

ЗАВИСИМОСТЬ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ МАТЕРИАЛОВ ПРИ МИКРОУДАРНОМ НАГРУЖЕНИИ ОТ ЭНЕРГОЕМКОСТИ СПЛАВОВ

А.И.Айнабеков, Л.И.Погодаев, К.К.Сейтказенова, В.Н.Печерский
ЮКГУ им.М.Ауезова, г.Шымкент

Санкт-Петербургский университет водных коммуникаций, г.Санкт-Петербург (Россия)

В связи с современными представлениями о диссипативных системах и структурах [1-3] повторно деформируемые поверхностные слои металлических материалов при кавитационном изнашивании, как и в любых других видах, представляют локальные области, в которых при действии подведенной энергии возникают динамические диссипативные структуры. Такие структуры характерны, в основном, для поверхностного наклепанного слоя, который испытывает при изнашивании упругие и упруго-пластические деформации. Поскольку при многоуровневой пластической деформации происходит иерархическая смена диссипативных структур путем перестройки дислокаций, то важно выявить критериальные свойства материалов, связанные с точками бифуркаций, масштабными коэффициентами и фрактальной размерностью объекта.

Если считать, что при субкритическом росте трещины критическая плотность энергии деформации $E_{уд}$ поверхностного слоя материала глубиной δ_i остается неизменной, то на основании работ Л.Жильмо и Дж.Си окажется справедливой пропорциональность

$$\frac{S_1}{\delta_1} = \frac{S_2}{\delta_2} = \dots = \frac{S_{кр}}{\delta_{кр}} = E_{уд}, \quad (1)$$

где S_i и $S_{кр}$ – текущее и предельное значение коэффициента плотности энергии разрушения; δ_i и $\delta_{кр}$ – глубины поверхностного слоя, в пределах которого распространяется трещина.

Для изменяющихся условий внешнего нагружения одного и того же материала текущие значения S_i и δ_i в соотношении (1) можно заменить на предельные для каждого уровня внешнего нагружения, то есть можно записать:

$$\left(\frac{S_{кр}}{\delta_{накл}^{max}} \right)_1 = \left(\frac{S_{кр}}{\delta_{накл}^{max}} \right)_2 = \dots = \left(\frac{S_{кр}}{\delta_{накл}^{max}} \right)_i = E_{уд} \quad (2)$$

Плотность энергии разрушения $E_{уд}$ применительно к условиям изнашивания можно осреднить в объемах $V_1, V_2 \dots V_i$, превращающихся в продукты изнашивания. За период времени t для объемного износа правомерной будет зависимость:

Таблица 1 – Значения характерных параметров в уравнениях износостойкости металлических материалов в зависимости от условий внешнего нагружения

№ опытов (уровней)	$k_{\Delta G} = \text{const}_{13} / (\sigma_{\text{накл}}^{\text{max}})^n$ (4)			$k_{\text{визн}} = k_{14} \exp(k_{15} p_{\text{кр}})$ (5)			$k_{\text{визн}} = k_{17} \exp(k_{18} E_{\text{уд}}^{\text{отн}})$ (7)		
	n	n _{отн}	вид и условия изнашивания	$\frac{k_{15}}{m}$	$\frac{(k_{15})_{\text{отн}}}{m_{\text{отн}}}$	кавитационная эрозия материалов	$\frac{k_{18}}{\varphi}$	$\frac{(k)_{\text{отн}}}{\varphi_{\text{отн}}}$	кавитационная эрозия сталей
1	2,0	1	УА сталей по абразивному полотну $A_{\text{уд}}=0,6 \text{ Н/см}^2$	$\frac{1,67 \cdot 10^{-3}}{1,7}$	$\frac{1}{1}$	МСВ, 22 кГц; $A=33 \text{ кГц}$, пресн.вода	$\frac{0,66}{1,78}$	$\frac{1}{1}$	дисковый стенд 1000 мин [5]; МСВ; пресн.вода
2	4,0	2	ГА сталей [6] и К износ сталей, 8 кГц, $A=35 \text{ мкм}$	$\frac{3,54 \cdot 10^{-3}}{3}$	$\frac{2,1}{1,77}$	22 кГц; $A=5 \text{ мкм}$; морская вода; образцы, лопасти ГВ	$\frac{0,975}{2,6}$	$\frac{1,43}{1,46}$	МСВ, пресн.вода, 2ч. [7]
3	6,7-7,1	3,3-3,5	К износ, МСВ, морская вода; стали, Бр, латуни, 22кГц; 33 и 5 мкм [8]	$\frac{7 \cdot 10^{-3}}{6,5}$	$\frac{4,18}{3,83}$	$A=5$ и 33 мкм, пресн.вода ($p_{\text{кр1}}$)	$\frac{2,05}{5,0}$	$\frac{3,1}{3,1}$	трубка Вентура, 1000 ч.
4	14,0	7,0	К износ, МСВ, морская вода; стали, 22 кГц; $A=5 \text{ мкм}$	$\frac{-}{16,5}$	$\frac{-}{9,7}$	22 кГц; $A=5 \text{ мкм}$, пресн.вода ($p_{\text{кр11}}$)	-	-	-

Примечание: УА – ударно-абразивное изнашивание, ГА – гидроабразивное изнашивание, К – кавитационный износ,
МСВ – магнитострикционный вибратор

$$V = V_0 \left(\frac{E_{\text{вн}} \cdot v_i}{E_{\text{уд}} \cdot v_{\text{кр}}} \right)^{\frac{3}{2} z^* D} = V_0 \left(\frac{E_{\text{вн}}}{E_{\text{уд}}} \right)^{z^* D} - V_0 \left[\frac{E_{\text{вн}}}{\left(\frac{S_{\text{кр}}}{\delta_{\text{накл}}^{\text{max}}} \right)} \right]^{z^* D}, \quad (3)$$

где V_0 – объемный износ при достижении потоком внешней энергии критической плотности, то есть при $E_{\text{вн}} \cdot v_i = E_{\text{уд}} \cdot v_{\text{кр}}$; $E_{\text{вн}}$ – плотность внешней энергии; $v_i, v_{\text{кр}}$ – текущая и критическая скорость внешнего нагружения; $S_{\text{кр}} \sim \text{const } K_{\text{lc}}^2$ [4] (K_{lc} – критическое значение интенсивности напряжений при росте трещины в пределах $\delta_{\text{накл}}^{\text{max}}$; D – параметр, характеризующий масштаб внешнего нагружения и особенности самоорганизации диссипативных структур; z^* – постоянная, учитывающая влияние на износ $\tau_{\text{ак}}$ – аккумуляционного периода накопления повреждений.

Анализ экспериментальных данных по стойкости сталей различных классов, чистых металлов и сплавов цветных металлов при кавитационном и другим видам изнашивания в зависимости от глубины наклепанного слоя, критических давлений и удельной энергии разрушения, результаты которых приведены в таблице 1, позволяет представить перечисленные зависимости степенными и экспоненциальными функциями (уравнения (4-8) в таблице 1).

Надо заметить, что при отсутствии единых зависимостей для указанных материалов, независимо от плотности внешней энергии, такие характеристики, как показатель степени в уравнении (4), (6) и (8) и опытные константы изменяются в зависимости от масштаба внешнего нагружения и глубины наклепанного слоя, играющего роль коэффициентов масштаба, по правилу геометрической прогрессии. Действительно, средние арифметические значения указанных характеристик $D_{\text{ср}}$, определенные по данным таблицы 1, как

$$D_{\text{ср}} = \frac{1}{3} \left(n + \frac{k_{15} + m}{2} + \frac{k_{18} + \varphi}{2} \right) \quad (9)$$

для четырех масштабных уровней внешнего нагружения и расположенные в порядке уменьшения масштаба наблюдения, представляют собой геометрическую прогрессию.

Таким образом, параметр D в уравнении износа (3) характеризует дискретный характер перехода от одного масштаба нагружения к другому, учитывает относительный уровень энергии внешнего нагружения.

Литература

- 1 Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. - М.: Мир, 1977.-512с.
- 2 Николис Г., Пригожин И. Познание сложного. - М.: Мир, 1990.-336с.
- 3 Пригожин И. От существующего к возникающему.- М.: Наука, 1985.-327с.
- 4 Иванова В.С. Синергетика: прочность и разрушение металлических материалов. - М.: Наука, 1992.-160с.
- 5 Steller K. Erozja kawitacyjna srub okrelowych-budownictwo okretowe.- 1986.- v 31, №10.- С.430-435.
- 6 Погодаев Л.Н., Шевченко П.А. Гидроабразивный и кавитационный износ судового оборудования. -Л.: Судостроение, 1984.-264с.
- 7 Стечишин М.С., Некоз А.И., Погодаев А.И., Погодаев Л.Н. //Трение и износ.-1990.-Т.11, №3.-С.454-463.
- 8 Цветков Ю.Н. Методические основы прогнозирования долговечности гребных винтов при КЭ. -Л., 1991.

Қорытынды

Болаттардың кирауы бір мезгілде бірнеше масштабтық деңгейлерде өткені анықталған. Осындай құбылыс, материалдардың кавитациялық эрозиясы кезінде бақыланған. Сыртқы салмақтың масштабын есепке алған кавитациялық эрозияның тепе-теңдігі келтірілген.

Summary

It is determination, that failure of steels is take place simultaneously on several of scale levels. Such phenomenon is observed under cavitation erosion of materials near by point of bifurcations. The equation of cavitation erosion accounted scale of external loading are reduced.