

Таблиця 1.

Характер зміни параметрів субструктури і мікротвердості алюмінієвих сплавів після ТЦО

Сплав	Термо-обробка	Виміряна величина*	Кількість циклів					
			0	5	20	25	50	60
Al-4%Cu	ТЦО	1	6,0	8,2	9,6	12,0	14,2	14,0
		2	0,7	0,7	0,39	0,23	0,30	0,10
		3	194,0	280,5	382,4	387,2	256,3	203,3
Al-4%Cu-4%Zn	ТЦО	1	4,0	6,2	11,5	6,1	8,9	8,7
		2	0,9	1,5	1,33	0,96	0,9	1,9
		4	2,1	10,2	10,2	6,2	9,1	11,1
		5	4,9	2,9	2,9	3,9	2,9	2,9

\* 1 -  $\gamma_{кр.2}$ ,  $\times 10^{-5}$ ; 2 -  $tg\Theta$ ; 3 -  $H_{\mu}$ , МПа; 4 -  $\rho$ ,  $\times 10^{-12}$  м<sup>-2</sup>; 5 -  $L_N$ ,  $\times 10^{-6}$  м.

Таким чином ТЦО в напруженому стані забезпечує прискорення досягнення більш зміцненого стану і розширення інтервалу збереження підвищених експлуатаційних характеристик матеріалу (табл.1).

Спільна дія підвищеної температури і полів напруг сприяє перерозподілу дефектів і формуванню тонкої, більш рівноважної, а значить стабільної субструктури. Варіація параметрами ВТЦО в ПЗН відкриває широкі можливості керування процесами структуроутворення і отримання необхідних експлуатаційних характеристик матеріалу.

### Література

1. Лисий М. В. Формування зміцнюючої субструктури в композиційних матеріалах на основі алюмінію/ М.В. Лисий , О.В. Мозговий , А.І. Білюк //Вісник ВПІ. - №3. – 2012. – С. 148-153.
2. Karbivskii O.F. Impact of thermocycling on aluminum alloy polygonal structure/ O.F. Karbivskii, A.I.Biliuk, M.V. Lysiy// Tehnomus journal ( Romania )/ - 2017. -P.-117-121.

### EFFECT OF THERMOCYCLING ON THE SUBSTRUCTURE OF Al - Cu AND Al - Cu - Zn ALLOYS

A. I. Biliuk<sup>1</sup>, V. V. Shirokov<sup>2</sup>, O. V. Mozghovyi<sup>1</sup>, M. V. Lisiy<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Vinnitsia Mykhailo Kotsyubynskiy State Pedagogical University, Vinnitsia, [mavimfto@gmail.com](mailto:mavimfto@gmail.com)

<sup>2</sup>Ukrainian Academy of Printing, Ukraine, Lviv

<sup>3</sup>Vinnitsia National Technical University

**Abstract.** The paper presents the results of research on the effect of thermal cycling on the mechanism of polygonization in structural materials based on aluminum.

**Keywords:** thermal cycling , substructure, dispersion phase, dislocations, internal friction.

### ОЦІНКА ПОШКОДЖУВАНOSTІ МЕТАЛІВ ЗА ВЕЛИЧИНОЮ РОЗСІЮВАННЯ НИМИ МЕХАНІЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

О. В. Мозговий<sup>1</sup>, В. А. Тітов<sup>2</sup>, А. В. Тітов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського, Вінниця

<sup>2</sup>Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Київ

**Анотація.** Запропоновано параметр пошкоджуваності металів визначати за частотними характеристиками вільних затухаючих коливань.

**Ключові слова:** Пошкоджуваність, вільні коливання, розсіювання механічної енергії.

Ідентифікацію параметрів пошкоджуваності можна трактувати трьома напрямками: пошкоджуваність визначається шляхом аналізу стану матеріалу за безпосередньою зміною характеристик матеріалу на мікрорівні (виникнення, поширення та об'єднання мікропор, мікротріщин, тощо); представлення параметру пошкодження як макроскопічне відображення впливу мікропошкоджень на загальний стан матеріалу; визначення на основі основних положень термодинаміки незворотних процесів, використання яких дає можливість визначити залежність між параметром пошкоджуваності та напруженнями і деформаціями, які виникають у тілі.

Пружно-пластичне деформування матеріалу супроводжується постійним ростом та об'єднанням розсіяних по об'єму всього тіла мікротріщин та пор, що викликає зниження фізико-механічних властивостей матеріалу, виникнення макротріщини та подальше руйнування конструкції. Л. М. Качанов та Ю. М. Работнов запропонували параметр, який було визначено як параметр пошкоджуваності  $D$ . Для його визначення врахувались зміни площі поперечного перерізу під дією процесів перерозподілу мікродефектів. При цьому вводиться поняття ефективної площі перерізу, тобто тієї площі, яка розрахована без урахування мікродефектів.

Параметр пошкоджуваності визначається за формулою:  $D = 1 - \frac{\tilde{F}}{F_0}$ , де  $F_0$  – загальна площа перерізу,  $\tilde{F}$  – ефективна площа перерізу, що безпосередньо несе навантаження, зменшена порівняно з  $F_0$  на сумарну площу мікродефектів. Використання наведеного способу вимагає безпосереднього аналізу мікроструктури, наприклад, за допомогою виготовлення шліфів.

У роботах А.А. Льюшина, В.В. Новожилова, М. І. Бобиря детально обґрунтовано необхідність розгляду мікропошкоджень конструкційних матеріалів при високих рівнях експлуатаційного та технологічного навантажень. У процесі експлуатації важливим є встановлення залишкового ресурсу, що залежить від достовірності моделі пошкоджуваності.

Беручи до уваги той факт, що безпосереднє визначення ефективної площі поперечного перерізу є складною, з точки зору інженерної реалізації, задачею, у більшості робіт було запропоновано визначати рівень поточного пошкодження матеріалу за допомогою зміни величини його макрохарактеристик, яка має місце у випадку дії зовнішніх силових факторів. Був введений параметр пошкодження як відношення модулів пружності при розвантаженні до їх початкового значення:  $D = 1 - \frac{E}{E_0}$ , де  $E_0$  – вихідне значення модуля пружності,  $E$  – поточне значення модуля пружності при розвантаженні.

Використання твердження про вплив пошкоджуваності на механічні властивості матеріалів параметр пошкоджуваності пропонується визначати з точки зору ефективних пружних характеристик матеріалу: поточні значення коефіцієнта Пуассона, модуля зсуву та об'ємного модуля і їх вихідні величини у недеформованому стані.

За наявності процесу „розпушування” матеріалу під час його пружно-пластичного деформування параметром пошкоджуваності може виступити зміна суцільності середовища матеріалу, тобто визначення зміни об'єму за допомогою методу гідростатичного зважування. Окремим підходом щодо ідентифікації параметру пошкодження є електроакустичний метод, вимірювання електричного потенціалу, зміна електричного опору матеріалу.

Для створення способу контролю пошкоджуваності, що не вимагає вилучення з конструкції зразка для випробувань, розвитку набувають неруйнівні методи.

За допомогою мікротвердості можна визначати ступінь пошкодження матеріалу, але лише стан поверхневого шару матеріалу без врахування процесів, що відбуваються всередині.

Для інженерних розрахунків процес накопичення пошкоджень зручно представити у вигляді аналітичної функції, яку розглянуто у роботах М. І. Бобиря [1]. У загальному вигляді її можна записати як складну залежність від багатьох параметрів термосилового

навантаження та механічних характеристик матеріалу:  $dD = F(\varepsilon_i, N, T \dots)$ , де  $\varepsilon_i$  – інтенсивність деформації,  $N$  – кількість циклів навантаження,  $T$  – температура тощо.

Таким чином, представлення параметру пошкоджуваності матеріалу під час його пружно-пластичного деформування, свідчить про відсутність однозначного чітко окресленого підходу щодо його визначення. Можливість використання того чи іншого підходу щодо визначення цього параметру повинна бути обґрунтована безпосередньо для конкретного виду навантаження, виходячи з прийнятих гіпотез та припущень.

Реальні конструкції і їхні деталі зазнають впливу зовнішніх і внутрішніх факторів. Зовнішня дія може викликати коливання матеріалу, з якого виготовлена деталь. Реальні коливання тіл є завжди затухаючими, так як відбувається незворотне розсіювання механічної енергії. Внутрішні зміни у матеріалі викликають структурні перетворення різних видів, що в свою чергу змінює параметри вільних затухаючих коливань. Взятши за основу теорію, яка пояснює механізми розсіювання механічної енергії можна зауважити, що пружно-пластичне деформування буде змінювати параметри вільних затухаючих коливань, які будуть служити індикаторами впливу тих чи інших механізмів на процес розсіювання механічної енергії у матеріалі.

Експериментальні дослідження біметалу алюміній-сталь виявили вплив величини попереднього пошкодження матеріалу на розсіювання ним механічної енергії: змінився характер ходу і вид кривих вільних затухаючих коливань у звуковому діапазоні; змінюється швидкість затухання і частота коливань. На представлених частотних характеристика проявляються гармоніки, що відповідають певним експлуатаційним властивостям матеріалу.

Експериментальне дослідження впливу зовнішньої деформації на вільні затухаючі коливання виявило, що кількість пошкоджень змінює величину розсіювання механічної енергії в біметалі. Збільшення пошкоджуваності матеріалу викликає розсіювання механічної енергії в діапазоні частот до 14 кГц. При цьому спостерігається зміщення низькочастотних і високочастотних гармонік в сторону менших частот.

На початку циклювання частота гармоніки в районі низьких частот була 620 Гц. Збільшення кількості деформаційних циклів викликало зміщення в сторону менших частот і появу низькочастотної гармоніки в районі 600 Гц. після 65 циклів вона становить 410 Гц, а перед руйнуванням зразка частота вже становить 260 Гц і 200 Гц. Кількість пошкоджень у процесі циклювання збільшується. Тому дана гармоніка відкликається на ті структурні зміни в матеріалі, які і викликає деформаційний вплив.

Зменшення частоти появи гармонік спостерігається також для ділянки від 1000 Гц до 2000 Гц. У середній частині спектру частота гармонік змінюється мало. Для перших циклів в діапазоні частот від 8 кГц до 11 кГц гармоніки відсутні. Для високих частот фонові крива розміщується горизонтально і гармоніки проявляються, як правило, в діапазоні від 11000 Гц до 11700 Гц. У решті діапазонів від 5 кГц до 14 кГц гармоніки проявляються рідко. Амплітуда таких гармонік невелика.

Запропоновано параметр пошкодження матеріалу визначати за формулою  $D = 1 - \frac{f}{f_0}$ , де  $f_0$  – вихідне значення частоти гармоніки з найменшою величиною частоти,  $f$  – поточне значення частоти гармоніки.

У нашому випадку гармоніка має частоту 620 Гц на початку циклювання і 260 Гц, 200 Гц перед самим руйнуванням.

Підставивши дані, можемо отримати числове значення пошкоджуваності.

Для 80 деформаційних циклів частота низькочастотних гармонік становить 615 Гц і 260 Гц. Тоді  $D = 1 - \frac{260}{620} = 1 - 0,4228 = 58,06\%$ .

Для 40 циклів частоти становили 615 Гц і 560 Гц. У цьому випадку пошкоджуваність буде  $D = 1 - \frac{560}{620} = 9,68\%$

Пошкоджуваність біметалу із збільшення деформаційних циклів зростає експоненціально (рис. 1). На початку циклювання пошкоджуваність незначна. Після 10 циклів вона починає зростати, а після 50 циклів різко йде вгору. На 86 циклі зразок зруйнувався.

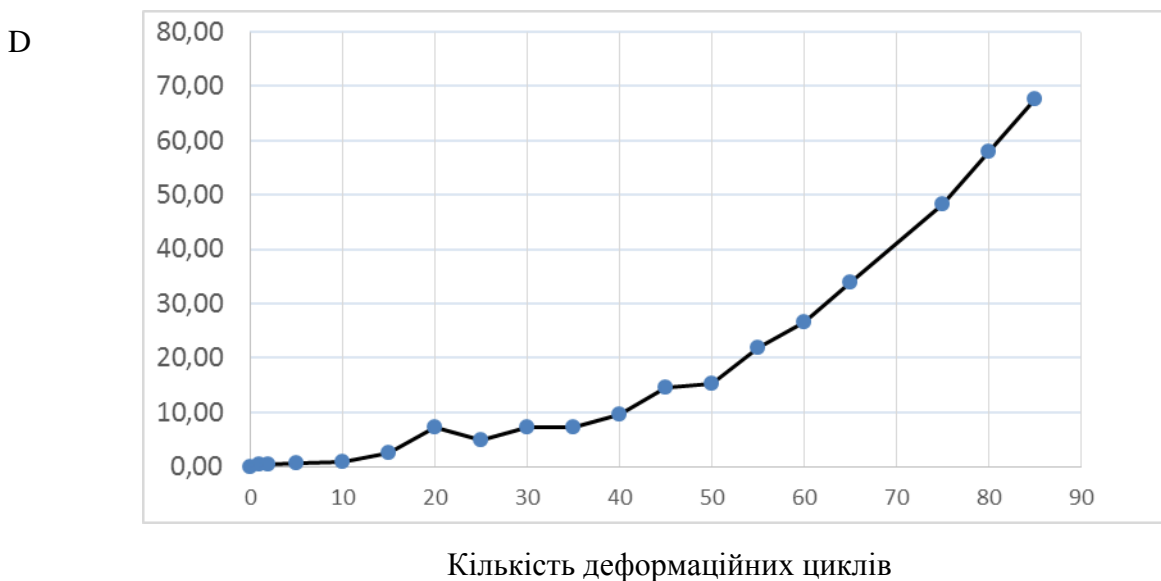


Рис. 1. Зміна пошкоджуваності біметалу алюміній-сталь при різній кількості циклів його деформування

Аналізуючи криві вільних затухаючих коливань і зміну пошкоджуваності слід відмітити, що за зміною ходу цих кривих можна встановити початки значних пошкоджень і навіть оцінити їх величину.

### Література

1. Бобир М. І. Континуальна механіка пошкоджуваності у задачах малоциклової втоми / М. І. Бобир, П. О. Халімон, В. В. Коваль. // «Наукові нотатки» міжвузівський збірник. – 2006. – №25. – С. 16–21.

### ESTIMATION OF DAMAGE OF METALS BY THE VALUE OF MECHANICAL ENERGY SCATTERING BY THEM

O. V. Mozghoyi<sup>1</sup>, V. A. Titov<sup>2</sup>, A. V. Titov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Vinnitsia Mykhailo Kotsyubynskiy State Pedagogical University, Vinnitsia, [mavimfto@gmail.com](mailto:mavimfto@gmail.com)

<sup>2</sup>Institute of Mechanical Engineering, NTU of Ukraine "I. Sikorsky KPI", Kyiv

**Abstract.** *It is proposed to determine the parameter of metal damage according to the frequency characteristics of free damped oscillations.*

**Keywords:** Damage, free oscillations, scattering of mechanical.

### ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ НИЗЬКОЕНЕРГЕТИЧНИХ ІОНІВ ГЕЛІЮ З ПОВЕРХНЕЮ ТАНТАЛОВОЇ ФОЛЬГИ

В. В. Гладковський<sup>1</sup>, О. В. Гладковська<sup>1</sup>, Є. Г. Костін<sup>1</sup>, А. Ф. Недибалюк<sup>2</sup>,  
Б. П. Полозов<sup>1</sup>, О. А. Федорович<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Інститут ядерних досліджень НАН України, м. Київ, Україна

<sup>2</sup>Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна, [vvglad@yahoo.com](mailto:vvglad@yahoo.com)