

Пошивалов Володимир

директор, доктор технічних наук, професор, Інститут технічної механіки НАН України і ДКА України, Дніпро, Україна, e-mail: vposhivalov@gmail.com

ПІДВИЩЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СПЛАВІВ СИСТЕМИ Al-Mg ДЛЯ КОНСТРУКЦІЙ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Анотація. Досліджений вплив проміжної енергетичної обробки в умовах повзучості на характеристики міцності й мікроструктуру алюмінієво-магнієвого сплаву АМг6М, який використовується у конструкціях спеціального призначення. Виявлено, що комбінована енергетична обробка, яка включає дію полів різної фізичної природи, збільшує час до руйнування, показники короткочасної міцності матеріалу, ударну в'язкість та дає можливість наблизити його за міцнісними властивостями до сплаву 01570, легованого скандієм. Показано, що збільшення характеристик міцності досягається за рахунок заліковування дефектів і підвищення щільності дислокацій.

Ключові слова: енергетичне навантаження, ганиця текучості, границя міцності, час до руйнування.

Вступ. Під впливом зростаючого енергетичного навантаження в матеріалі послідовно розвиваються процеси пружної й пластичної деформації, зародження й поширення тріщин і, нарешті, руйнування. Навантаження матеріалу в термодинамічно відкритій системі представляє собою типовий синергетичний процес. Тут мова йде про те, що в екстремальних умовах вплив зовнішніх збуджень за рахунок безперервного припливу енергії в матеріалі ініціюються самоорганізаційні процеси, які здатні істотно поліпшити його механічні характеристики [1]. У загальному випадку, джерелами збуджень, що приводять систему в нерівновагий стан, можуть бути енергетичні поля різної фізичної природи: термомеханічний, електромагнітний і ультразвуковий вплив, лазерне випромінювання, плазмова обробка тощо.

До матеріалів, з яких виготовляються захисні протимінні екрани пред'являються ряд вимог: висока пластичність і ударна в'язкість, відносно знижена границя текучості при збереженні максимально можливої границі міцності. Алюмінієві сплави, особливо системи Al-Mg (5083, 5456, АМг6, 01570) значною мірою задовольняють більшості вимог до захисних протимінних екранів, але навіть їх пластичності та ударної в'язкості недостатньо, щоб ефективно поглинати енергію вибуху [2].



Мета роботи – підвищити фізико-механічні характеристики алюмінієво-магнієвого сплаву АМг6М, який використовується у захисних протимінних екранах, з позиції синергетичного підходу за рахунок проміжної комбінованої енергетичної обробки.

Матеріал і результати досліджень. Випробування проводилися на зразках сплаву АМг6М (Al – 92.65%, Mg – 6.75%). Зразки мали форму подвійної лопатки об'ємом робочої частини $32 \times 3 \times 3 \text{ mm}^3$. Механічні випробування здійснювалися в режимі повзучості при температурі 160°C і напруженні 23.3 МПа.

Зразки попередньо випробовувалися в режимі повзучості приблизно до половини часу їх руйнування, а потім піддавалися проміжній термомеханічній обробці, яка включала дію стискальних і розтягуючих в тепловому полі навантажень, а також ударних ультразвукових коливань. Загальна схема обробки зразків проводилася в наступній послідовності:

– електростимульоване нагрівання зразка електричним струмом до температури $T = 160^\circ\text{C}$;

– одновісне розтягування зразка в режимі повзучості з наступною витримкою приблизно до половини часу руйнування;

– вплив на зразок стискаючого навантаження при температурі $T = 300^\circ\text{C}$; – відпал зразка при $T = 320^\circ\text{C}$;

– вплив на зразок ударними ультразвуковими коливаннями.

Вплив стисненням проводився на зразки в нагрітому стані ($T = 300^\circ\text{C}$) навантаженням $P = 0.5 \text{ MN}$. При цьому в середньому товщина зразка зменшувалася на 35%, ширина збільшувалася на 57%, а довжина – на 4%. Дія ударних ультразвукових коливань здійснювалося за допомогою ударного генератора ультразвуку шляхом сканування бойком ударника по поверхні зразка з частотою 20 кГц. При цьому оптимальна амплітуда коливань випромінювача становила 19.8 μm .

У процесі ультразвукової обробки відбувається пластичне деформування матеріалу, що призводить до зміни його структурного стану. При випробуваннях на повзучість зразків, які зазнали енергетичної обробки, вносились поправки на величину навантаження з урахуванням зміни площі поперечного перерізу.

Дія енергетичних потоків на матеріал оцінювалося за зміною характеристик короткочасної міцності (границя міцності σ_B та границя текучості $\sigma_{0.2}$), тривалої міцності (час до руйнування при повзучості), питомої роботи руйнування зразка W , а також мікроструктурними змінами.



Проміжна пластична деформація при випробуваннях на повзучість досягалася двома способами [3].

Відповідно до першої схеми, зразки спочатку витримувалися під розтягувальним навантаженням приблизно до половини часу руйнування, після розвантаження і охолодження вони піддавалися дії високотемпературного стискаючого навантаження, а за тим здійснювалася ударна ультразвукова обробка. Після цього зразки знову навантажувалися вихідним розтягувальним навантаженням і виводилися на режим повзучості до руйнування.

Згідно з другою схемою, після обробки високотемпературним стискаючим тиском, проводився відпал зразків при температурі $T = 320^{\circ}\text{C}$ протягом двох годин, з подальшим впливом на них ударних високочастотних коливань.

У табл. 1 наведено результати випробувань зразків сплаву АМг6М у вихідному стані та після впливу різних видів проміжної пластичної деформації в режимі повзучості.

Таблиця 1 – Механічні характеристики сплаву АМг6М

Найменування матеріалу	Режим обробки	Границя текучості, $\sigma_{0,2}$, МПа	Границя міцності, σ_B , МПа	Питома робота руйнування, W , МДж/м ³	Відносне подовження, δ , %	Час до руйнування, τ , 60 ⁻¹ с	$\frac{\tau_1}{\tau_0}$
АМг6М	Необроблений	167.0	333.0	68.2	20	8	–
	I схема	440.0	483.0	17,2	4	240	30
	II схема	250.0	378.0	48.9	14	64	8

Тут $\frac{\tau_1}{\tau_0}$ – відношення часу до руйнування зразка, обробленого за першою та другою схемою, до часу руйнування необробленого зразка.

Висновки. Аналіз результатів випробувань зразків у вихідному стані та після енергетичної обробки показав, що проведення проміжної пластичної деформації в умовах повзучості підвищує характеристики короткочасної міцності та час до руйнування сплаву АМг6М (див. таблицю 1). При випробуваннях за першою схемою істотно підвищується час до руйнування при повзучості, проте при цьому різко знижується пластичність матеріалу. Введення відпалу дозволяє підвищити час до руйнування сплаву при відносному збереженні границі текучості.

Крім того встановлено, що енергетична обробка сплаву АМг6М за схемою II дає можливість наблизити його за міцнісними властивостями до сплаву 01570, легованого скандієм, що належить до тієї ж системи Al–Mg, але суттєво дорожчий.



СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Макклінток Ф., Аргон А. (1994). Деформация и разрушение материалов. М.: Мир.
2. Бісик С. П., Санін А. Ф., Пошивалов В. П., Арістархов О. М., Приходько М. В., Кузьмицька А. І., А. Ф. Леднянський (2023) Комбінований противоударний та протимінний захист на основі деталей з алюмінієвих сплавів. Технічна механіка, (11), С. 76– 89.
3. Пошивалов В. П. (2023) Керування фізико-механічними властивостями алюмінієвих сплавів для підвищення їхніх міцнісних характеристик і використання у конструкціях спеціального призначення. Вісник НАНУ. (11), С. 87 – 92.

