

УДК 669-176:548.4

PACS number(s): 62.20.-x, 81.70.Bt, 46.40.-f

## АНИЗОТРОПІЯ ВТОМИ І ТЕКСТУРА МАГНІЄВОГО СПЛАВУ AZ31

В. Усов<sup>1</sup>, А. Тітенков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Інститут менеджменту і економіки “Галицька академія”  
вул. Вовчинецька, 227, 76006 Івано-Франківськ, Україна  
e-mail: valentin\_usov50@mail.ru

<sup>2</sup>Південноукраїнський державний педагогічний університет ім. К.Д. Ушинського  
вул. Старопортофранківська, 26, 65020 Одеса, Україна

Досліджували втомні властивості і кристалографічну текстуру магнієвого сплаву AZ31 (Mg-3% Al-1% Zn) із гексагональною ґраткою в умовах постачання (після гарячого вальцювання від 400<sup>0</sup>C). З’ясовано, що в листі сформувалася текстура центрального базисного типу із переважним розсіянням у напрямі вальцювання (НВ). Знайдено анізотропію межі витривалості  $\sigma_0$  у площині листа при віднульовому циклі навантаження. Мінімальне значення межа витривалості мала у діагональному напрямі, максимальне – у поперечному напрямі листа, а у НВ – проміжне значення.

*Ключові слова:* сплав магнію, текстура, втома, анізотропія, межа витривалості.

Сплави магнію володіють низькою густиною і високою питомою міцністю, що робить перспективним їх використання на сьогодні у військовому і цивільному секторах, у тому числі й у повітроплаванні і авіації, судноплаванні, автомобілебудуванні, зв’язку, медичній техніці, телевізійній промисловості, аудіо- і відеотехніці, мікроелектроніці, аерокосмічній і автомобільній галузях [1]. На практиці будь-які вироби і конструкції з металів піддаються зовнішнім діям, які постійно змінюються в часі. Тому проблема визначення довговічності металевих напівфабрикатів і конструкцій є актуальною.

Метою даної статті є визначення характеристик втоми і кристалографічної текстури листового сплаву магнію AZ31 в умовах постачання.

Матеріалом для досліджень послужив сплав магнію (3% Al-1% Zn, решта – Mg) з гексагональною щільно упакованою ґраткою, в умовах поставки [2] (товщина листа 1,45 мм після гарячого вальцювання від 400<sup>0</sup>C).

Текстуру вивчали рентгенівським методом [3].

Випробування на втому здійснювали в режимі віднульового циклу шляхом консольного вигину стандартних прямокутних зразків типу IV [4], вирізаних у напрямі вальцювання (НВ), діагональному напрямі (НВ+45<sup>0</sup>) і поперечному (ПН) листа. Частота циклів становила 1 Гц. База випробувань 10<sup>7</sup> циклів вибрана на підставі аналізу проблеми низькочастотного втомного руйнування [4]. Амплітуда вигину зразка від нульового положення рівноваги при цьому становила 6,5 мм.

Схему установки для втомних випробувань показано на рис. 1.

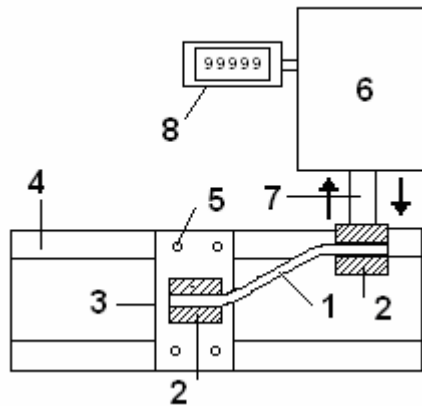


Рис. 1. Схема установки для втомних випробувань плоских зразків

Зразок 1 закріплюється в затискачах 2 типу лещат. Лівий затискач нерухомо закріплений в утримувачі 3 на супорті чотирма гвинтами 5. Утримувач 3 може переміщатися за направляючими типу “ластівчин хвіст” супорта 4 для того, щоб можна було встановлювати зразки різної довжини. Електродвигун на 220 В з редуктором 6 передає штовхачу 7 з правим затискачем зразка зворотньо-поступальний рух, як це показано стрілками. Отож, зразок 1 циклічно згинається з частотою 1 Гц. Кількість циклів підраховують лічильником циклів 8. Для підрахунку числа циклів було розроблено автоматизовану систему [5] на основі електронного лічильника циклів типу Н2-7ЕА3, який володіє високою перешкодостійкістю і, найголовніше, пам'яттю, що дуже важливо в разі раптового відключення електроенергії, а також у разі її стрибків, неминучих при тривалих експериментах.

Для визначення прикладеного напруження у вигині проводили попередні дослідження залежності напруження, що вигинає, від довжини зразка між точкою закріплення і точкою прикладення сили, що вигинає зразок. Силу, що вигинає, вимірювали за допомогою динамометра. Для таких досліджень використовували окремі зразки, що мали товщину і ширину однакові зі зразками для втомних випробувань. При випробуваннях для отримання потрібного напруження вигину за певної товщини зразка між краями затисків встановлювали відстань, яку було визначено у попередніх дослідженнях за допомогою динамометра. Отож, зміну прикладеного напруження проводили шляхом зміни відстані між краями затискачів.

Напруження розраховували за формулою для прямокутного зразка [4, с.55]:

$$\sigma = \frac{6Fl}{bh^2} \quad (1)$$

де  $F$  – сила, що згинає зразок, Н,  $l$  – відстань між нерухомим та рухомим затискачами, м,  $b$  – ширина зразка, м,  $h$  – товщина зразка, м. Похибка при цьому не перевищувала 2%.

Пряма полюсна фігура  $\{0002\}$  досліджуваного сплаву показана на рис. 2.

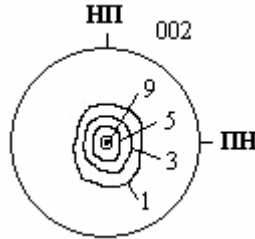


Рис. 2. Пряма полюсна фігура {0002} сплаву магнію AZ31

Як бачимо, в листі сформувалася текстура так званого центрального базисного типу із переважним розсіянням у напрямі вальцювання (НВ).

Межу витривалості визначали, користуючись розрахунково-експериментальним методом Іванової [4, с. 128]. Типові результати наших випробувань на втому показані на рис. 3 для зразка, вирізаного у НВ листа. На рис. 3 по осі ординат відкладене згинаюче напруження  $\sigma$  (МПа), а по осі абсцис – логарифм числа циклів до руйнування. Тут точки – дані експеримента, лінія (її рівняння також показано) – результат лінійного кореляційного аналізу. На рис. 3 показано також значення коефіцієнта  $R$  кореляції між величинами, отриманими з рівняння прямої та експериментальними значеннями.

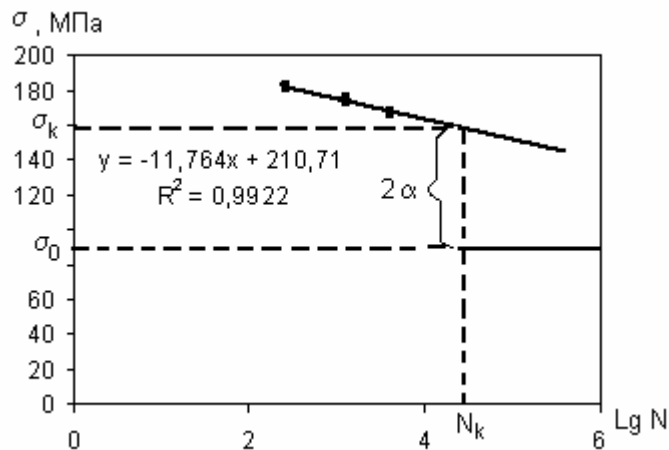


Рис. 3. Крива втому для зразка, вирізаного у НВ листа сплаву AZ31

Згідно з [4, с. 128] енергія, що затрачується на процес руйнування, залишається постійною за будь-яких напружень циклу, що перевищують межу витривалості, і дорівнює прихованій теплоті плавлення металу. Для визначення межі витривалості цим методом випробовують на втому не менше трьох зразків і за отриманими результатами будують в координатах  $\sigma - \lg N$  відрізок лівої частини кривої втому (рис. 3), на якому знаходять точку з абсцисою, що відповідає кількості циклів  $N_k$  і ординатою, відповідною до напруження  $\sigma_k$ . Величину  $N_k$  визначають як критичне число циклів, досягнення якого при напруженні  $\sigma_k$  призводить до виникнення необоротних спотворень кристалічної ґратки і субмікроскопічних тріщин. Межу витривалості обчислювали за формулою [4, с. 128]:

$$\sigma_0 = \sigma_k - 2\alpha,$$

де  $\alpha$  – циклічна константа руйнування. Ми прийняли чисельне значення  $N_k = 3,0 \cdot 10^4$  циклів і  $\alpha = 35$  МПа [4, с. 128]. Порівняння межі витривалості алюмінію, знайденою за вищевикладеною методикою, з даними інших авторів засвідчила досить подібні результати [5].

Знайдено анізотропію межі витривалості  $\sigma_0$  при віднульовому циклі у площині листа сплаву AZ31 (рис. 4). На рис. 4 точки – дані експерименту, лінія регресії – результат кореляційного аналізу. Показано рівняння регресії і коефіцієнт достовірності апроксимації

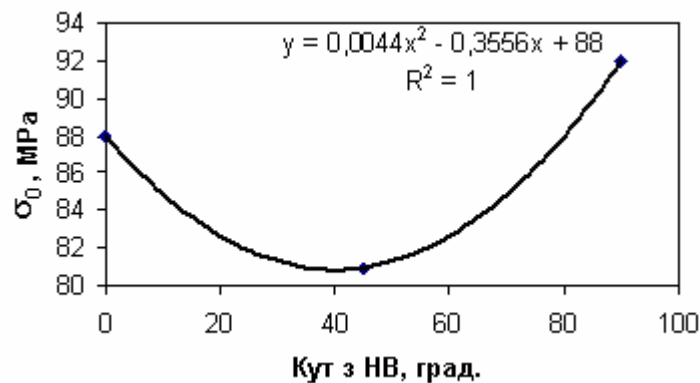


Рис. 4. Анізотропія межі витривалості у площині листа сплаву AZ31

Так, мінімальне значення  $\sigma_0 = 81$  МПа було знайдене у діагональному напрямі, зміщеному на  $45^\circ$  від напрямку вальцювання (НВ), максимальне значення  $\sigma_0 = 92$  МПа – у поперечному напрямі (ПН), а в НП – проміжне значення  $\sigma_0 = 88$  МПа.

Типова фотографія зламу після випробувань на втому сплаву показано на рис. 5. Видно, що характер зламу є практично крихким.



Рис. 5. Типова оптична фотографія зламу сплаву після циклічних випробувань на вигин. Збільшення  $\times 150$

Знайдена анізотропія межі витривалості відповідає даним з анізотропії міцності на розтягування, представленим у [6, с. 29], де межа міцності  $\sigma_B$  сплаву у НВ і ПН була 320 і 280 МПа, відповідно. Отож, між межею витривалості під час випробувань на вигин і межею міцності на розрив для магнієвого сплаву у даному випадку дійсне співвідношення

$$\sigma_0 \approx 0,3 \sigma_B.$$

Виявлені закономірності можуть бути поясненими, якщо взяти до уваги, що природа анізотропії втомі визначається тими ж чинниками, що впливають на анізотропію опору пластичної деформації та руйнуванню, найсуттєвішими з яких є кристалографічна та механічна текстура [7].

Отож, показано, що:

1. В листі сплаву магнію AZ31 після гарячого вальцювання від 400<sup>0</sup>С сформувалась кристалографічна текстура базисного центрального типу з переважним розсіянням у напрямі вальцювання.

2. Знайдено анізотропію межі витривалості  $\sigma_0$  при віднульовому циклі у площині листа: мінімальне значення  $\sigma_0 = 81$  МПа було знайдене у діагональному напрямі, зміщеному на 45<sup>0</sup> від напрямку вальцювання (НВ), максимальне значення  $\sigma_0 = 92$  МПа – у поперечному напрямі (ПН), а в НП – проміжне значення  $\sigma_0 = 88$  МПа.

3. З'ясовано, що типове руйнування зразків сплаву при циклічних випробуваннях на втому супроводжується крихкістю.

- 
1. Magnesium: Proceedings of the 7th International Conference on Magnesium Alloys and Their Applications [Edited by K.U. Keiner]. – Weinheim: Wiley-VCH, 2007. – 1112 p.
  2. Tartaglia J. AMC-SC1 A Magnesium Alloy Developed Specifically for Engine / J. Tartaglia, J. Grebetz // Materials World. – 2003. – Vol. 11, N 6. – P. 29–30.
  3. Бородкина М.М. Рентгенографический анализ текстур в металлах и сплавах / М.М. Бородкина, Э.Н. Спектор. – М. : Metallurgiya, 1982. – 272 с.
  4. Трощенко В.Т. Сопротивление усталости металлов и сплавов [Справочник] / В.Т. Трощенко, Л.А. Сосновский. – К. : Наукова думка., 1987. – 1238 с.
  5. Усов В.В. Автоматизированная система регистрации циклов при вибрационных испытаниях образца / В.В. Усов В.В., Н.М. Шкагуляк., А.Н. Титенков и др. // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2008. – № 2. – С. 60–63.
  6. Global watch mission report. Mag tech 1: Magnesium alloys and processing technologies for lightweight transport applications – a mission to Europe september / october 2004. – Pera Innovation Limited, 2005. – 90 p. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.faraday-advance.net/documents/Mg%20Tech.pdf>.
  7. Микляев П.Г. Анизотропия механических свойств металлов / П. Г. Микляев, Я. Б. Фридман. – М. : Metallurgiya, 1986. – 244 с.

**ANISOTROPY OF FATIGUE AND TEXTURE  
OF MAGNESIUM ALLOY AZ31****<sup>1</sup>V. Usov, <sup>2</sup>A. Titenkov**

<sup>1</sup>*Institute of Management and Economy the “Galitsca academy”  
Vovchinetska Str., 227, UA–76006 Ivano-Frankivsk, Ukraine  
e-mail: valentin\_usov50@mail.ru*

<sup>2</sup>*K.D.Ushinski South-Ukrainian State Pedagogical University  
Staroportofracovskaya Str., 26, UA–65020 Odessa, Ukraine*

Fatigue properties and crystallography texture of the magnesium alloy AZ31 (Mg-3% Al–1% Zn) with the hexagonal lattice were studied in the conditions of delivery (after the hot rolling at 400<sup>0</sup>C). The central basic type of texture was formed in sheet. The dispersion of texture was found in the rolling direction (RD). Anisotropy of the limit of endurance of  $\sigma_0$  was found in the plane of sheet. Limit of endurance had the minimum value in the diagonal direction, maximal value – in the transversal direction of sheet, and intermediate value – in RD.

*Key words:* alloy of magnesium, texture, fatigue, anisotropy, limit of endurance.

**АНИЗОТРОПИЯ УСТАЛОСТИ И ТЕКСТУРА  
МАГНИЕВОГО СПЛАВА AZ31****В. Усов<sup>1</sup>, А. Титенков<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Институт менеджмента и экономики “Галицкая академия”  
ул Вовчинецкая, 227, 76006 Ивано-Франковск, Украина  
e-mail: valentin\_usov50@mail.ru*

<sup>2</sup>*Южно-украинский государственный педагогический университет  
им. К.Д. Ушинского  
ул. Старопортофранковская, 26, 65020 Одесса, Украина*

Исследован усталостные свойства и кристаллографическую текстуру магниевого сплава AZ31 (Mg-3% Al–1% Zn) с гексагональной решеткой в условиях поставки (после горячей прокатки от 400<sup>0</sup>C). Установлено, что в листе сформировалась текстура центрального базисного типа с преимущественным рассеянием в направлении прокатки (НП). Найдена анизотропия предела выносливости  $\sigma_0$  в плоскости листа при отнулевом цикле нагрузки. Минимальное значение предел выносливости имел в диагональном направлении, максимальное – в поперечном направлении листа, а в НП – промежуточное значение.

*Ключевые слова:* сплав магния, усталость, предел выносливости, анизотропия, текстура.

Стаття надійшла до редколегії 29.05.2009  
Прийнята до друку 07.06.2010