

УДК 539.4+620.1

## Вплив еволюції процесів деформування на кінетику накопичення пошкоджень

Грабовський А.П., Бондарець О.А., Бабієнко І.І.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

*Анотація.* В роботі розглядаються рівняння кінетики накопичення пошкоджень в конструкційних матеріалах на відрив та зріз за межами пружних деформацій, які враховують енергетичні показники процесів деформування матеріалу і процесів накопичення пошкоджень.

*Ключові слова:* пошкодження, напруження, деформування, відрив, зріз, модуль пружності, модуль зсуву.

Одним із основних завдань сучасного машинобудування являється обґрунтування ресурсу обладнання і систем інженерних об'єктів на стадії проектування, оцінка виробленого і прогноз залишкового ресурсу на стадії експлуатації об'єктів, продовження термінів служби після відпрацювання об'єктами нормативного терміну. Особливо актуальна ця задача для об'єктів термін служби яких складає декілька десятків років (атомні енергетичні установки, нафтохімічне обладнання, резервуари для зберігання газоподібних і зріджених хімічних продуктів, магістральні газові та нафтопроводи і т.д.). Експлуатаційні умови роботи цих об'єктів характеризуються багато параметричними нестационарними термосиловими впливами, впливами зовнішніх полів різної природи, що приводять різних механізмів деградації початкових міцністних властивостей конструкційних матеріалів і вичерпання розрахункового ресурсу конструктивних вузлів інженерних об'єктів.

В процесі експлуатації інженерних об'єктів в конструкційних матеріалах утворюються мікро пошкодження різної форми, які рівномірно розподіляються по об'єму матеріалу розмір яких визначається структурою матеріалу, а швидкість накопичення умовами навантаження. Цей період займає 80–90% довговічності об'єкту.

Як відомо, процес руйнування матеріалу розглядається, як сукупність дії двох механізмів руйнування – відриву та зсуву, що охоплює в'язке, крихке та в'язко крихке руйнування. Таким чином, процес руйнування матеріалу при складному напруженому стані визначається як сукупна дія відриву та зсуву [1–4].

Для опису кінетики накопичення пошкоджень в конструкційних матеріалах при відриві та зсуві приймається модель прогресуючої пористості, що пропонується Новожиловим В.В. [5].

$$D_V = \frac{V_i - V_0}{V_i} = 1 - \frac{V_0}{V_i} = \frac{\Delta V_D}{V_i} \quad (1)$$

де  $\Delta V_D$  - зміна об'єму і форми репрезентативного елементу конструкційного матеріалу за умови складного навантаження;  $V_0$  та  $V_i$  – відповідно, початковий та поточні величини об'єму і форми репрезентативного елементу матеріалу;  $D_V$  – об'ємна пошкоджуваність матеріалу в репрезентативному об'ємі матеріалу при пружно-пластичному навантаженні.

При прикладанні осьового навантаження кінетика накопичення пошкоджень на відрив -  $D_\sigma$  в репрезативному елементі відповідно визначається відношенням:

$$D_\sigma = \frac{\Delta V_\sigma}{V_i} \quad (2)$$

При прикладанні навантаження на зсув кінетика накопичення пошкоджень -  $D_\tau$  відповідно визначається відношенням:

$$D_\tau = \frac{\Delta V_\tau}{V_i} \quad (3)$$

Де  $\Delta V_\sigma$  - додаткова зміна об'єму репрезативного елемента в результаті накопичення пошкоджень при осьовому навантаженні -  $D_\sigma$ . А  $\Delta V_\tau$  - додаткова зміна об'єму репрезативного елемента в результаті накопичення пошкоджень при зсуві -  $D_\tau$ .

В роботі отримані рівняння для оцінки поточних значень пошкоджуваності в конструкційних матеріалах при пружно-пластичному навантаженні:

$$\text{на відрив} \quad D_{\sigma i} = 1 - \frac{\sqrt{\tilde{E}_i} \sqrt{N_0 l_0}}{\sqrt{E_0} \sqrt{N_i l_i}} = 1 - \frac{\sqrt{\tilde{E}_i} \sqrt{\sigma_0 \delta_0}}{\sqrt{E_0} \sqrt{\sigma_i \delta_i}}; \quad (4)$$

$$\text{на зріз} \quad D_{\tau i} = 1 - \frac{\sqrt{\tilde{G}_i} \sqrt{M_{kp0} \gamma_0}}{\sqrt{G_0} \sqrt{M_{kpi} \gamma_i}} = 1 - \frac{\sqrt{\tilde{G}_i} \sqrt{\tau_0 \gamma_0}}{\sqrt{G_0} \sqrt{\tau_i \gamma_i}}; \quad (5)$$

де  $E_0, \tilde{E}_i$  - початкова та поточні величини модулів пружності при осьовому навантаженні;  $G_0, \tilde{G}_i$  - початкова та поточні величини модулів пружності на зсув;  $N_0, N_i$  - зусилля на межі пропорційності та поточна величина зусилля діаграми осьового навантаження;  $M_{kp0}, M_{kpi}$  - крутні моменти на межі пропорційності і поточний момент діаграми деформування при закручуванні;  $l_0, l_i$  - початкова та поточна довжини зразків при осьовому навантаженні;  $\gamma_0, \gamma_i$  - початкова та поточні величини кутів при зсуві;  $\sigma_0, \sigma_i$  - початкова та поточна величини напружень при осьовому навантаженні;  $\tau_0, \tau_i$  - початкова та поточна величини напружень при зсуві;

Складові рівнянь (4) -  $\sqrt{\frac{\sigma_0 \delta_0}{\sigma_i \delta_i}}$ ; та (5) -  $\sqrt{\frac{\tau_0 \gamma_0}{\tau_i \gamma_i}}$  характеризують еволюцію процесів

деформування на кінетику накопичення пошкоджень при руйнуванні на відрив та зсув та які визначаються з кривих деформування (рис.1)  $\sigma_i = f(\delta_i)$  та  $\tau_i = f(\gamma_i)$ .

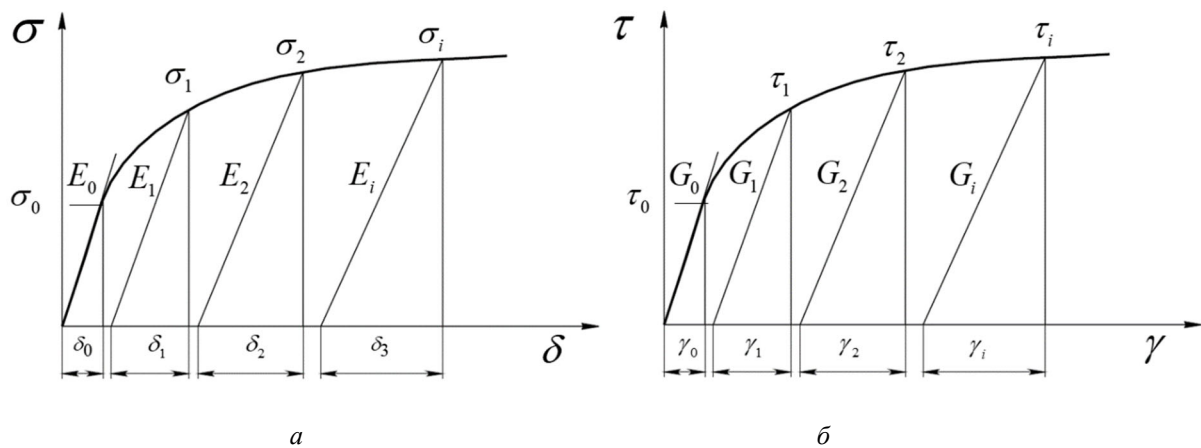


Рис. 1 Визначення початкових та поточних процесів деформування при осьовому навантаженні – а) та зсуві – б).

### Список літератури

1. Фридман Я.Б. Механические свойства металлов. Часть 1. Деформация и разрушение. Том 1. Машиностроение, 1974 – с: 472
2. Трошенко В. Т. Сопrotивление материалов деформированию и разрушению: Справочное пособие: В 2-х ч. / В. Т. Трошенко, А. Я. Красовский, В. В. Покровский, Л. А. Сосновский, В. А. Стрижало – Киев: Наук. думка, 1993. – ч.1 – 243 с.; ч.2 – 704 с.,
3. Трошенко В.Т. Механическое поведение материалов при различных видах нагружения / А.А. Лебедев, В.А. Стрижало и др.– К.: Логос, 2000. – 570 с.
4. Бобир М.І. Кінетика розсіяного руйнування металевих конструкційних матеріалів при пружно-пластичному деформуванні / М. І. Бобир, А. П. Грабовський, О. П. Халімон, О. В. Тимошенко, О. М. Масло / Проблемы прочности, 2007. – № 3. с. 23–34.
5. Новожилов В. В. О пластическом разрыхлении / В. В. Новожилов // ПММ, 1965. №4. С.681–689.
6. Грабовский А. П. Деформационные модели кинетики повреждаемости конструкционных материалов при упругопластическом деформировании / А. П. Грабовский, А. А. Бондарец // Вестник Гомельского государственного технического университета им. ПО Сухого. – 2013. – №1 (52).
7. Bobyr, M. I., Khalimon, O. P., & Bondarets, O. A. (2012). Modeling of scattered damage accumulation kinetics under combined stress. *Strength of Materials*, 44(1), 20-26. doi:10.1007/s11223-012-9344-y
8. Грабовський А.П. Кінетика накопичення пошкоджень при повторно-змінному осьовому навантаженні конструкційних матеріалів / А. П. Грабовський, О. А. Бондарець, І. І. Бабієнко // Вісник Національного технічного університету України Київський політехнічний інститут. Сер.: Машинобудування. – 2013. – №3. – С.18-23.
9. А. П. Грабовський Модель пошкоджуваності для розрахунку руйнування конструкційних матеріалів / А. П. Грабовський, О. А. Бондарець, І. І. Бабієнко / *Mechanics and Advanced Technologies* #3 (87), 2019. С.38-46.

## Influence of the evolution of deformation processes on the kinetics of damage accumulation

A.P. Grabovskyi, O. A. Bondarets, I. I. Babiienko

**Abstract.** The equations of damage accumulation kinetics in structural materials for separation and shear outside of elastic deformations are considered in the work, which take into account the energy indicators of material deformation processes and damage accumulation processes.

**Keywords:** damage, stress, deformation, separation, shear, modulus of elasticity, shear modulus.