

53 Международная научная конференция «Актуальные проблемы прочности» состоится 2–5 октября 2012 г. в г. Витебск, Республика Беларусь.

Организаторы:

Межгосударственный координационный совет по физике прочности и пластичности материалов, Научный Совет РАН по физике конденсированных сред, Министерство образования Республики Беларусь, Национальная академия наук Беларуси, Государственный комитет по науке и технологиям Республики Беларусь, Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований и др.

Оргкомитет

Председатель: Рубаник В.В. - д.т.н., директор Института Технической Акустики. (Витебск, Беларусь),

Сопредседатели: Бетехтин В.И. - д.ф.-м.н., проф. (С.-Петербург, Россия), Глезер А.М. - д.ф.-м.н., проф., директор ЦНИИ ЧерМет (Москва, Россия), Фирстов С.А. - акад. НАНУ (Киев, Украина),

Тематика:

- Прочность и пластичность и их связь с особенностями строения и структуры материалов (нано- и микрокристаллических металлов и сплавов; аморфных материалов; композитов; материалов с эффектом памяти формы: полимерных; фуллеренов; высокопрочных керамик).
- Механизмы деформации и разрушения твердых тел при статических, циклических и динамических нагрузках. Высокотемпературная ползучесть, сверхпластичность.
- Влияние на дефектную структуру и свойства различных внешних воздействий, в том числе ультразвуковых, магнитных, электрических, нейтронного и другого облучения.
- Новые методы исследования дефектной структуры и механических свойств материалов.
- Перспективные материалы и технологии.

Возможно расширение тематики в рамках общего направления.

Более подробная информация о конференции на сайте <http://mks-phys.ru/index.php/page/get/43>

Решение о включении доклада в программу конференции принимает оргкомитет при подаче заявки до 20.06.2012 г. Доклад Л.А. Хакназаровой "Расчет на прочность сферических элементов при равномерном механохимическом износе" принят.

Приглашение

НАЦЫЯНАЛЬНАЯ АКАДЭМІЯ НАВУК БЕЛАРУСІ
Дзяржаўная навуковая ўстанова
«ІНСТЫТУТ ТЭХНІЧНАЙ АКУСТЫКІ
НАЦЫЯНАЛЬНАЙ АКАДЭМІІ НАВУК
БЕЛАРУСІ»

«ІТА НАН Беларусі»
просп. Люднікава, 13, 210023, г. Віцебск
Тэл /факс (0212) 24-39-53
E-mail: ita@vitebsk.by



НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ИНСТИТУТ ТЕХНИЧЕСКОЙ АКУСТИКИ
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК
БЕЛАРУСИ»

«ИТА НАН Беларусі»
просп. Люднікава, 13, 210023, г. Віцебск
Тел/факс (0212) 24 39 53
E-mail: ita@vitebsk.by

27.06.2012 № 153 – 03-24/690
На № _____ ад _____

ФГБОУ ВПО
«Санкт-Петербургский
государственный университет»
Хакназаровой Л.А.

Уважаемая Лина Адисоновна!

Организационный комитет приглашает Вас выступить с докладом «Расчет на прочность сферических элементов при равномерном механохимическом износе» на 53 Международной научной конференции «Актуальные проблемы прочности», которая состоится 2 – 5 октября 2012 года в г. Витебске (Республика Беларусь).

Председатель оргкомитета
конференции,
директор института
доктор технических наук



В.В. Рубаник

03 Гуркова Е.И. 24 39 53
27.06.2012

РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ СФЕРИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ РАВНОМЕРНОМ МЕХАНОХИМИЧЕСКОМ ИЗНОСЕ

Хакназарова Л. А.

Санкт-Петербургский государственный университет, Российская Федерация
haknazarova.l@gmail.com

Защита металлических изделий и конструкций от коррозии является одной из самых важных проблем при решении вопросов долговременной эксплуатации и надежности сооружений. В среднем, в мировом масштабе от коррозии ежегодно теряется около 20 млн. тонн железа, что составляет примерно 10% его производства. Коррозию классифицируют по характеру разрушения, по типу агрессивных сред, по условиям протекания и т.п. По характеру разрушения выделяют сплошную и локальную коррозию. Сплошная коррозия может быть равномерной (с одинаковой скоростью по всей поверхности) и неравномерной (скорость коррозии на разных участках поверхности неодинакова). Равномерная коррозия приводит к наибольшим, по сравнению с другими видами коррозии, необратимым потерям массы металла. В работе рассматривается сплошная равномерная поверхностная коррозия. Скорость проникновения коррозии зависит от многих факторов. В некоторых условиях коррозионный процесс может ускоряться механическими напряжениями. Для такой коррозии, согласно ГОСТ 5272-68*, принят термин «коррозия под напряжением». В научной литературе ее часто называют механохимической.

Равномерная механохимическая коррозия элементов конструкций изучалась в трудах многих авторов. Одними из первых модель коррозионного износа с линейной зависимостью его скорости от напряжений использовали В.М. Долинский, В.Г. Карпунин, М.С. Корнишин и др. при расчете тонкостенных конструкций. Для линейно-упругих пластин и тонкостенных оболочек ими построены некоторые аналитические решения (начиная с [1]). Более сложные задачи решались разными авторами численно (напр. [3]). Аналитические выражения для оценки долговечности толстостенных цилиндров и сфер получены в [2] при использовании экспоненциальной зависимости скорости коррозии от среднего напряжения. В данной работе принята линейная зависимость скорости v общей коррозии от напряжений σ (обоснованная П.А. Павловым в [4]):

$$v = (a + m\sigma)\exp(-bt),$$

где a , m и b – экспериментально определяемые постоянные. Сомножитель $\exp(-bt)$ характеризует возможное затухание коррозии во времени t (в случае образования плотной пленки окислов). Такая зависимость была использована в статье [5] для задачи о механохимической коррозии толстостенной сферы из идеального упругопластического материала (задача была сведена к дифференциальному уравнению кинетики интенсивности напряжений). В данной работе выведено дифференциальное уравнение изменения размеров линейно упругой сферы в условиях коррозии под напряжением, получено его аналитическое решение.

Итак, рассмотрим толстостенную линейно-упругую сферу, находящуюся под действием постоянного внутреннего p_r и внешнего p_R давления коррозионных сред. Внутренний и внешний радиус в начальный момент времени $t=0$ обозначим соответственно r_0 и R_0 . Под влиянием агрессивных сред материал сферы корродирует равномерно с обеих сторон со скоростями v_r с внутренней стороны и v_R с наружной:

$$\begin{aligned}
v_R &= -\frac{dR}{dt} = [a_R + m_R \sigma_1(R)] \exp(-bt), \\
v_r &= \frac{dr}{dt} = [a_r + m_r \sigma_1(r)] \exp(-bt),
\end{aligned} \tag{1}$$

где a_r , a_R , m_r , m_R и b – постоянные, зависящие от свойств системы металл–среда; σ_1 – максимальное нормальное напряжение.

Таким образом, напряжения возрастают вследствие коррозионного растворения материала, и в свою очередь, сами изменяющиеся напряжения ускоряют коррозионный процесс. Поэтому определение напряжений и размеров сферы в конкретный момент времени является достаточно трудоемким.

Решение задачи о толстостенной сфере под действием внутреннего и внешнего давления принадлежит Ламе. Из его решения следует, что окружные напряжения являются наибольшими нормальными напряжениями: $\sigma_1 = \sigma_{\theta\theta} = \sigma_{\varphi\varphi}$. На внутренней и внешней поверхностях они имеют вид

$$\begin{aligned}
\sigma_1(R) &= \frac{p_r r^3 - p_R R^3}{R^3 - r^3} + \frac{r^3}{2} \frac{p_r - p_R}{R^3 - r^3}, \\
\sigma_1(r) &= \frac{p_r r^3 - p_R R^3}{R^3 - r^3} + \frac{R^3}{2} \frac{p_r - p_R}{R^3 - r^3}.
\end{aligned} \tag{2}$$

Как видим, задача сводится к решению системы четырех уравнений (1)–(2) относительно четырех взаимозависимых переменных величин $\sigma_1(R)$, $\sigma_1(r)$, R и r .

Для уменьшения количества неизвестных целесообразно исключить из указанной системы уравнений переменные $\sigma_1(R)$, $\sigma_1(r)$ и R , и ввести новую переменную

$$\eta = \eta(t) = \frac{R}{r}. \tag{3}$$

После определенных преобразований можно установить соотношение

$$r = \frac{R_0 m_r + r_0 m_R + (A_R m_r - a_r m_R) [\exp(-bt) - 1] / b}{m_r \eta + m_R}, \tag{4}$$

где $A_R = a_R + (p_R - p_r) m_R / 2$.

Дифференцирование соотношения (3) по времени дает $\eta' = \frac{d\eta}{dt} = \frac{R' - r' \eta}{r}$. Подставив в это выражение равенства (1)–(4), получаем обыкновенное дифференциальное уравнение

$$\frac{d\eta}{dt} = -b \frac{2(\eta^3 - 1)(A_R + a_r \eta) + (m_R + m_r \eta)(2p_r + p_r \eta^3 - 3p_R \eta^3)}{\exp(bt) [m_r (R_0 b - A_R) + m_R (r_0 b + a_r)] + A_R m_r - a_r m_R} \cdot \frac{m_R + m_r \eta}{2(\eta^3 - 1)}.$$

Разделив переменные и выполнив интегрирование, находим его решение

$$t = -\frac{1}{b} \ln \left\{ 1 - b \frac{m_R r_0 + m_r R_0}{m_R a_r - m_r A_R} (\exp[J(\eta)(m_R a_r - m_r A_R)] - 1) \right\} \quad \text{при } b \neq 0$$

и

$$t = \frac{m_R r_0 + m_r R_0}{m_R a_r - m_r A_R} (\exp[J(\eta)(m_R a_r - m_r A_R)] - 1) \quad \text{при } b = 0,$$

$$\text{где } J(\eta) = -\int_{\eta_0}^{\eta} \frac{2(\eta^3 - 1)d\eta}{[2(A_R + a_r \eta)(\eta^3 - 1) + (m_R + m_r \eta)(2p_r + p_r \eta^3 - 3p_R \eta^3)](m_R + m_r \eta)}.$$

Этот интеграл вычисляется аналитически, но выражение для него слишком громоздкое, поэтому его приведение не имеет смысла.

Если коррозионное растворение происходит только с одной стороны, то решение существенно упрощается. При внутренней коррозии решение имеет вид

$$t = -\frac{1}{b} \ln[1 - J(\eta)b], \quad (5)$$

где

$$J(\eta) = -\frac{r-r_0}{p_r m_r - a} + \frac{R_0^3 m_r (p_r - p_R)}{4(p_r m_r - a_r)^2 \alpha^2} \left[2\sqrt{3} \operatorname{arctg} \left(\frac{2}{\sqrt{3}} \frac{r}{\alpha} - \frac{1}{\sqrt{3}} \right) + \ln \frac{(r+\alpha)^2}{r^2 - r\alpha + \alpha^2} \right]_{r_0}^r,$$

$$\alpha = R_0 \sqrt[3]{\frac{2a_r + m_r p_r - 3m_r p_R}{2(p_r m_r - a_r)}}.$$

В случае наружной коррозии решение так же представляется в виде (5), но при

$$J(\eta) = \frac{r_0^3 m_R (p_r - p_R)}{(2A_R + m_R p_r - 3m_R p_R)^2 \alpha^2} \left[2\sqrt{3} \operatorname{arctg} \left(\frac{2}{\sqrt{3}} \frac{R}{\alpha} - \frac{1}{\sqrt{3}} \right) + \ln \frac{(R+\alpha)^2}{R^2 - R\alpha + \alpha^2} \right]_{R_0}^R -$$

$$\frac{2(R - R_0)}{2A_R + m_R p_r - 3m_R p_R}, \quad \alpha = r_0 \sqrt[3]{2 \frac{m_R p_r - A_R}{2A_R + m_R p_r - 3m_R p_R}}.$$

Интегральные кривые разрешающего дифференциального уравнения устанавливают взаимно-однозначное соответствие между каждым моментом времени t и отношением η . Для каждой пары t, η по формуле (4) находим r , далее $R = r \cdot \eta$, после чего с помощью формул Ламе определяются напряжения в любой момент времени вплоть до исчерпания несущей способности тела. При достаточно больших коэффициентах затухания коррозии b , растворение материала может практически прекратиться до момента достижения предела прочности (если его полагать постоянным). В этом случае долговечность определяется другими факторами.

Работа выполнена при финансовой поддержке СПбГУ (проект № 9.37.129.2011).

Список литературы

1. Долинский В. М. Расчет нагруженных труб, подверженных коррозии // Химическое и нефтяное машиностроение. 1967. №2. С. 9–10
2. Прочность газопромысловых труб в условиях коррозионного износа / Гутман Э.М., Зайнулин Р.С., Шаталов А.Т., Зарипов Р.А. М.: Недра, 1984. 76 с.
3. Наумова Г. А., Овчинников И. Г. Расчеты на прочность сложных стержневых систем и трубопроводных конструкций с учетом коррозионных повреждений – Саратов: Изд-во Саратов. гос. техн. ун-та. 2000. 222 с.
4. Павлов П. А., Кадырбеков Б. А., Колесников В. А. Прочность сталей в коррозионных средах. Алма-Ата: Наука, 1987. 272 с.
5. Пронина Ю. Г. Расчет долговечности полой сферы из идеального упругопластического материала под действием постоянного давления. Вестн. СПбГУ, 2009. Вып. 1. С. 113-122.