

6. Усов, А. В. Возникновение трещин при алмазно-абразивной обработке сталей [Текст] / А. В. Усов, Г. Д. Григорьян. – Ж. "Сверхтвердые материалы", № 6, К., Наукова думка, 1982. – С. 43–55.
7. Усов, А. В. Причины появления дефектов при шлифовании магнито-твердых сплавов [Текст] / А. В. Усов, Е. А. Кормилицына, Ф. М. Сальковский // Ж. Технология электротехнического производства. – 1982. – Вып. 4.–С. 1–3.
8. Усов, А. В. Анализ условий возникновения шлифовочных трещин и пути их устранения [Текст] / А. В. Усов, А. В. Якимов, Г. Д. Григорьян // Ж. Вестник машиностроения. – 1980. – № II. – С. 27–31.
9. Евсеев, Д. Г. Физические основы процесса шлифования [Текст] / Д. Г. Евсеев, А. Н. Сальников. – Саратов: изд. Саратовского университета, 1978. – 128 с.
10. Худобин, Л. В. Технология обработки высокоэффективных магнитных сплавов [Текст] / Л. В. Худобин, А. И. Бударин, Ф. М. Сальковский. – М., Энергия, 1979. – 128 с.
11. Попов, Г. Я. Концентрация упругих напряжений возле штампов, разрезов, тонких включений и подкреплений [Текст] / Г. Я. Попов. – М.: Наука, 1982. – 344 с.
12. Подзей, А. В. Шлифовочные дефекта и пути их устранения [Текст] / А. В. Подзей, А. В. Якимов // Ж. "Вестник машиностроения". – 1972. – № 3. – С. 41–43.
13. Корчак, С. Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей [Текст] / С. Н. Корчак. – М.: "Машиностроение", 1974. – 260 с.
14. Бурнаков, К. К. Причины трещинообразования при шлифовании [Текст] / К. К. Бурнаков, Г. П. Мосталыгин // "Вестник машиностроения". – 1975. – № 9. – С. 60–61.
15. Усов, А. В. Влияние термомеханических напряжений на трещинообразование при шлифовании цементруемых сплавов [Текст]: тез. докл. / А. В. Усов, А. В. Якимов, И. П. Сазонов // Современные проблемы резания инструментами из сверхтвердых материалов. – Харьков, 1981. – С. 57–61.
16. Усов, А. В. Повышение эффективности процесса бездефектного шлифования материалов и сплавов, предрасположенных к трещинообразованию [Текст]: дис. ... д-р. техн. наук / А. В. Усов. – К., 1991. – 426 с.

Розв'язана задача про визначення часу до корозійного руйнування прямолінійного бруса кругового поперечного перерізу, який піддається чистому вигину в агресивному середовищі. Досліджено такі випадки: корозійний процес бруса не залежить від напруги, що виникає при його чистому згині в агресивному середовищі; корозійний процес бруса істотно залежить від його напруги

Ключові слова: призматичний брус, чистий вигин, корозійне розтріскування, швидкість корозії, корозійне зношування

Решена задача об определении времени до коррозионного разрушения прямолинейного бруса кругового поперечного сечения, который подвергается чистому изгибу в агрессивной среде. Исследованы следующие случаи: коррозионный процесс бруса не зависит от напряжения, возникающего при его чистом изгибе в агрессивной среде; коррозионный процесс бруса существенным образом зависит от его напряжения

Ключевые слова: призматический брус, чистый изгиб, коррозионное растрескивание, скорость коррозии, коррозионное изнашивание

УДК 620.194.2

DOI: 10.15587/1729-4061.2015.40956

КОРРОЗИОННОЕ РАЗРУШЕНИЕ ПРИЗМАТИЧЕСКОГО БРУСА КРУГОВОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ ПРИ ЧИСТОМ ИЗГИБЕ

Э. Т. Багиров

Научный сотрудник

Отдел теории ползучести

Институт математики и механики Национальной

академии наук Азербайджана

ул. Б. Вахабзаде, 9, г. Баку,

Азербайджан, AZ1141

E-mail: creepimm@gmail.com

1. Введение

Известно, что современные промышленные конструкции работают в условиях агрессивных сред. Совместное действие агрессивной среды и механической

нагрузки на элементы конструкции приводит к их коррозионному разрушению. Коррозионное разрушение является одним из опасных видов разрушения промышленных изделий. Коррозии подвергаются металлы и не только металлы – бетон, полимерные

материалы, керамика и т. д. Агрессивные же среды, которые приводят к коррозии материалов, могут быть газообразными и жидкостными, среди которых грунт, вода, окружающая атмосфера и т. д. Согласно работам [1, 2], существуют различные теории, объясняющие механизм возникновения и протекания процессов. Эти теории разделяются на химическую, электрохимическую и механическую. Учитывая актуальность, в данной работе на основе механической теории решается вопрос об определении времени до разрушения прямолинейного бруса кругового поперечного сечения его чистом изгибе в агрессивной среде. При этом рассматривается случай, когда влиянием механического напряжения бруса на его коррозионный процесс можно пренебречь, а также случай, когда отмеченное влияние является существенным. Кроме того, изучаются процессы коррозионного изнашивания и коррозионного растрескивания; предполагается, что существует условие между заданным изгибающим моментом и скоростью коррозии, при выполнении которого происходит полное изнашивание бруса. Вместе с тем, считается, что если напряжение бруса достигает предела прочности его материала, то имеет место коррозионное растрескивание этого бруса.

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.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Разрушение материалов при совместном действии агрессивной среды и механической нагрузки в основном исследованы путем проведения различных экспериментов. В [1, 2] изучены различные механизмы коррозионного разрушения материалов под напряжением. Приведены результаты многочисленных экспериментов, которые позволили выявить некоторые закономерности коррозионного процесса.

В [3] с помощью электрохимических и механических методов проводилось исследование коррозионного разрушения латуни марки Н62 в растворе Меттсона при предварительно заданных различных уровнях напряжений. Были представлены результаты, которые показали существенное влияние механических напряжений на скорость коррозии. Исследование коррозионного растрескивания под действием напряжения аустенитного сплава марки Fe18Cr10Mn в водном хлориде проводилось в [4]. Показывается, что скорость коррозии этого сплава в 12 %-ном растворе хлористого натрия при 50 °С уменьшается с увеличением содержания азота 0,3 до 0,6 мас %.

В [5] изучены факторы, влияющие на скорость коррозии. При этом отмечается, что в некоторых системах «металл – агрессивная среда» влиянием механического напряжения на коррозионный процесс можно пренебречь. Однако, имеется очень много таких систем, где механическое напряжение имеет существенное влияние на коррозионный процесс. Кроме того, в результате различных экспериментов показывается, что скорость

изменения характерного размера исследуемых образцов может быть для ряда систем «металл – агрессивная среда» принята зависящей от механического напряжения линейным законом.

Исследование воздействия изменения состава климата на скорость атмосферной коррозии конструкций из сталей проводилось в работе [6]. Сделан вывод, что скорость коррозионного процесса увеличивается и, вместе с тем, уменьшается время до коррозионного растрескивания конструкций из сталей при увеличении концентрации двуокиси углерода и относительной влажности атмосферной среды.

Теоретические исследования коррозионного растрескивания под напряжением проводились сравнительно мало. Среди первых следует отметить [7], где предполагается собственная механическая теория коррозионного разрушения материалов и, исходя из этого, выводятся теоретические формулы, позволяющие определить время до коррозионного разрушения для сплошной прямоугольной пластинки.

В [8] процесс коррозионного разрушения рассмотрен как процесс накопления особого вида повреждений и на этой основе разработан метод определения времени до коррозионного разрушения. Теоретически выведена формула, которая при известном напряженном состоянии в начальный момент коррозионного процесса и известной характеристике коррозионной прочности позволяет определить время до коррозионного разрушения тел произвольной геометрии. При этом за характеристики коррозионной прочности принимается экспериментальная кривая зависимости времени до коррозионного разрушения экспериментального образца из исследуемого материала в заданной агрессивной среде от механического напряжения, температуры, концентрации диффундирующих веществ, потенциала коррозии. Напряженное состояние тела в начальный момент считается известным из решения краевой задачи механики деформируемого твердого тела, например, из ее раздела теории упругости. Заметим, что из формулы работы [8] при некоторых частных случаях следует формулы работ [7, 9, 10]. В [11] предложена универсальная функция – характеристика коррозионной прочности, которая может быть использована в феноменологических теориях коррозионного разрушения.

В данной работе теоретически решается конкретная задача о коррозионном разрушении прямолинейного бруса при его изгибном деформировании в агрессивной среде.

Задача определения напряженно-деформированного состояния призматического бруса является классической и решение этой задачи приведено во многих учебниках по теории упругости [12, 13]. Однако, прогнозирование разрушения призматического бруса при чистом изгибе в агрессивной среде, то есть определение времени до коррозионного разрушения этого бруса, является не изученной задачей. Этот вопрос становится востребованным в связи с тем, что многие призматические элементы современных промышленных конструкций работают на изгиб при наличии агрессивной среды.

Используется декартова система координат (x_1, x_2, x_3) . За ось x_3 принимается ось бруса, а за оси x_1 и x_2 – главные центральные оси инерции поперечно-

го сечения. При этом ось x_1 направляется в сторону растянутых волокон (рис. 1).

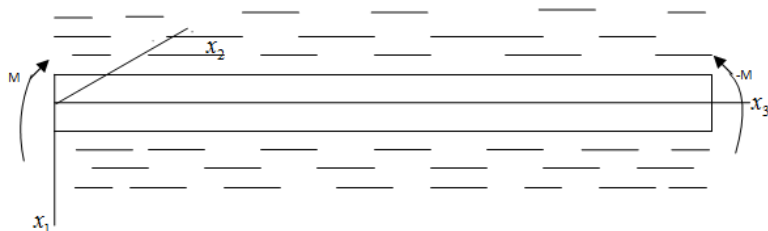


Рис. 1. Чистый изгиб бруса в агрессивной среде

Брус изгибается в агрессивной среде в главной плоскости (x_1x_3) двумя равными и противоположными моментами M . Предполагается, что боковая поверхность бруса свободна от внешних сил, однако имеет место действия агрессивной среды. Массовые силы отсутствуют. Как известно, брус в этом случае подвергается чистому изгибу в агрессивной среде.

3. Цель и задачи исследования

Целью данной работы является теоретическое исследование коррозионного процесса прямолинейного бруса круглого поперечного сечения при чистом изгибе в агрессивной среде.

Задачей исследования является определение времени полного коррозионного изнашивания и времени коррозионного растрескивания этого бруса.

4. Решение задачи об определении времени коррозионного разрушения бруса

Предположим, 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 [12, 13]:

$$\sigma_{11} = \sigma_{22} = \sigma_{12} = \sigma_{13} = \sigma_{23} = 0; \sigma_{33} = \frac{M}{I} x_1. \tag{1}$$

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 : $R = R(t)$.

Сначала рассмотрим случай, когда напряжение бруса не влияет на его коррозионный процесс. В этом случае изменение радиуса бруса по времени описывается уравнением:

$$\frac{dR}{dt} = -k. \tag{2}$$

Величина k есть скорость коррозии материала бруса в заданной агрессивной среде. Она для каждой системы

«метал – агрессивная среда» определяется соответствующими экспериментами [5]

Пусть в начальный момент $t=0$ радиус бруса будет R_0 :

$$R(t)|_{t=0} = R_0. \tag{3}$$

Из (2) при условии (3) получим

$$R = R_0 - kt. \tag{4}$$

Так как $R(t) \geq 0$, то соотношение (4) имеет смысл только в том случае, если $t < t_0$. Время t_0 имеет смысл времени полного коррозионного изнашивания бруса в рассматриваемом случае.

При увеличении времени t поперечное сечение, то есть радиус бруса, уменьшается, вместе с тем уменьшается и соответствующий момент инерции, что приводит к увеличению напряжения σ_{33} . При сделанных предложениях, напряжения изменяется по следующей формуле:

$$\begin{aligned} \sigma_{33} &= \frac{4M}{\pi R^4(t)} x_1 = \frac{4M x_1}{\pi (R_0 - kt)^4} = \\ &= \frac{4M x_1}{\pi R_0^4} \left(1 - \frac{kt}{R_0} \right) = \sigma_0 \left(1 - \frac{t}{t_0} \right)^{-4}. \end{aligned}$$

Здесь $\sigma_0 = \frac{4M}{\pi R_0^4} x_1$ есть напряжения σ_{33} при $t=0$. Известно, что существует предельное значение напряжения $\sigma_{пр}$, выше которого происходит мгновенное разрушения элемента конструкций [13]. При этом, $\sigma_{33} < \sigma_{пр}$. Отсюда следует, что существует также предельное значение времени: $t_{пр}$. При этом $t < t_{пр}$. Применительно к нашей задаче, время $t_{пр}$ определяется из следующего условия

$$\sigma_0 \left(1 - \frac{t_{пр}}{t_0} \right)^{-4} = \sigma_{пр}.$$

Отсюда имеем

$$t_{пр} = t_0 \left[1 - \left(\frac{\sigma_0}{\sigma_{пр}} \right)^{\frac{1}{4}} \right] \text{ или } t_{пр} = \frac{R}{k} \left[1 - \left(\frac{\sigma_0}{\sigma_{пр}} \right)^{\frac{1}{4}} \right]. \tag{5}$$

Так, как $\sigma_0 < \sigma_{пр}$, то имеем $t_{пр} < t_0$. Следовательно, формула (4) имеет смысл при $t < t_{пр}$.

Формула (5) определяет время растрескивания бруса в агрессивной среде при его чистом изгибе в случае, когда влиянием напряжения бруса на его коррозионный процесс можно пренебречь.

Теперь предположим, что коррозионный процесс бруса при чистом изгибе зависит от его напряженного состояния. Согласно Гликману [5], имеем:

$$\frac{dR}{dt} = -k - n\sigma_{33}, \tag{6}$$

где величины k и n для каждой системы «метал – коррозионная среда» определяются экспериментально

[5]. Заметим, что величина k и n имеют соответственно следующие размерности: m/c ; $m^3/(H \cdot c)$.

С учетом выражения для σ_{33} уравнения (6) имеет вид

$$\frac{dR}{dt} = -k - n \frac{4Mx_1}{\pi R^4(t)}. \quad (7)$$

Из (7) имеем

$$dt = -\frac{dR}{k} + \frac{4nMx_1}{\pi k^2} \cdot \frac{dR}{R^4 + \frac{4nMx_1}{k\pi}}. \quad (8)$$

Проинтегрируем уравнение (8) при условии (3). После некоторых преобразований получим:

$$t = -\frac{1}{k}(R - R_0) + \frac{1}{2k} \left(\frac{nMx_1}{k\pi} \right)^{\frac{1}{4}} \times \left\{ \frac{1}{2} \ln \frac{R^2 + 2 \left(\frac{nMx_1}{k\pi} \right)^{\frac{1}{4}} R + 2 \left(\frac{nMx_1}{k\pi} \right)^{\frac{1}{2}}}{R^2 - 2 \left(\frac{nMx_1}{k\pi} \right)^{\frac{1}{4}} R + 2 \left(\frac{nMx_1}{k\pi} \right)^{\frac{1}{2}}} - \ln \frac{R_0^2 + 2 \left(\frac{nMx_1}{k\pi} \right)^{\frac{1}{4}} R_0 + 2 \left(\frac{nMx_1}{k\pi} \right)^{\frac{1}{2}}}{R_0^2 - 2 \left(\frac{nMx_1}{k\pi} \right)^{\frac{1}{4}} R_0 + 2 \left(\frac{nMx_1}{k\pi} \right)^{\frac{1}{2}}} + \arctg \frac{2 \left(\frac{nMx_1}{k\pi} \right)^{\frac{1}{4}} R}{2 \left(\frac{nMx_1}{k\pi} \right)^{\frac{1}{2}} R^2} - \arctg \frac{2 \left(\frac{nMx_1}{k\pi} \right)^{\frac{1}{4}} R_0}{2 \left(\frac{nMx_1}{k\pi} \right)^{\frac{1}{2}} R_0^2} \right\}. \quad (9)$$

Соотношение (9) определяет зависимость радиуса бруса R от времени t при заданных параметрах коррозионного процесса n , k и при заданном изгибающем моменте M .

Время до полного коррозионного изнашивания определяется из соотношения (9) при условии $R=0$:

$$t_{0\sigma} = \frac{R_0}{k} - \frac{1}{2k} \left(\frac{nMx_1}{k\pi} \right)^{\frac{1}{4}} \times$$

$$\times \left[\frac{1}{2} \ln \frac{R_0^2 + 2 \left(\frac{nMx_1}{k\pi} \right)^{\frac{1}{4}} R_0 + 2 \left(\frac{nMx_1}{k\pi} \right)^{\frac{1}{2}}}{R_0^2 - 2 \left(\frac{nMx_1}{k\pi} \right)^{\frac{1}{4}} R_0 + 2 \left(\frac{nMx_1}{k\pi} \right)^{\frac{1}{2}}} + \arctg \frac{2 \left(\frac{nMx_1}{k\pi} \right)^{\frac{1}{4}} R_0}{2 \left(\frac{nMx_1}{k\pi} \right)^{\frac{1}{2}} R_0^2} \right]. \quad (10)$$

Используя выражения для σ_0 и t_0 , которые приведены выше, перепишем соотношение (10) в виде:

$$t_{0\sigma} = 1 - \frac{1}{2\sqrt{2}} \left(\frac{n}{k} \cdot \sigma_0 \right)^{\frac{1}{4}} \left[\frac{1}{2} \ln \frac{1 + \sqrt{2} \left(\frac{n}{k} \cdot \sigma_0 \right)^{\frac{1}{4}} + \left(\frac{n}{k} \cdot \sigma_0 \right)^{\frac{1}{2}}}{1 - \sqrt{2} \left(\frac{n}{k} \cdot \sigma_0 \right)^{\frac{1}{4}} + \left(\frac{n}{k} \cdot \sigma_0 \right)^{\frac{1}{2}}} + \arctg \frac{\sqrt{2} \left(\frac{n}{k} \cdot \sigma_0 \right)^{\frac{1}{4}}}{\left(\frac{n}{k} \cdot \sigma_0 \right)^{\frac{1}{2}} - 1} \right]. \quad (11)$$

Полученное соотношение является зависимостью между временем до коррозионного изнашивания рассматриваемого бруса от напряжения бруса в начальной момент коррозионного процесса. Из физических

соображений ясно что, $\frac{t_{0\sigma}}{t_0} > 0$. Исходя из этого, из (11) имеем

Неравенство (12) удовлетворяется, если $\sigma_0 \leq \frac{k}{n}$. Отсюда имеем:

$$\frac{1}{2\sqrt{2}} \left(\frac{n}{k} \cdot \sigma_0 \right)^{\frac{1}{4}} \times \left[\frac{1}{2} \ln \frac{1 + \sqrt{2} \left(\frac{n}{k} \cdot \sigma_0 \right)^{\frac{1}{4}} + \left(\frac{n}{k} \cdot \sigma_0 \right)^{\frac{1}{2}}}{1 - \sqrt{2} \left(\frac{n}{k} \cdot \sigma_0 \right)^{\frac{1}{4}} + \left(\frac{n}{k} \cdot \sigma_0 \right)^{\frac{1}{2}}} + \arctg \frac{\sqrt{2} \left(\frac{n}{k} \cdot \sigma_0 \right)^{\frac{1}{4}}}{\left(\frac{n}{k} \cdot \sigma_0 \right)^{\frac{1}{2}} - 1} \right] > 1. \quad (12)$$

$$M \leq \frac{k\pi R_0^2}{4n}. \quad (13)$$

Следовательно, коррозионное изнашивание бруса будет происходить, если приложенный изгибающий момент удовлетворяет условию (13).

На рис. 2. представлен график зависимости времени полного коррозионного изнашивания от величины напряжения бруса в начальный момент времени.

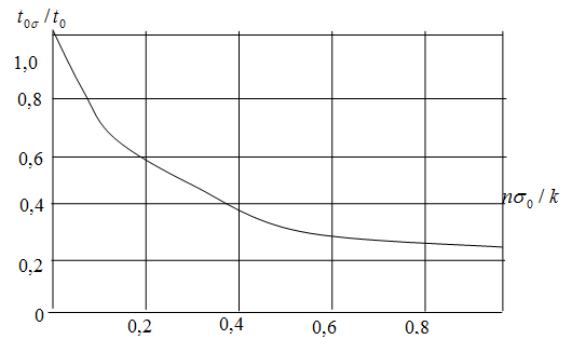


Рис. 2. Зависимость времени полного коррозионного изнашивания от напряжения

Теперь определим величину t_{np}^σ , т. е. время, когда напряжение бруса достигает предельного напряжения σ_{np} :

$$\sigma_{33} \Big|_{t=t_{np}^\sigma} = \sigma_{np}$$

Имеем:

$$\sigma_{33} \Big|_{t=t_{np}^\sigma} = \frac{4M}{\pi R^4(t)} x_1 \Big|_{t=t_{np}^\sigma} = \frac{4M R_0^4 x_1}{\pi R_0^4 R^4(t)} \Big|_{t=t_{np}^\sigma} = \sigma_0 \left(\frac{R_0}{R(t_{np}^\sigma)} \right)^4 = \sigma_{np}$$

Отсюда получаем:

$$R(t_{np}^\sigma) = R_0 \left(\frac{\sigma_0}{\sigma_{np}} \right). \quad (14)$$

Учтем соотношение (14) в (9). Будем иметь

$$\begin{aligned}
 t_{np}^\sigma = & \frac{R_0}{k} \left[1 - \left(\frac{\sigma_0}{\sigma_{np}} \right)^{\frac{1}{4}} \right] + \frac{1}{2\sqrt{2}} \frac{R_0}{k} \left(\frac{n\sigma_{np}}{k} \right)^{\frac{1}{4}} \left(\frac{\sigma_0}{\sigma_{np}} \right)^{\frac{1}{4}} \times \\
 & \times \left\{ \frac{1}{2} \ln \frac{1 + \sqrt{2} + \left(\frac{n\sigma_{np}}{k} \right)^{\frac{1}{4}} + \left(\frac{n\sigma_{np}}{k} \right)^{\frac{1}{2}}}{1 - \sqrt{2} \left(\frac{n\sigma_{np}}{k} \right)^{\frac{1}{4}} + \left(\frac{n\sigma_{np}}{k} \right)^{\frac{1}{2}}} - \right. \\
 & \left. - \ln \frac{1 + \sqrt{2} \left(\frac{n\sigma_{np}}{k} \right)^{\frac{1}{4}} \left(\frac{\sigma_0}{\sigma_{np}} \right)^{\frac{1}{4}} + \left(\frac{n\sigma_{np}}{k} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\sigma_0}{\sigma_{np}} \right)^{\frac{1}{2}}}{1 - \sqrt{2} \left(\frac{n\sigma_{np}}{k} \right)^{\frac{1}{4}} \left(\frac{\sigma_0}{\sigma_{np}} \right)^{\frac{1}{4}} + \left(\frac{n\sigma_{np}}{k} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\sigma_0}{\sigma_{np}} \right)^{\frac{1}{2}}} \right] + \\
 & + \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{2} \left(\frac{n\sigma_{np}}{k} \right)^{\frac{1}{4}}}{\sqrt{2} \left(\frac{n\sigma_{np}}{k} \right)^{\frac{1}{2}} - 1} - \\
 & - \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{2} \left(\frac{n\sigma_{np}}{k} \right)^{\frac{1}{4}} \left(\frac{\sigma_0}{\sigma_{np}} \right)^{\frac{1}{4}}}{\sqrt{2} \left(\frac{n\sigma_{np}}{k} \right)^{\frac{1}{2}} - 1} \left. \right\}. \tag{15}
 \end{aligned}$$

Формула (15) в безразмерных величинах имеет вид:

$$\begin{aligned}
 \frac{t_{np}^\sigma}{t_{0p}} = & 1 - \left(\frac{\sigma_0}{\sigma} \right)^{\frac{1}{4}} + \frac{1}{2\sqrt{2}} \left(\frac{n\sigma}{npk} \right)^{\frac{1}{4}} \left(\frac{\sigma_0}{\sigma} \right)^{\frac{1}{4}} \left\{ \frac{1}{2} \ln \frac{1 + \sqrt{2} \left(\frac{n\sigma_{np}}{k} \right)^{\frac{1}{4}} + \left(\frac{n\sigma_{np}}{k} \right)^{\frac{1}{2}}}{1 - \sqrt{2} \left(\frac{n\sigma_{np}}{k} \right)^{\frac{1}{4}} + \left(\frac{n\sigma_{np}}{k} \right)^{\frac{1}{2}}} - \right. \\
 & \left. - \ln \frac{1 + \sqrt{2} \left(\frac{n\sigma_{np}}{k} \right)^{\frac{1}{4}} \left(\frac{\sigma_0}{\sigma_{np}} \right)^{\frac{1}{4}} + \left(\frac{n\sigma_{np}}{k} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\sigma_0}{\sigma_{np}} \right)^{\frac{1}{2}}}{1 - \sqrt{2} \left(\frac{n\sigma_{np}}{k} \right)^{\frac{1}{4}} \left(\frac{\sigma_0}{\sigma_{np}} \right)^{\frac{1}{4}} + \left(\frac{n\sigma_{np}}{k} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\sigma_0}{\sigma_{np}} \right)^{\frac{1}{2}}} \right\} + \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{2} \left(\frac{n\sigma_{np}}{k} \right)^{\frac{1}{4}}}{\left(\frac{n\sigma_{np}}{k} \right)^{\frac{1}{2}} - 1} - \\
 & - \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{2} \left(\frac{n\sigma_{np}}{k} \right)^{\frac{1}{4}} \left(\frac{\sigma_0}{\sigma_{np}} \right)^{\frac{1}{4}}}{\left(\frac{n\sigma_{np}}{k} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\sigma_0}{\sigma_{np}} \right)^{\frac{1}{2}} - 1} \left. \right\}. \tag{16}
 \end{aligned}$$

Формула (16) определяет зависимость предельного времени коррозионного разрушения рассматриваемого бруса от напряжений в начальной момент его деформирования в агрессивной среде. Заметим, что при времени t_{np}^σ , которое определяется по формуле (16), рассматриваемый брус растрескивается (разрушается). Графическая зависимость времени растрескивания бруса от напряжения σ_0 при различных значениях величины $(n\sigma_{kp})/k$ приведена на рис. 3.

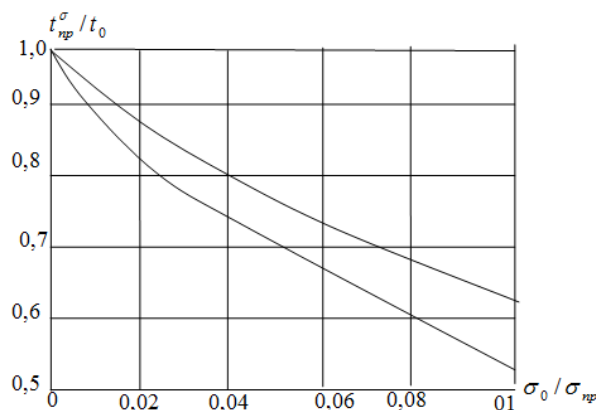


Рис. 3. Зависимость времени растрескивания бруса от напряжения в начальный момент времени: $1 - \frac{n\sigma_{np}}{k} = 2$; $2 - \frac{n\sigma_{np}}{k} = 4$

Так как по физическому смыслу $t_{np}^\sigma > 0$, данное условие налагает на напряжения σ_0 , и тем самым на изгибающий момент M , дополнительное условие, которое заключается в том, что правая часть соотношения (16) должна быть положительной величиной.

Из (9) после некоторого преобразования следует:

$$\begin{aligned}
 \frac{t}{t_0} = & 1 - \frac{R}{R_0} + \frac{1}{2\sqrt{2}} \left(\frac{n\sigma_0}{k} \right)^{\frac{1}{4}} \times \\
 & \times \left\{ \frac{1}{2} \ln \frac{\left(\frac{R}{R_0} \right)^2 + \sqrt{2} \left(\frac{n\sigma_0}{k} \right)^{\frac{1}{4}} \frac{R}{R_0} + \left(\frac{n\sigma_0}{k} \right)^{\frac{1}{2}}}{\left(\frac{R}{R_0} \right)^2 - \sqrt{2} \left(\frac{n\sigma_0}{k} \right)^{\frac{1}{4}} \frac{R}{R_0} + \left(\frac{n\sigma_0}{k} \right)^{\frac{1}{2}}} - \right. \\
 & \left. - \ln \frac{1 + \sqrt{2} \left(\frac{n\sigma_0}{k} \right)^{\frac{1}{4}} + \left(\frac{n\sigma_0}{k} \right)^{\frac{1}{2}}}{1 + \sqrt{2} \left(\frac{n\sigma_0}{k} \right)^{\frac{1}{4}} + \left(\frac{n\sigma_0}{k} \right)^{\frac{1}{2}}} \right\} + \\
 & + \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{2} \left(\frac{n\sigma_0}{k} \right)^{\frac{1}{4}} \frac{R}{R_0}}{\left(\frac{n\sigma_0}{k} \right)^{\frac{1}{2}} - \left(\frac{R}{R_0} \right)^2} - \\
 & - \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{2} \left(\frac{n\sigma_0}{k} \right)^{\frac{1}{4}}}{\left(\frac{n\sigma_0}{k} \right)^{\frac{1}{2}} - 1} \left. \right\}. \tag{17}
 \end{aligned}$$

Соотношение (17) представляет формулу изменения радиуса бруса по времени в случае коррозионного изнашивания при чистом изгибе. Изменение радиуса бруса по времени при различных значениях $(n\sigma_{kp})/k$, согласно формуле (17), графически приведено на рис. 4.

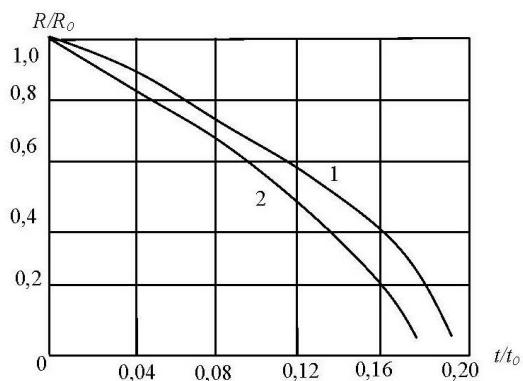


Рис. 4. Изменение радиуса бруса по времени при его чистом изгибе в агрессивной среде:

$$1 - \frac{n\sigma_0}{k} = 1,0; \quad 2 - \frac{n\sigma_0}{k} = 2,0$$

Как видим, например, в случае $\frac{n\sigma_0}{k} = 1,0$, при времени $t = 0,16t_0$ радиус бруса R будет $0,2R_0$.

5. Выводы

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 значения времени полного изнашивания и растрескивания бруса, а также найдены законы изменения радиуса бруса от времени. В частности установлено, что скорость уменьшения радиуса поперечного сечения бруса в процессе коррозии до определенного периода может считаться постоянной, после этого периода она сильно увеличивается и в момент разрушения становится бесконечно большой. Кроме того, время до разрушения бруса при значительной зависимости коррозионного процесса от напряжения составляет не более 0,2 от соответствующего времени в случае отсутствия такой зависимости.

Литература

1. Logan, L. L. Коррозия металлов под напряжением [Текст] / Л. Л. Logan. – Москва: Металлургия, 1970. – 340 с.
2. Романов, В. В. Коррозионное растрескивание металлов [Текст] / В. В. Романов. – Москва: Гостехиздат, 1960. – 179 с.
3. Du, X. S. Pre-strain enhances film rupture to promote SCC of brass in Mattsson’s solution-A proposal for a film-rupture-induced SCC mechanism [Text] / X. S. Du, Y. S. Su, C. Zhang, S. X. Li, L. S. Qiao, W. Y. Chu, W. G. Chen, Q. S. Zhang, D. X. Liu // Corrosion Science. – 2013. – Vol. 69. – P. 302–310. doi: 10.1016/j.corsci.2012.11.043
4. Yoon, Y.-S. Effect on NanC on stress corrosion cracking susceptibility of austenitic Fe18Cr10Mn-basses stainless steels [Text] / Y.-S. Yoon, H.-Y. Ha, T.-H. Lee, S. Kini // Corrosion Science. – 2014. – Vol. 80. – P. 28–36. doi: 10.1016/j.corsci.2013.09.014
5. Гликман, Л. А. Коррозионно-механическая прогноть металлов [Текст] / Л. А. Гликман. – Москва-Ленинград: Машгиз, 1955. – 175 с.
6. Nguyen, M. N. An assessment of climate change effects on atmospherec corrosion rates of steel structures [Text] / M. N. Nguyen, X. Wang, R. H. Leicester // Corrosion Engineering Sciences and Technology. – 2013. – Vol. 48, Issue 5. – P. 359–369. doi: 10.1179/1743278213y.0000000087
7. Работнов, Ю. Н. О возможном механизме разрушения металла в коррозионной среде [Текст] / Ю. Н. Работнов // Изв. АН СССР, ОТН. – 1954. – № 6. – С. 53–56
8. Talybly, L. Kh. On determining the time to corrosion fracture of metals [Text] / L. Kh. Talybly // Transactions of National Academy of Sciences of Azerbaijan, ser. Of physical-technical and mathematical sci./ssue mathematical and mechanics. Baku: “Elm”. – 2003. – Vol. XXIII, Issue 1. – P. 239–246.
9. Талыблы, Л. Х. Об одной формуле коррозионного разрушения под напряжением [Текст]: матер. 13-й Межд. конф. / Л. Х. Талыблы // Технология машин механизмов от нано до макроуровня. – Санкт-Петербург. – 2011. – Т. 2. – С. 423–426.
10. Талыблы, Л. Х. К вопросу прогнозирования коррозионного разрушения металлов при нестационарных изменениях потенциала [Текст] / Л. Х. Талыблы, А. М. Джафарова // Тяжелое машиностроение. – 2014. – № 10. – С. 37–40.
11. Талыблы, Л. Х. Об одной универсальной функции коррозионной прочности материалов с учетом влияния механических напряжений и концентрации диффундирующих веществ [Текст] / Л. Х. Талыблы, Х. А. Мамедова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – Т. 6, № 11 (72). – С. 46–49. doi: 10.15587/1729-4061.2014.32414
12. Амензаде, Ю. А. Теория упругости [Текст] / Ю. А. Амензаде. – Москва: Высшая школа, 1971. – 288 с.
13. Тимошенко, С. П. Теория упругости [Текст] / С. П. Тимошенко, Дж. Гудьер. – Москва: Наука, 1979. – 560 с.