

УДК 661.74:669.14.046.554

А.А. Кулініч, О.М. Доній, С.М. Котляр

МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЛИВАРНИХ СПЛАВІВ СИСТЕМИ Al–Mg ПІСЛЯ ПРИРОДНОГО СТАРІННЯ

Вступ

Ливарні сплави системи Al–Mg використовуються як корозійностійкі в судно- і автобудуванні та інших галузях промисловості.

До недоліків даної групи сплавів відносять їх схильність до природного старіння, під час якого можуть істотно знижуватись пластичність і корозійна стійкість сплавів [1–5].

На даний час досить добре вивчено вплив природного старіння на властивості бінарних сплавів системи Al–Mg з різним вмістом магнію [6] (див. далі табл. 1). Але закономірності впливу природного старіння на механічні властивості промислових сплавів даної системи вивчено недостатньо.

У промислових магнеліях, крім варіювання вмісту магнію, наявний різний комплекс мікролегуючих і модифікуючих добавок, що також може впливати на інтенсивність процесу природного старіння. Систематизованих даних із впливу природного старіння на механічні властивості промислових багатокомпонентних магнеліїв у літературі немає.

Постановка задачі

Мета даної статті – встановити вплив природного старіння протягом трьох років на рі-

вень механічних властивостей промислових сплавів системи Al–Mg.

Методика досліджень

Для початку наведемо вплив природного старіння на механічні властивості бінарних сплавів системи Al–Mg з різним вмістом магнію при тривалому природному старінні (табл. 1). Ці дані свідчать про те, що при вмісті магнію більш ніж 10 % схильність до природного старіння сплавів зростає. Це призведе до росту межі плинності, тимчасового опору розриву і різкого зниження відносного видовження. Також видно, що магнелії з різним вмістом магнію мають різну схильність до природного старіння.

Об'єкт дослідження в статті – промислові ливарні сплави системи Al–Mg: AMg5K, AMg6л, AMg10. Хімічний склад сплавів наведено в табл. 2, механічні властивості – в табл. 3.

Плавки проводили в лабораторній печі опору в графітошамотному тиглі. Використовували такі шихтові матеріали: алюміній марки А99, лігатури: Al–Mg, Al–Zr, Al–Be, Al–Ti, Al–Mn, Al–Si. В тиглі розплавляли алюміній і при температурі 690 °С вводили подвійні лігатури. Після розплавлення шихтових матеріалів та перемішування розплаву вводили лігатуру Al–Mg. При температурі 700 °С проводили рафінування розплаву флюсом у кількості 2 % від маси сплаву. Склад флюсу: 85 % карналіту ($MgCl_2 \cdot KCl$) та 15 % фтористого кальцію. Після цього розплав розливали в металеву виливницю.

Отримані стандартні зразки діаметром 10 мм піддавали термічній обробці за режимом Т4 (для

Таблиця 1. Вплив природного старіння на механічні властивості ливарних сплавів системи Al–Mg

Вміст Mg, %	Механічні властивості					
	після гартування			після гартування і природного старіння протягом 11 років		
	σ_b , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	σ_b , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %
1,3	120	75	17,0	120	76	17,0
3,3	150	88	5,0	135	80	6,5
5,3	160	110	5,0	180	103	6,0
7,2	190	140	4,0	210	130	5,0
9,0	290	150	7,0	250	150	7,0
10,7	360	190	20,0	310	240	2,0
12,4	380	200	20,0	400	350	1,3
13,6	300	210	10,0	410	360	0,5
14,4	350	220	9,0	400	360	0,6

Таблиця 2. Хімічний склад досліджуваних сплавів

Марка сплаву	Основні компоненти, %						Максимальний вміст домішок, %	
	Mg	Be	Zr	Ti	Mn	Si	Fe	Si
АМг5К (АЛ13)	4,5–5,5	–	–	–	0,1–0,4	0,8–1,3	0,5	–
АМг6л (АЛ23)	6,0–7,0	0,02–0,10	0,05–0,20	0,05–0,15	–	–	0,20	0,20
АМг10 (АЛ27)	9,5–10,5	0,05–0,15	0,05–0,20	0,05–0,15	–	–	0,20	0,20

Таблиця 3. Механічні властивості досліджуваних сплавів

Марка сплаву	Метод лиття	Гарантовані механічні властивості		
		σ_B , МПа	δ , %	Твердість за Бринелем, НВ
АМг5К (АЛ13)	К ^{*1}	150	1,0	55,0
АМг6л (АЛ23)	К ^{*1}	220	6,0	60,0
	К ^{*2}	230	6,0	60,0
АМг10 (АЛ27)	К ^{*2}	320	12,0	75,0

Примітка. К^{*1} – лиття в кокіль; К^{*2} – гомогенізаційний відпал та гартування.

зразків сплаву АМг5К термічну обробку не проводили) і визначали механічні властивості досліджуваних сплавів: тимчасовий опір розриву, межу плинності, відносне видовження.

Випробування механічних властивостей проводились на розривній машині TIRA-TEST за стандартними методиками.

Середні квадратичні відхилення значень механічних властивостей знаходились у межах: $\sigma_B - \pm 20$ МПа, $\sigma_{0,2} - \pm 10$ МПа, $\delta - \pm 15\%$.

Мікорентгеноспектральний аналіз проводили з використанням растрового електронного мікроскопа РЕММА-101А. Хімічний аналіз зразків досліджуваних сплавів робили, використовуючи метод оптичної спектроскопії випаровуючим розрядом.

Якісний і кількісний металографічний аналіз виконано на мікроскопі NEOFOT-31. Рентгенографічне дослідження проводили в Су-характеристичному випромінюванні із застосуванням дифрактометра ДРОН-413.

Експериментальна частина

За даними рентгенофазового, рентгено-спектрального і термічного аналізів структура досліджуваних сплавів після лиття в кокіль складається з алюмінієвого твердого розчину (α_{Al}) та евтектики $\alpha_{Al} + \beta(Al_3Mg_2)$.

На рис. 1, а наведено структуру сплаву АМг6л після лиття в кокіль, а на рис. 1, б – після термічної обробки. На даному рисунку видно фазу $\beta(Al_3Mg_2)$ кристалізаційного походження, яка виділяється по границях зерен або дендритних комірок. Більшість частинок фази β розчиняється під час термічної обробки (рис. 1, б).

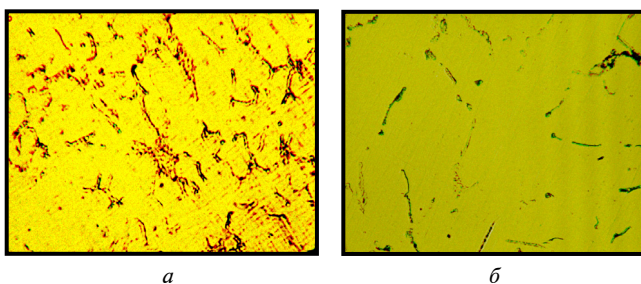


Рис. 1. Мікроструктура сплаву АМг6л: а – після лиття в кокіль; б – після термічної обробки за режимом Т4; а, б – $\times 200$

Розчинення частинок фази $\beta(Al_3Mg_2)$ під час термічної обробки сприяє підвищенню вмісту магнію в твердому розчині і викривленню кристалічної ґратки. Як наслідок, підвищується рівень характеристик міцності магналіїв [2].

Вплив природного старіння протягом одного, двох і трьох років на механічні властивості досліджуваних сплавів наведено на рис. 2, а–в.

З рис. 2, а видно, що природне старіння протягом трьох років дещо підвищує рівень тимчасового опору розриву сплаву АМг5К (до

20 МПа), а відносне видовження зростає з 1,9 до 2,6 %.

Для сплаву АМгбл природне старіння протягом трьох років впливає на підвищення рівня відносного видовження з 7,1 до 7,9 % при підвищенні рівня тимчасового опору розриву до 10 МПа (рис. 2, б).

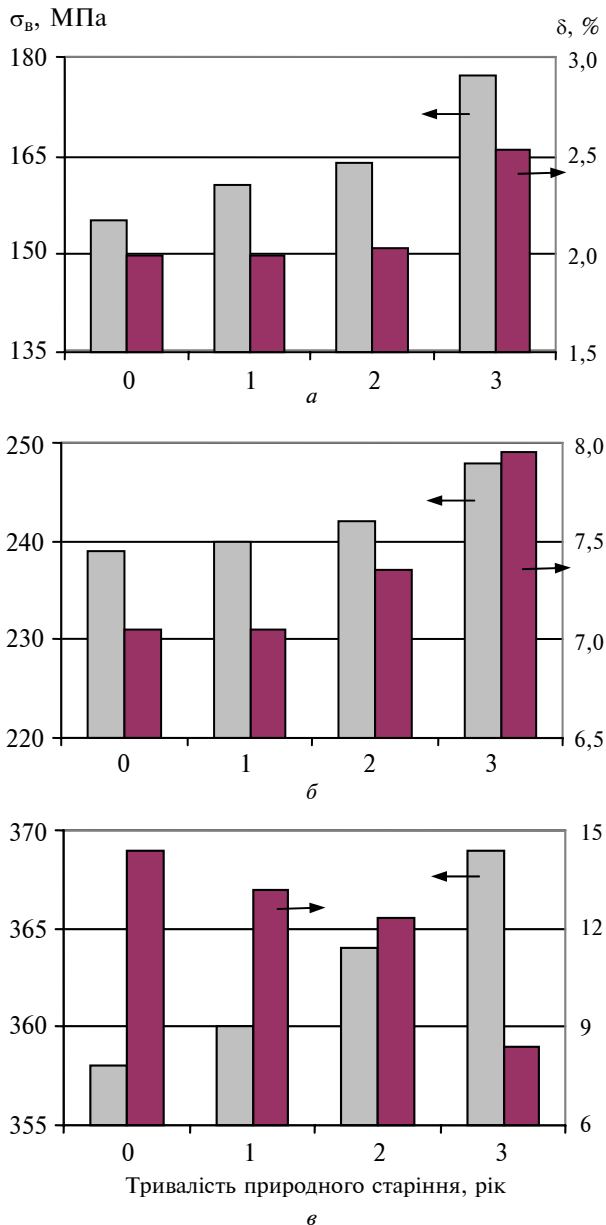


Рис. 2. Вплив природного старіння на механічні властивості сплаву: а – АМг5К; б – АМгбл; в – АМг10

Вплив природного старіння на рівень механічних властивостей сплаву АМг10 наведено на рис. 2, в. З даних рисунка видно, що після трьох років природного старіння значення

тимчасового опору розриву підвищується до 10 МПа, а відносне видовження знижується з 14,9 до 8,7 %.

Таким чином, експериментально встановлено, що природне старіння протягом трьох років змінює рівень тимчасового опору розриву промислових магнеліїв у межах похибки вимірювання (до 20 МПа), а характер зміни рівня пластичності залежить від вмісту в сплаві магнію.

Для низьколегованих магнеліїв (із вмістом магнію до 7 %) природне старіння сприяє підвищенню рівня пластичності на 10–50 %. Для магнеліїв з підвищеним вмістом магнію (вміст магнію вище ніж 9,5 %) природне старіння протягом трьох років знижує рівень пластичності сплавів до 70 % (табл. 4).

Встановлено, що в сплавах з підвищеним вмістом магнію зміна його вмісту навіть у межах державного стандарту може істотно вплинути на схильність сплаву до природного старіння (див. табл. 4).

Таблиця 4. Вплив природного старіння на механічні властивості сплаву АМг10 з різним вмістом магнію

Вміст магнію, %	Вид обробки	Механічні властивості	
		σ_B , МПа	δ , %
9,5	Після лиття в кокіль, термічної обробки (Т4)	346	13,5
10,0		359	15,3
10,5		370	16,0
9,5	Після лиття в кокіль, термічної обробки (Т4) і природного старіння протягом одного року	347	13,0
10,0		360	15,0
10,5		373	14,3
9,5	Після лиття в кокіль, термічної обробки (Т4) і природного старіння протягом двох років	349	12,2
10,0		364	13,8
10,5		378	10,7
9,5	Після лиття в кокіль, термічної обробки (Т4) і природного старіння протягом трьох років	352	10,5
10,0		370	9,5
10,5		385	6,2

Так, для сплаву АМг10 збільшення вмісту магнію в сплаві з 9,5 до 10,5 % впливає на зниження рівня відносного видовження після природного старіння протягом трьох років до 40 %.

Висновки

Встановлено вплив природного старіння протягом трьох років на механічні властивості промислових магнеліт.

Для сплавів АМг5К і АМг6л природне старіння впливає на підвищення тимчасового опору розриву до 15 і 5 %, а відносне видовження підвищується до 40 і 10 %.

Після природного старіння протягом трьох років тимчасовий опір розриву сплаву АМг10 зростає до 3 %, а рівень відносного видовження знижується до 70 % і вже не відповідає вимогам, встановленим державним стандартом до даного сплаву.

Таким чином, можна зробити висновок, що для сплавів з низьким і середнім вмістом магнію (до 7 % включно) природне старіння протягом трьох років істотно впливає на зростання відносного видовження при незначному підвищенні тимчасового опору розриву, а для сплавів з високим вмістом магнію (вище ніж 9,5 %) таке природне старіння знижує рівень пластичності до рівня, який вже не відповідає вимогам державного стандарту.

Перспективність подальших досліджень у даному напрямку полягає в можливості встановлення впливу комплексу мікролегуючих компонентів на схильність сплавів системи Al–Mg до природного старіння.

А.А. Кулинич, А.Н. Доний, С.Н. Котляр

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛИТЕЙНЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Al–Mg ПОСЛЕ ЕСТЕСТВЕННОГО СТАРЕНИЯ

Исследовано влияния естественного старения на механические свойства сплавов АМг5К, АМг6л и АМг10. Установлено, что для сплавов АМг5К и АМг6л после естественного старения в течении трех лет уровень временного сопротивления разрыву повышается соответственно до 15 и 5 %, а относительное удлинение сплавов повышается соответственно до 40 и 10 %. После естественного старения в течении трех лет уровень временного сопротивления разрыву сплава АМг10 повышается до 3 %, а относительное удлинение понижается до 70 %.

A.A. Kylinich, O.M. Doniy, S.M. Kotlyar

MECHANICAL PROPERTIES OF CASTING ALLOYS OF Al–Mg SYSTEM AFTER NATURAL SENESCENCE

We investigate the influence of natural senescence on mechanical properties of АМг5К, АМг6л and АМг10 alloys. We determine that the level of temporal resistance of the break rises to 15 and 5 %, and the lengthening of alloys rises to 40 and 10 % for АМг5К and АМг6л alloys after the natural senescence in the course of three years. Accordingly, the level of temporal resistance of the break of АМг10 alloy rises to 3 % and the relative lengthening falls to 70 % after the natural senescence in the course of three years.

1. *Машиностроение*. Энциклопедия. Цветные металлы и сплавы. Композиционные металлические материалы. Т. II / Под общ. ред. И.Н. Фридляндера. – М.: Металлургия, 2001. – 880 с.
2. *Постников Н.С.* Коррозионностойкие алюминиевые сплавы. – М.: Металлургия, 1976. – 304 с.
3. *Мондольфо Л.Ф.* Структура и свойства алюминиевых сплавов. – М.: Металлургия, 1979. – 640 с.
4. *Доний О.М., Кулинич А.А., Рябинина О.О., Стась І.М.* Вплив часу витримки між гартуванням і штучним старінням на фазовий склад, структуру та механічні властивості ливарних сплавів системи Al–Mg–Zn, мікролегованих комплексом міді, вуглецю і титану // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2003. – № 5. – С. 51–53.
5. *Бялік О.М., Доний О.М., Кулинич А.А. та ін.* Вплив параметрів кристалування на структуру та механічні властивості ливарних сплавів системи Al–Mg–Zn // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2004. – 40, № 1. – С. 118–119.
6. *Колобнев И.Ф.* Жаропрочность литейных алюминиевых сплавов. – М.: Металлургия, 1973. – 320 с.

Рекомендована Радою
інженерно-фізичного факультету
НТУУ "КПІ"

Надійшла до редакції
5 січня 2010 року