

Кількісне оцінення ступеня деградації структури сплаву АМгб за умов циклічного навантаження

Л. Є. Матохнюк, кандидат технічних наук

А. В. Бялонович

О. В. Войналович*, кандидат технічних наук

Інститут проблем міцності ім. Г. С. Писаренка НАН України, Київ

*Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ

Досліджено зміни структури сплаву АМгб за циклічного навантаження. Як кількісну характеристику змін структури матеріалу запропоновано коефіцієнт пошкодженості. У стані, що передує втомному руйнуванню, коефіцієнт пошкодженості набуває певного значення незалежно від амплітуди та асиметрії циклу і може бути критерієм втомного руйнування.

Однією з характерних еволюцій структури матеріалу внаслідок впливу циклічного навантаження є її неомогенність. На тлі практично незмінної структури розвиваються мікропластичні деформації [1]. Ця особливість суттєво впливає на підходи щодо аналізу еволюції структури матеріалу під час циклічного навантаження. З одного боку, щоб проаналізувати мікромеханізми пластичного деформування та накопичення пошкоджень, необхідно досліджувати структуру на дислокаційному рівні. З іншого боку, щоб мати уявлення про стан матеріалу загалом, необхідно не тільки співставити і проаналізувати достатньо велику кількість зображень дислокаційної структури, а й отримати інтегральну (бажано кількісну) характеристику структури [2].

У роботах [3, 4] показано можливість інтегрального кількісного оцінення стану мікроструктури з використанням характеристики, що базується на двовимірному Фур'є-перетворенні. Метою даної роботи є кількісне оцінення стану структури алюмінієвого сплаву АМгб з урахуванням пошкодженості внаслідок циклічного навантаження.

Випробування на втому сплаву АМгб проводили на циліндричних зразках діаметром 7 мм. Заготовки для виготовлення зразків вирізали вздовж плити завтовшки 30 мм. Для дослідження змін мікроструктури на робочій частині зразків вздовж твірної виконували лиску шириною 2 мм, її поверхню полірували і витравлювали до виявлення мікроструктури.

Втомні випробування проводили на дослідницькій машині з електромагнітним силозбудженням за частоти навантажування 120 Гц та симетричних і асиметричних (коефіцієнти асиметрії $R = -1, 0$ і $0,5$) циклів. Результати втомних випробувань представлено на рис. 1. Для апроксимації експериментальних даних використовували рівняння кривої втоми на основі моделі, запропонованої Т. Ю. Яковлевою [1],

$$\sigma_a = \sigma_0 + C/\sqrt{N}, \quad (1)$$

де σ_a – амплітуда циклічного навантаження, σ_0 – границя витривалості на необмеженій базі, N – кількість циклів до руйнування, C – параметр, який залежить від частоти

навантаження. Як видно з рис. 1, дане рівняння добре описує результати експериментального визначення довговічності зразків.

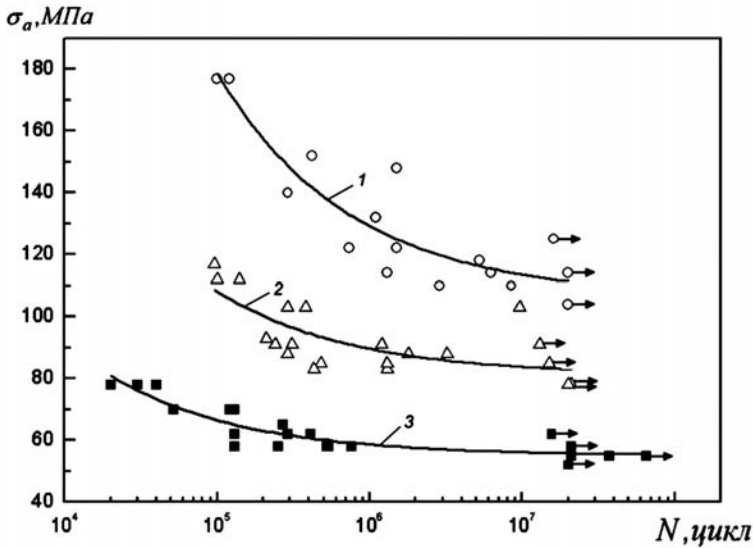


Рис. 1. Криві втоми сплаву АМг6. 1 – R = -1, 2 – R = 0, 3 – R = 0,5.

Збільшення асиметрії циклів навантаження, монотонно знижуючи опір втоми сплаву зі зростанням величини середнього напруження, змінює нахил кривих втоми. Найбільш пологою кривою втоми, що відповідає випробуванням з R = 0,5, може бути пов'язана з тим, що у даному випадку максимальні напруження циклу навантаження з урахуванням статичного складника близькі до границі текучості сплаву $\sigma_{0,2}$, яка дорівнює 390 МПа.

Зображення структури матеріалу в початковому стані, як правило, не містять яскраво виражених за формою і впорядкованістю елементів. Внаслідок впливу циклічного навантаження у структурі матеріалу з'являються квазіперіодичні складники (рис. 2), які важко ідентифікувати візуально, але можна виявити за допомогою Фур'є-перетворення цифрового зображення структури [5].

Для отримання кількісної характеристики стану структури матеріалу використовували методику, викладену в роботах [2, 3]. Для цього до початку втомних випробувань і під час них, після певної кількості циклів навантаження, зразок знімали з дослідницької машини і фотографували його мікроструктуру. Далі згідно зі співвідношенням

$$e = \frac{m_{20} + m_{02} - \sqrt{(m_{20} - m_{02})^2 + 4m_{11}^2}}{m_{20} + m_{02} + \sqrt{(m_{20} - m_{02})^2 + 4m_{11}^2}}, \quad (2)$$

де

$$\begin{aligned} m_{20} &= \sum \sum f(x, y)(x - X_0)^2, \\ m_{02} &= \sum \sum f(x, y)(y - Y_0)^2, \\ m_{11} &= \sum \sum f(x, y)(x - X_0)(y - Y_0), \end{aligned} \quad (3)$$

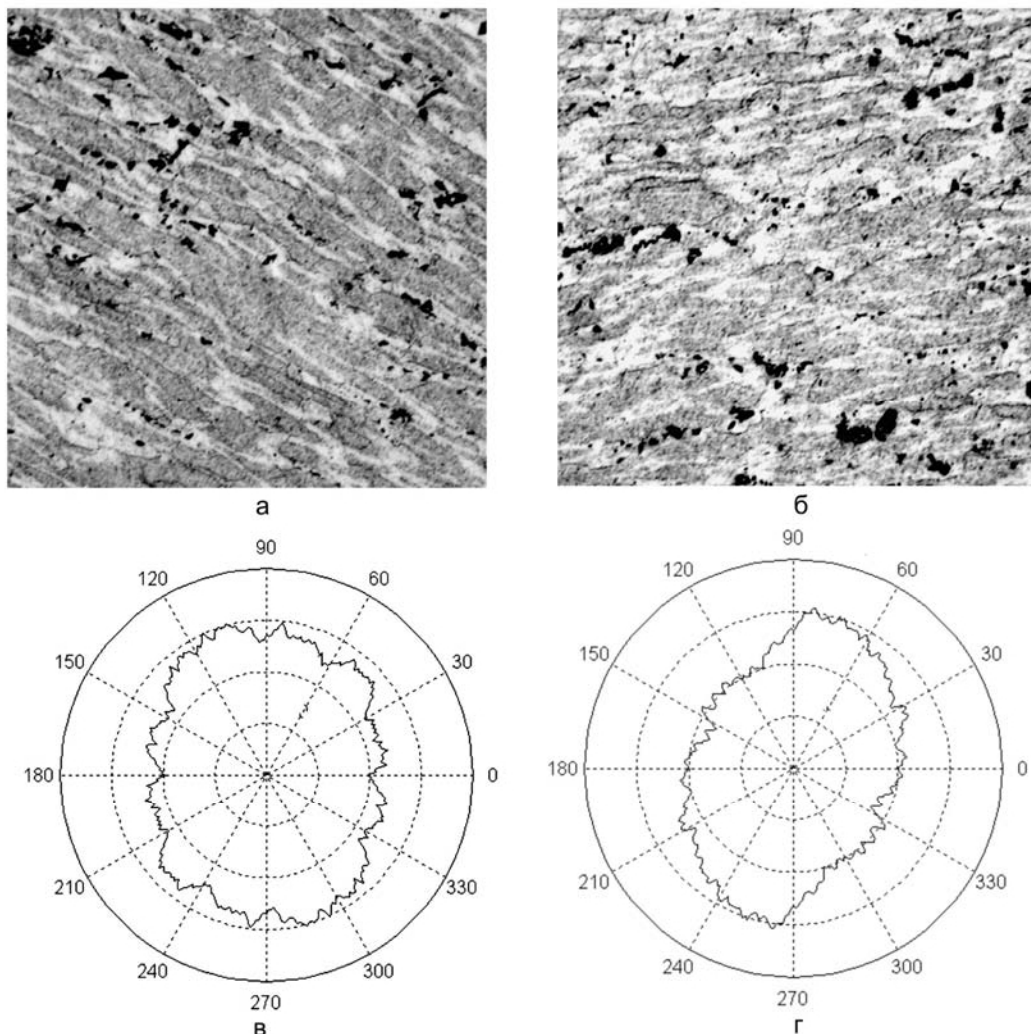


Рис. 2. Мікроструктура сплаву АМг6 і діаграми середнього розподілу коефіцієнтів Фур'є за напрямками: а, в – початкова структура і розрахована на її основі діаграма, б, г – структура сплаву безпосередньо перед руйнуванням зразка і відповідна їй діаграма. Симетричний цикл $\sigma_a = 177$ МПа. а, б – х 100.

$$X_0 = \frac{\sum \sum f(x, y)x}{\sum \sum f(x, y)}, \quad Y_0 = \frac{\sum \sum f(x, y)y}{\sum \sum f(x, y)}, \quad (4)$$

$f(x, y)$ – значення коефіцієнта Фур'є у матриці (x – рядок, y – стовець), розраховували параметр e , що характеризує Фур'є-образ цифрового зображення структури матеріалу.

Про зміну структури матеріалу свідчить різниця між значеннями коефіцієнта (2) у початковому стані матеріалу $e_{поч}$ і під час випробувань e . За більш низьких амплітуд навантаження такі зміни менші, ніж за високих. Це можна пояснити тим, що за менших амплітуд циклічного навантаження кількість локальних місць мікропластичного деформування, де може з'явитися початкова тріщина, буде порівняно меншою [1], що вплине на величину параметра: різниці $e_{поч} - e$. Зразки сплаву руйнуються також за більш низьких значень вказаного параметра. Слід зазначити,

що параметр $e_{поч}$ – e змінюється монотонно, тобто накопичення втомних пошкоджень спостерігається постійно протягом усього досліджуваного періоду (від 10 % до 90 % довговічності) навантаження зразків, без стадії стабілізації структури. Якщо за характеристику пошкодженості матеріалу використати величину

$$k = \frac{e_{исх} - e}{\sigma_{max}} \sigma_{0,2} \quad (5)$$

де σ_{max} – максимальне напруження циклу навантаження, а $\sigma_{0,2}$ – границя текучості матеріалу, то картина істотно зміниться. На рис. 3 наведено графік змінення коефіцієнта

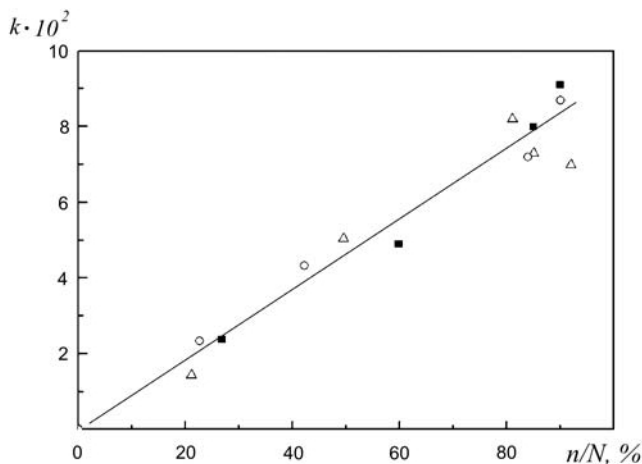


Рис. 3. Залежність коефіцієнта пошкодженості матеріалу k від відносної довговічності сплаву АМг6.

■ – $R = -1$, ○ – $R = 0$, △ – $R = 0,5$.

З розгляду кількісної характеристики стану матеріалу безпосередньо перед виникненням макротріщини видно (рис. 4), що незалежно від асиметрії і амплітуди циклу прикладеного циклічного навантаження коефіцієнт пошкодженості набуває певного граничного значення. Тому це значення можна вважати критерієм виникнення макротріщини для досліджуваного матеріалу.

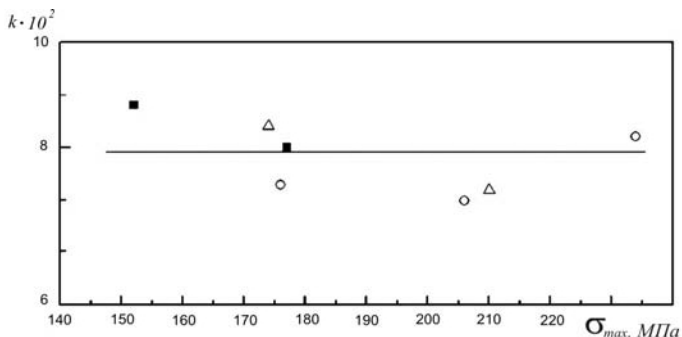


Рис. 4. Залежність граничного значення k від максимального напруження циклу в зразках сплаву АМг6. ■ – $R = -1$, ○ – $R = 0$, △ – $R = 0,5$.

Висновки Запропоновано характеристику структури матеріалу, що зазнає впливу циклічного навантаження, названу коефіцієнтом пошкодженості матеріалу, що однозначно характеризує еволюцію структури внаслідок накопичування втомного

пошкодження. Ця характеристика є інтегральною та інваріантною щодо асиметрії циклу і величини амплітуди навантаження за певної температури випробувань. У стані, що передує втомному руйнуванню, коефіцієнт пошкоженості матеріалу набуває певного значення, незалежно від прикладеного навантаження та асиметрії циклу, і його можна розглядати як критерій руйнування за циклічного навантаження.

Література

1. Яковлева Т.Ю. Локальная пластическая деформация и усталость металлов. – Киев: Наук. думка, 2003. – 235 с.
2. Яковлева Т.Ю. Использование методов Фурье-оптики для количественного анализа эволюции структурного состояния металлов в условиях циклического нагружения. // Пробл. прочности. – 2000. – № 2. – С. 81 – 89.
3. Бялонович А.В., Яковлева Т.Ю., Матохнюк Л.Е. Диагностика структурного состояния стали 45 при воздействии циклической нагрузки. // Надійність і довговічність машин і споруд. – 2009. – 32. – С. 184 – 193.
4. Бялонович А.В. Количественный анализ изменений структуры материала при воздействии циклической нагрузки. // Надійність і довговічність машин і споруд. – 2010. – 33. – С. 239 – 247.
5. Holota R., Němeček S. Recognition of oriented structures by 2D Fourier transform. // Applied Electronics. Plzeň, Za'padočeska' univerzita. – 2002. – P. 88 – 92.

Одержано 29.06.11

Л. Е. Матохнюк, А. В. Бялонович, А. В. Войналович

Количественная оценка степени деградации структуры сплава АМг6 при циклическом нагружении

Резюме

Проведено исследование изменений структуры сплава АМг6 при циклическом нагружении. Для количественной характеристики изменений структуры материала предложен коэффициент поврежденности. В состоянии, предшествующем усталостному разрушению, коэффициент поврежденности принимает определенное значение вне зависимости от амплитуды и асимметрии циклов и может являться критерием усталостного разрушения.

L. Ye. Matokhniuk, A. V. Bialonovich, A. V. Voinalovich

Quantitative assessment of the level of alloy АМr6 structure degradation under cyclic loading

Summary

The investigation is carried out to study the changes in the alloy АМr6 structure under cyclic loading. The damage factor is proposed for the quantitative characterization of changes in the material structure. In the state before fatigue fracture occurs, the damage factor takes a certain value irrespective to the cyclic load amplitude and the stress ratio and can be considered as the criterion for fatigue fracture.