, А.В.Рябченков, Н.Д.Томашев, А.Ю.Цивадзе, И.Т.Вабер, И.И.Василенко, Г.Г.Улиг и др.

Диссертационная работа имеет цель теоретически прогнозировать время до коррозионного разрушения элементов некоторых конструкции, эксплуатируемых в коррозионной среде под воздействием различных внешних сил.

Научная новизна:

1. Разработан метод о коррозионном разрушении металлической конструкции произвольных размеров с учетом влияния температуры агрессивной среды. При условиях нестационарном изменении поля температуры и стационарной деформации выведены две альтернативные формулы, которые дают возможность прогнозировать времени до коррозионного разрушения элементов конструкций произвольной геометрии. Данная формула, кроме

начального значения температуры и напряжения содержит еще некоторые постоянные, которые определяются результатами экспериментов на коррозионное разрушение опытных образцов в агрессивных средах.

2. Предложена формула коррозионной прочности металлов, которая может быть принята как характеристика системы «металл-агрессивная среда». Сформулирована система опытов с целью определения универсальных констант системы «металл – коррозионная среда». Представлены результаты обработки опубликованных в литературе некоторых экспериментальных данных по коррозионному разрушению.

3. Решена задача об определении времени до коррозионного разрушения бесконечной пластины, поверхности которой подвергаются воздействию агрессивной среды с различными температурами. Выведена формула, которая выражает предельное время изнашивания пластины от заданных характеристик системы "материал пластины- агрессивная среда" и заданных температур агрессивной среды на обеих поверхностях пластины. Определена плоскость, где завершается полное ее изнашивание. Найдено условие, при выполнении которого имеет место полное изнашивание пластины. Допускается, что в случае не выполнения условия полного изнашивания происходит растрескивание пластины. Определено время до коррозионного растрескивания пластины под температурой заданной агрессивной среды.

4. Решена задача об определении времени до коррозионного разрушения прямолинейного бруса кругового поперечного сечения, который подвергается чистому изгибу в агрессивной среде. Исследованы следующие случаи: а) коррозионный процесс бруса не зависит от напряжения, возникающее при его чистом изгибе в агрессивной среде; б) коррозионный процесс бруса существенным образом зависит от его напряжения. Были определены предельное время изнашивания и время растрескивания, а также был найден закон изменения радиуса поперечного сечения от времени исследуемого бруса в процессе коррозии.

Общая методика выполнения исследований. Используются опубликованные в литературе экспериментальные данные по коррозионным разрушениям различных металлов; методы теории

упругости, уравнения математической физики; теоретико-экспериментальный метод определения времени до коррозионного разрушения материалов под механическими напряжениями.

Достоверность полученных результатов обеспечивается применением фундаментальных законов механики коррозионного процесса, экспериментальной обоснованностью применяемых научных положений, математической строгостью постановок задач, а также физической непротиворечивостью полученных результатов.

Практическая ценность и реализация работы. Предложенная формула – характеристика системы «металл-коррозионная среда» может быть использована при построении общей теории коррозионного разрушения при соответствующих нестационарных параметрах. Полученные формулы для времени до коррозионного разрушения рассматриваемых элементов конструкций могут быть использованы при расчете и прогнозировании коррозионного разрушения конструкций, имеющие эти элементы. Представленные результаты могут быть реализованы при проектировании конструкций, которые суждены эксплуатироваться в агрессивных коррозионных средах.

На защиту выносятся следующие основные научные положения:

- формула, которая может быть использована как характеристика системы «металл – агрессивная среда»;
- две альтернативные формулы, позволяющие прогнозировать времени до коррозионного разрушения элемент конструкции произвольном геометрии в случае когда тела температуры рассматриваемого элемента в коррозионном процессе;
- решение задачи о прогнозировании времени до коррозионного разрушения бесконечной пластины, на поверхности которой воздействуют агрессивные среды с различными температурами;
- решение задачи о прогнозировании времени до коррозионного разрушения бруса который чисто изгибается в агрессивной среде.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на: 13-й Международной конференции, посвященной 70-летию академика А.Д.Гаджиева (Баку, 2007), Международной конференции, посвященной 50-летию

Института математики и механики НАНА (Баку, 2009), 12-й Международной научно-практической конференции (Санкт-Петербург, 2010), 1-й и 2-й Международных научных конференциях молодых ученых и исследователей «Актуальные проблемы фундаментальных и прикладных наук...», отдельных и совместных семинарах отделов «Теория ползучести», «Волновая динамика», «Теория упругости и пластичности», «Прикладная математика» Института Математики и Механики.

Публикации. По материалам диссертации опубликованы 10 работ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, выводов и списка литературы, содержащий 103 наименования, 8 рисунков. Объем работы 113 страниц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении сформулирована задача исследования, обоснована актуальность выбранной темы, приведена научная новизна диссертационной работы, отмечены достоверность и практическая значимость полученных результатов, а также представлена информация об апробации работы.

В первой главе на основании научного анализа опубликованных в литературе экспериментальных данных по коррозионному разрушению выделяются главные факторы, которые существенным образом имеют влияния на процесс коррозионного разрушения материалов, в основном, металлов. **В 1.1** рассматриваются следующие факторы влияния: механическое напряжение; температура; концентрация и потенциал. Приводятся экспериментальные кривые длительной коррозионной прочности с учетом влияния этих факторов. Рассмотренные данные о влиянии температуры на коррозионное растрескивание металлов позволяет сделать вывод о том, что рост температуры вызывает непрерывное увеличение скорости коррозионного растрескивания металла.

В 1.2 основании анализа экспериментальных кривых коррозионной прочности, для характеристики системы «металл-агрессивная среда» предлагается аналитическая формула, которая

является формулой времени до коррозионного разрушения металлических образцов в агрессивной среде при стационарных значениях параметров:

$$t_0 = t_0(\sigma, T) = t_{0S} \left(\frac{\sigma}{\sigma_S} \right)^{-\alpha} e^{-\beta \left(\frac{T}{T_S} - 1 \right)} \quad (1)$$

Здесь t_0 есть время до коррозионного разрушения при различных стационарных растягивающих напряжениях σ и температурах T коррозионной среды; T_S - некоторая температура, приведения к безразмерной величине, которая выбирается из диапазона изменения температуры T ; β - экспериментально определяемая константа; σ_S - напряжение, выбранное из интервала изменения напряжения σ ; $t_{0S} = \text{const}$ время до коррозионного разрушения при $\sigma = \sigma_S$, $T = T_S$, $\alpha > 0$ - подлежащая определению константа.

Приведена методика определения неизвестных констант, входящих в (1). Принимается гипотеза об универсальности функции $t_0(\sigma, T)$ для каждой системы «металл – коррозионная среда». Была произведена обработка некоторых экспериментальных данных по коррозионному разрушению [Романов, Радекер]. На **рис.1** приведена экспериментальная кривая коррозионного разрушения α - латуни в растворе аммиака (плотность 0,94) при комнатной температуре $T_s = 293$ К. За σ_s принято $\sigma_s = 2$ МПа. При этом оказалось $t_{os} = 15,6$ час. $\alpha \approx 0,7$. В соответствии с формулой (1) была построена расчетная кривая коррозионной прочности $t_0 \sim \sigma, T_s$ (пунктирная линия).

На **рис. 2** представлены результаты различных экспериментов по изучению влияния температуры коррозионной среды на процесс коррозионного разрушения. Точки на *кривой 1* получены при исследовании коррозионного разрушения армировочной бетонной проволоки в 10%-ном растворе роданистого аммония. Точки на *кривой 2* получены в результате экспериментов Радекера по коррозионному разрушению мартеновской стали (0,14%С) в 80%-ном растворе нитрата кальция.

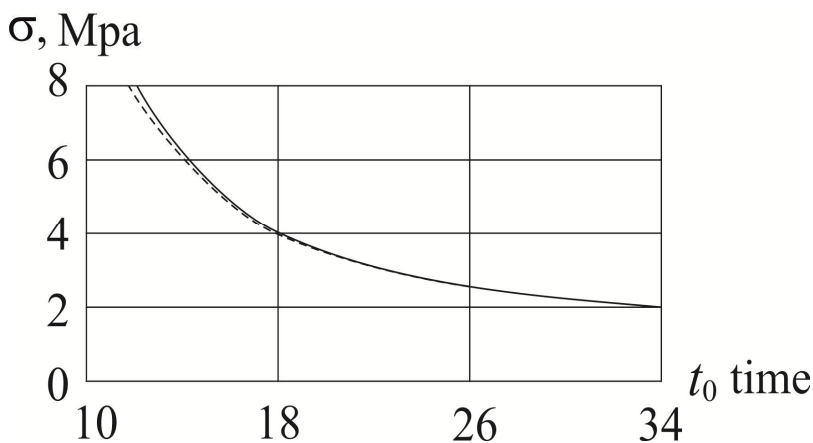


Рис. 1. Экспериментальная (сплошная линия) и расчетная по формуле (1) (пунктирная линия) кривые коррозионной прочности α -латуни в растворе аммиака (плотность 0,94)

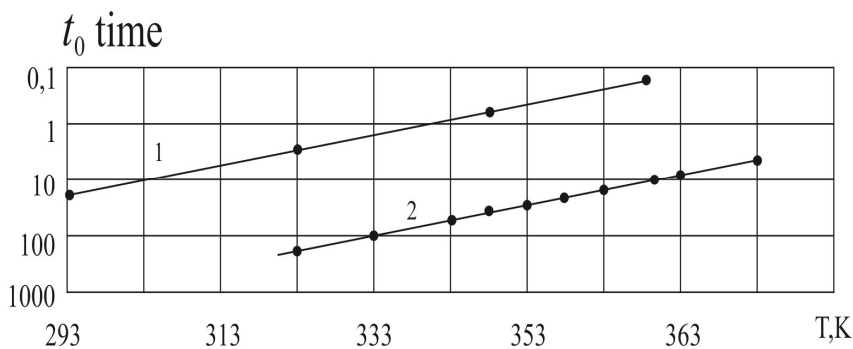


Рис.2. Экспериментальные данные (точки) и расчетные кривые по формуле (1) для армировочной бетонной проволоки в 10%-ном растворе роданистого аммония (кривая 1) и для мартеновский стали (0,14%С) в 80% растворе нитрата кальция (кривая 2)

В обоих случаях примем: $T_s = 323$ К. При этом имеем: $t_{os} = 200$ час для мартеновской стали. Результаты расчета по формуле (1) оказались следующими: $\beta \approx 17$ для армировочной бетонной проволоки; $\beta \approx 0,6$ для мартеновской стали. После определения экспериментальных констант, по формуле (1) при $\sigma = \sigma_s$ были построены расчетные кривые зависимости $t_0 \sim T, \sigma_s$ (рис. 2 линии 1 и 2). Расчетные линии оказались близкими к экспериментальным точкам.

Сравнение экспериментальных и расчетных данных дает возможность использовать функцию (1) как функцию коррозионной прочности.

Вторая глава посвящена математической постановке задачи коррозионного разрушения. В 2.1 представляется один вариант общей математической постановка задачи коррозионного разрушения. В постановку задачи входит функция, характеризующая степени накопленных коррозионных повреждений, уравнения относительно температуры, концентрации, потенциала и механического напряжения с соответствующими начальными и граничными условиями. В итоге получается сложная связанная задача.

В 2.2 предложен один метод последовательных приближений для решения поставленной в 2.1 задачи.

В 2.3 приводится и обсуждается основные положения известного теоретическо-экспериментального метода, который позволяет прогнозировать времени коррозионного разрушения.

В 2.4 выводится первая формула времени коррозионного разрушения материалов в поле нестационарной температуры. Процесс коррозии, следуя Талыблы*, определяется как процесс непрерывного накопления определенного вида повреждений. Считается, что коррозионное разрушение происходит тогда, когда накопленные коррозионные повреждения достигают определенный уровень. Согласно Талыблы*, вводится монотонно возрастающая по времени t неотрицательная функция $\eta(t)$, которая характеризует степени

*Talybly L.Kh. On determining the time to corrosion fracture of metals// Transactions of NAS of Azerbaijan, Mathematical and mechanics, 2003, v. XXIII, №1, p.239-246

коррозионности. Функция $\eta(t)$ в начальный момент времени равна нулю: $\eta(0)=0$. Разрушение наступает при времени t_* , при котором $\eta(t_*)=1$. Принимается, что скорость накопления коррозионных повреждений является функцией от приложенного постоянного напряжения σ и температурного поля $T = T(x, t)$ корродирующего тела, а также функции $\eta(t)$:

$$\frac{d\eta(t)}{dt} = \Psi(\eta)\varphi(\sigma, T(x, t)). \quad (2)$$

Для определения времени коррозионного разрушения в случае нестационарной температуры используется вариант метода, предложенного Л.Х.Талыблы*.

Функцию $\eta(t)$ представим в виде:

$$\eta(t) = 1 - e^{\alpha \left(1 - \frac{T(t)}{T_0} \right)} \quad (3)$$

где T_0 есть начальное значение температуры $T : T_0 = T(0)$. Нетрудно убедиться в том, что величина $\exp \left[\alpha \left(1 - \frac{T(t)}{T_0} \right) \right]$ при больших

значениях T , т.е. при $t \rightarrow t_*$ есть малая величина по сравнению с единицей. Пусть $\psi(\eta)=1$, что может иметь место в первом приближении. Используя (2) и (3) в (1) после преобразований получена следующая формула:

$$t_* = \frac{D_1 B(\sigma)}{1 + d_1 \frac{T_0}{T_s}} = \left[e^{-\beta \frac{T_0}{T_s}} - D_2 e^{-d_2 / (T_0 / T_s)} \right]. \quad (4)$$

Здесь $B(\sigma) = t_{os} (\sigma / \sigma_s)^{-\alpha}$, $D_1, d_1, D_2, d_2, \alpha, \beta$ - определяемые из соответствующих экспериментов константы.

Полученная формула (4) есть формула, которая позволяет определить времени до коррозионного разрушения элементов конструкции в случае, когда $\sigma = const$, $T = T(x, t)$.

В (2.5) выведена вторая, альтернативная к (4) следующая формула:

$$t_* = B(\sigma) \frac{\exp(1+\beta)}{(1+T_{os})^2} \left\{ \exp[-(1+T_{os})] + \left[T_{os} - D \left(1 + \frac{1}{T_{os}} \right) \right] \exp \left[-D \left(1 + \frac{1}{T_{os}} \right) \right] \right\} \quad (5)$$

Здесь $T_{os} = T_{os}(x) = \frac{T_o(x)}{T_s}$ – известная функция только от координаты

точек тела. Кроме того, D – новая константа, которая должна быть определена из экспериментов на коррозионное разрушение, например при постоянной скорости изменения температуры. Полученная формула (5) есть формула, которая позволяет определить времени до коррозионного разрушения элементов конструкции в случае, когда $\sigma = const$, $T = T(x, t)$.

В третьей главе прогнозируется времени коррозионного изнашивания и растрескивания пластины и бруса. **В 3.1** приводится методика реализации теоретико-экспериментального метода для решения задач коррозионного разрушения конкретно заданных элементов конструкций. **В 3.2** решается задача об определении времени до коррозионного разрушения бесконечной пластины, поверхности которой подвергаются воздействию агрессивной среды с различными температурами. Исследован случай, когда коррозионный процесс пластины существенным образом зависит от температуры агрессивной среды. Считается, что в процессе коррозионного изнашивания происходит уменьшение толщины пластины. На поверхностях $y = \pm a$ пластины воздействует агрессивная среда с температурами T_1 и T_2 . При этом предполагается $T_1 \neq T_2$. Ширина пластины под влиянием агрессивной среды уменьшается со временем t : $a = a(t)$, при $t = 0$ имеем $a(0) = a_0$. Через некоторое время температура пластины определяется по формуле:

$$T(t) = \frac{1}{2}(T_1 + T_2) + \frac{1}{2}(T_1 - T_2) \frac{y}{a(t)}.$$

Согласна Л.Гликману, имеет место уравнение:

$\frac{da(t)}{dt} = -k - nT$, где величины k и n для каждой системы "металл-агрессивная среда" определяется экспериментально. Пусть $y = a_1 = \text{const}$ есть плоскость пластины, где коррозионное изнашивание пластины завершается. При этом ясно, что если $T_1 > T_2$, то $a_1 > 0$, если $T_1 < T_2$, то $a_1 < 0$, при $T_1 = T_2$, то $a_1 = 0$. Для определения неизвестной величины a_1 получено уравнение:

$$2 + \frac{n(T_1 - T_2) \frac{a_1}{a_0}}{2k + n(T_1 + T_2)} \ln \left| \frac{n(T_1 - T_2) \left(\frac{a_1}{a_0} - 1 \right) - 2k}{n(T_1 - T_2) \left(\frac{a_1}{a_0} + 1 \right) + 2k} \right| = 0.$$

После определения a_1 находится время полного изнашивания пластины:

$$t_i = \frac{2(a_0 - a_1)}{2k + n(T_1 + T_2)} + \frac{2na_0[2T_0 - (T_1 + T_2)]}{[2k + n(T_1 + T_2)]^2} \left[\ln|a_1 + \right. \\ \left. + \frac{na_0[2T_0 - (T_1 + T_2)]}{2k + n(T_1 + T_2)} \right] - \ln \left| a_0 + \frac{na_0[2T_0 - (T_1 + T_2)]}{2k + n(T_1 + T_2)} \right| \Bigg]$$

Получено также условие полного изнашивания пластины. В случае не выполнения условия полного изнашивания происходит растрескивание пластины. Время до растрескивания определяется двумя способами.

Способ 1. Пусть известна температура T_b - предельная температура, при которой материал пластины растрескивается. Температура T_b для каждого материала определяется

экспериментально. Используются уравнение: $T(t, y) \Big|_{\substack{t=t_b \\ y=a(t_b)}} = T_b$. Здесь

t_b есть время до растрескивания, $a(t_b)$ - координата изношенной части пластины до растрескивания. Получены соотношения для определения величин $a(t_b)$ и t_b .

Способ 2. При определении t_b используется формула (5). Она может быть использована также в случае, если не определена температура T_b . Отметим, что значения величины t_b , полученные по этим двум способом различались на 7%.

В 3.3 решается задача об определении времени до коррозионного изнашивания и растрескивания прямолинейного бруса кругового поперечного сечения, который подвергается чистому изгибу в агрессивной среде. Под изнашиванием бруса понимается изменение (уменьшение) радиуса поперечного сечения вследствие отделения с его поверхности продуктов коррозии от действия изгибающего момента и коррозионной среды. Под растрескиванием же бруса понимается нарушение его сплошности.

Предполагается, что известная гипотеза плоских сечений остается в силе и в данном случае. Компоненты напряжения σ_{ij} ($i, j = 1, 2, 3$), которые возникают, в рассматриваемом брус при отсутствии агрессивной среды принимают следующие значения $\sigma_{11} = \sigma_{22} = \sigma_{12} = \sigma_{13} = \sigma_{23} = 0$; $\sigma_{33} = \frac{M}{I} x_1$. Здесь $I = \int_F x_1^2 dF$ - момент инерции относительно оси x_2 . Будем исследовать случай круглого поперечного сечения радиуса R . При этом момент инерции относительно оси x_2 будет: $I = \frac{\pi}{4} R^4$. Под действием агрессивной среды радиус бруса уменьшается в зависимости от времени t : $R = R(t)$. Коррозионный процесс бруса при чистом изгибе зависит от его напряженного состояния. Согласно Гликману $\frac{dR}{dt} = -k - n\sigma_{33}$,

где величины k и n для каждой системы «метал – коррозионная среда» определяется экспериментально. Заметим, что величины k и n имеют соответственно следующие размерности: m/c ; $m^3/(H \cdot c)$.

Получена следующая формула, определяющая время до коррозионного изнашивания рассматриваемого бруса от напряжения бруса в начальной момент коррозионного процесса:

$$t_{0\sigma} = 1 - \frac{1}{2\sqrt{2}} \left(\frac{n}{k} \cdot \sigma_0 \right)^{\frac{1}{4}} \left[\frac{1}{2} \ln \frac{1 + \sqrt{2} \left(\frac{n}{k} \cdot \sigma_0 \right)^{\frac{1}{4}} + \left(\frac{n}{k} \cdot \sigma_0 \right)^{\frac{1}{2}}}{1 - \sqrt{2} \left(\frac{n}{k} \cdot \sigma_0 \right)^{\frac{1}{4}} + \left(\frac{n}{k} \cdot \sigma_0 \right)^{\frac{1}{2}}} + \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{2} \left(\frac{n}{k} \cdot \sigma_0 \right)^{\frac{1}{4}}}{\left(\frac{n}{k} \cdot \sigma_0 \right)^{\frac{1}{2}} - 1} \right]$$

Коррозионное изнашивание бруса будет происходить, если приложенный изгибающий момент удовлетворяет условию:

$$M \leq \frac{k \pi R_0^2}{4n}.$$

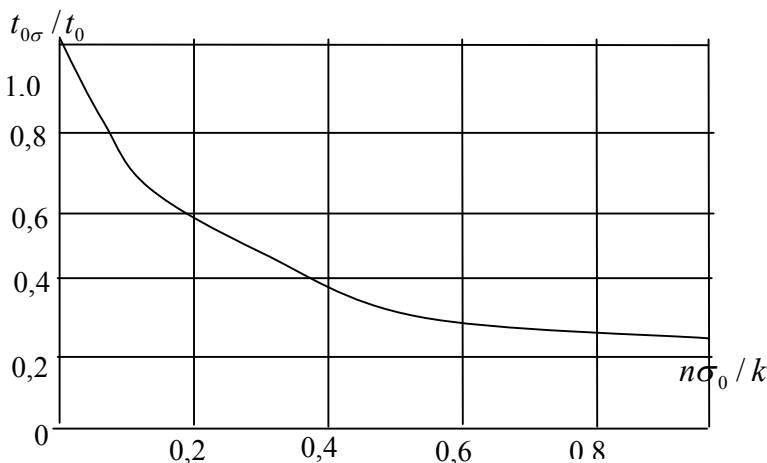


Рис.3. Зависимость времени полного коррозионного изнашивания от напряжения

Выведена формула, которое определяет зависимость времени коррозионного растрескивания рассматриваемого бруса через напряжения в начальной момент его деформирования в агрессивной среде. В безразмерной форме она имеет вид:

$$\begin{aligned}
\frac{t_{np}^\sigma}{t_0} = & 1 - \left(\frac{\sigma_0}{\sigma_{np}} \right)^{\frac{1}{4}} + \frac{1}{2\sqrt{2}} \left(\frac{n\sigma_{np}}{k} \right)^{\frac{1}{4}} \left(\frac{\sigma_0}{\sigma_{np}} \right)^{\frac{1}{4}} \left\{ \frac{1}{2} \left[\ln \frac{1 + \sqrt{2} \left(\frac{n\sigma_{np}}{k} \right)^{\frac{1}{4}} + \left(\frac{n\sigma_{np}}{k} \right)^{\frac{1}{2}}}{1 - \sqrt{2} \left(\frac{n\sigma_{np}}{k} \right)^{\frac{1}{4}} + \left(\frac{n\sigma_{np}}{k} \right)^{\frac{1}{2}}} - \right. \right. \\
& - \ln \frac{1 + \sqrt{2} \left(\frac{n\sigma_{np}}{k} \right)^{\frac{1}{4}} \left(\frac{\sigma_0}{\sigma_{np}} \right)^{\frac{1}{4}} + \left(\frac{n\sigma_{np}}{k} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\sigma_0}{\sigma_{np}} \right)^{\frac{1}{2}}}{1 - \sqrt{2} \left(\frac{n\sigma_{np}}{k} \right)^{\frac{1}{4}} \left(\frac{\sigma_0}{\sigma_{np}} \right)^{\frac{1}{4}} + \left(\frac{n\sigma_{np}}{k} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\sigma_0}{\sigma_{np}} \right)^{\frac{1}{2}}} \right] + \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{2} \left(\frac{n\sigma_{np}}{k} \right)^{\frac{1}{4}}}{\left(\frac{n\sigma_{np}}{k} \right)^{\frac{1}{4}} - 1} - \\
& \left. - \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{2} \left(\frac{n\sigma_{np}}{k} \right)^{\frac{1}{4}} \left(\frac{\sigma_0}{\sigma_{np}} \right)^{\frac{1}{4}}}{\left(\frac{n\sigma_{np}}{k} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\sigma_0}{\sigma_{np}} \right)^{\frac{1}{2}} - 1} \right\}
\end{aligned}$$

Здесь $t_0 = R_0/k$. Графическая зависимость времени растрескивания бруса от напряжения σ_0 при различных значениях величины $(n\sigma_{kp})/k$ приведена на рис.4.

Получена формула изменения радиуса бруса по времени в случае коррозионного изнашивания при чистом изгибе:

$$\begin{aligned}
\frac{t}{t_0} = & 1 - \frac{R}{R_0} + \frac{1}{2\sqrt{2}} \left(\frac{n\sigma_0}{k} \right)^{\frac{1}{4}} \left\{ \frac{1}{2} \left[\ln \frac{\left(\frac{R}{R_0} \right)^2 + \sqrt{2} \left(\left(\frac{n\sigma_0}{k} \right)^{\frac{1}{4}} \frac{R}{R_0} + \left(\frac{n\sigma_0}{k} \right)^{\frac{1}{2}} \right)}{\left(\frac{R}{R_0} \right)^2 - \sqrt{2} \left(\left(\frac{n\sigma_0}{k} \right)^{\frac{1}{4}} \frac{R}{R_0} + \left(\frac{n\sigma_0}{k} \right)^{\frac{1}{2}} \right)} - \right. \right. \\
& - \ln \frac{1 + \sqrt{2} \left(\frac{n\sigma_0}{k} \right)^{\frac{1}{4}} + \left(\frac{n\sigma_0}{k} \right)^{\frac{1}{2}}}{1 + \sqrt{2} \left(\frac{n\sigma_0}{k} \right)^{\frac{1}{4}} + \left(\frac{n\sigma_0}{k} \right)^{\frac{1}{2}}} \right] + \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{2} \left(\frac{n\sigma_0}{k} \right)^{\frac{1}{4}} \frac{R}{R_0}}{\left(\frac{n\sigma_0}{k} \right)^{\frac{1}{2}} - \left(\frac{R}{R_0} \right)^2} - \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{2} \left(\frac{n\sigma_0}{k} \right)^{\frac{1}{4}}}{\left(\frac{n\sigma_0}{k} \right)^{\frac{1}{2}} - 1} \left. \right\}
\end{aligned}$$

Изменение радиуса бруса по времени при различных $(n\sigma_{kp})/k$, графически приведено на рис.5.

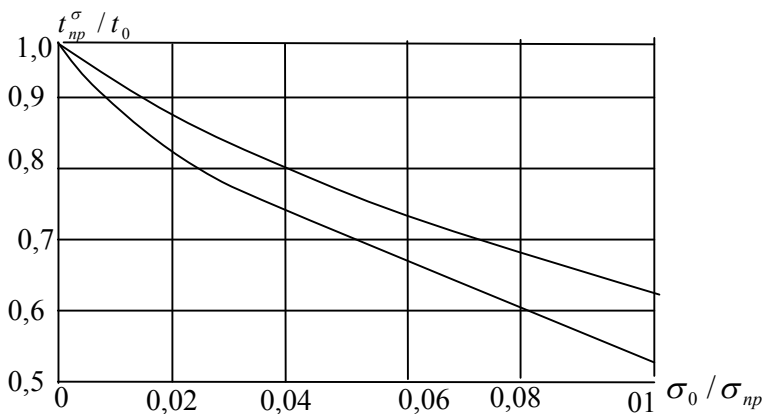


Рис.4. Зависимость времени растрескивания бруса от напряжения в начальном момент времени $1 - \frac{n\sigma_{np}}{k} = 2$; $2 - \frac{n\sigma_{np}}{k} = 4$

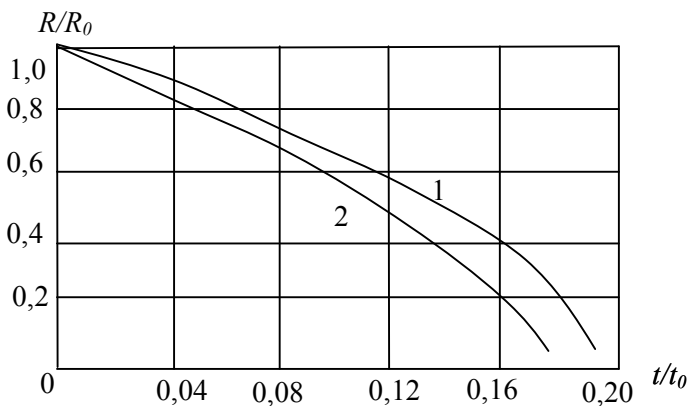


Рис.4. Изменение радиуса бруса по времени при его чистом изгибе в агрессивной среде $1 - \frac{n\sigma_0}{k} = 1,0$; $2 - \frac{n\sigma_0}{k} = 2,0$

ВЫВОДЫ

1. Выведены две альтернативные формулы, позволяющие прогнозировать времени до коррозионного разрушения элемента конструкции произвольной геометрии в случае, когда имеет место нестационарное изменение поля температуры рассматриваемого элемента в коррозионном процессе.

2. Предложена формула коррозионной прочности металлов – характеристика системы «металл-агрессивная среда», учитывающая влияния температуры. Сформулирована система опытов с целью определения универсальных констант системы «металл – коррозионная среда». Представлены результаты обработки опубликованных в литературе некоторых экспериментальных данных по коррозионному разрушению.

3. Решена задача об определении времени до полного коррозионного изнашивания и времени до растрескивания бесконечной пластины, поверхности которой в контакте с нагретой агрессивной средой. При этом на различных поверхностях действует различные температуры. Получено уравнение поверхности полного изнашивания. Выведены формулы, которые определяют соответственно время до полного изнашивания и время до растрескивания пластины.

4. Исследованы коррозионное изнашивание и коррозионное растрескивание прямолинейного бруса круглого поперечного сечения в следующих случаях:

- а) Коррозионный процесс бруса не зависит от напряжения, которое возникает в нем при его чистом изгибе в агрессивной среде;
- б) Коррозионный процесс бруса существенным образом зависит от его напряжения.

В обоих отмеченных случаях:

- были определены предельные времена полного изнашивания и растрескивания бруса.
- были найдены законы изменения радиуса бруса от времени.

Опубликованные по теме диссертации работы:

1. Кязимова Р.А., Э.Т.Багиров. Об одной эмпирической формуле коррозионной прочности металлов, XIII международной конференции посвященной 70-летию А.Д.Гаджиева Баку 2007, с.40
2. Э.Т.Багиров. Коррозионное разрушение металлов при нестационарных изменениях температуры, международной конференции посвященной 50-летию ИММ НАНА Баку 2009, с.76
3. Кязимова Р.А., Э.Т.Багиров . On one formula of corrosive strength of metals under non-stationary change of temperature, Transactions issue mat. and mec. ser. of phys.tech. and mat. sc. NASA, v.XXX, №1, 2010, pp.193-195
4. Кязимова Р.А., Э.Т.Багиров .О времени коррозионного разрушения металлов с учетом влияния механического напряжения и температуры, Матер. 12-й межд. науч.-практ. конф. Санкт-Петербург 2010, с.334-338.
5. Кязимова Р.А., Э.Т.Багиров . О времени коррозионного разрушения металлов с учетом влияния механического напряжения и температуры, Журнал "Арматуростроение" Россия, Москва 2010, с.58-60
6. Л.Х.Талыблы, Э.Т.Багиров . К вопросу прогнозирования коррозионного разрушения материалов в нестационарном поле температуры, Qafqaz Universitetinin əsərləri, Vol.1, No.2, 2013, с.108-112
7. Л.Х.Талыблы, Э.Т.Багиров . To prediction of corrosive failure of materials in non stationary temperature field, International Journal of Engineering and Innovative Technology v.4, issue 5, 2014, p.9-11
8. E.T.Bagirov. Daxilində topa qüvvə təsir edən sonsuz müstəvinin korroziyadan dağılması, The role of multidisciplinary approach in solution of actual problems of fundamental and applied sciences (earth, technical and chemical) dedicated of the Oil Workers day of Azerb. Rep. and 20 th anniv. of the contract of the century, Baku 2014, p.452
9. Э.Т.Багиров. Коррозионное разрушение призматического бруса кругового поперечного сечения при чистом изгибе, Восточно-

Европейский журнал передовых технологий, 2015, Vol.2, №7(74), с.56-61

10. Э.Т.Багиров. О разрушении бесконечной пластины в высокотемпературной коррозионной среде, Qafqaz Universitetinin əsərləri, Vol.3, №1, 2015, с.12-17

EMİN TELMAN oğlu BAĞIROV

KONSTRUKSIYA ELEMENTLƏRİNİN TEMPERATURUNUN QEYRİ-STASİONAR DƏYİŞİLMƏSİNDƏ KORROZİYADAN ÇATLAMASI

XÜLASƏ

Aqressiv mühitdə işləyən ixtiyari həndəsi ölçülü konstruksiya elementinin temperaturunun korroziya prosesində qeyri-stasionar dəyişilməsində korroziya dağılmasının vaxtını proqnozlaşdırmağa imkan verən iki alternativ düstur çıxarılmışdır. Aqressiv mühitin temperaturunun təsiri nəzərə alınmaqla materialların korroziya möhkəmliyinin xarakteristikası kimi qəbul oluna biləcək analitik ifadə verilmişdir. Bu ifadəyə daxil olan kəmiyyətlərin təyini üçün təcrübələr sistemi təklif olunmuşdur. Nəzəriyyənin ədəbiyyatda mövcud olan bəzi təcrübə məlumatları əsasında yoxlanılmasının nəticələri verilmişdir. Səthləri qızdırılmış aqressiv mühitlə təmasda olan sonsuz lövhənin tam korroziya aşınmasına və çatlamasına qədərki vaxtlarının təyini məsələsi həll edilmişdir. Lövhənin müxtəlif səthlərində müxtəlif temperaturlar təsir edir. Lövhənin tam aşınma səthinin tənliyi çıxarılmış, tam aşınmasına və çatlamasına qədərki vaxtlarını proqnozlaşdıran düsturlar çıxarılmışdır. Aqressiv mühitdə əyilmə deformasiyasına məruz qalan düzxətli tirin korroziya aşınması və korroziya çatlaması haqqında məsələlər həll edilmişdir. Tirin korroziya prosesi onun gərginliyindən əsaslı şəkildə asılıdır. Tirin tam aşınma və çatlamasının limit vaxtı təyin edilmişdir. Tirin radiusunun korroziya prosesində zamandan asılı olaraq dəyişməsi qanunu tapılmışdır.

EMIN TELMAN oglu BAGIROV

**CORROSIVE FAILURE OF CONSTRUCTIVE ELEMENTS
IN NON-STATIONARY TEMPERATURE FIELD**

SUMMARY

There have been derived two alternative formulas to predict corrosive failure of constructive elements in non-stationary temperature field of arbitrary geometrical size structural elements that work at aggressive environment. Taking into account the effect of temperature of aggressive environment, there is given analytical expression which can be accepted as a characteristic of corrosion resistance of metals. A system of experiments have been suggested to determine the quantities entered to this expression. Presented the results of the processing of published literature in some experimental data on the corrosive failure. The problem of determining the time of corrosive wear and the time of corrosive failure of an infinite plate, which contacts with the heated aggressive environment surface, has been solved. Various temperatures effect on different surfaces of plate. The equation of the complete wear surface and the formulas predicted the time of complete wear and the time of corrosive failure of the plate were achieved. The problem of corrosion wear and corrosion failure of a straight bar were solved. Corrosive process of bar closely depends on its tension. The limit time of complete wear and failure have been appointed. Found the law of changing the radius of the bar depending on the time during the corrosive process.