

УДК 661.74:669.14.046.554

О.М. Бялік, О.М. Доній, А.А. Кулініч, К.Ю. Гзовський  
**Оптимізація режимів термічної обробки сплаву  
Al-5,5%Mg-2,5%Zn легованого міддю**

*Національний технічний університет України "КПІ", проспект Перемоги-37,  
Київ-56, 252056, Україна, телефон: 044 441-15-80*

Досліджено вплив різних режимів термічної обробки на фазовий склад, структуру та механічні властивості ливарного сплаву Al-5,5%Mg-2,5%Zn з добавкою міді у кількості 0,35%. Показано, що добавки міді та лігатури AlC<sub>0,8</sub>Ti<sub>0,7</sub> суттєво підвищують рівень механічних властивостей досліджуваного сплаву. Для даного сплаву рекомендовано режим термічної обробки, що дозволяє підвищити рівень механічних властивостей, порівняно з використанням стандартного режиму.

**Ключові слова:** мікролегування, модифікування, термічна обробка, механічні властивості, фазовий склад, структура.

*Стаття постуила до редакції 16.11.2000; прийнята до друку 20.02.2001*

В роботі [1] встановлено, що добавка міді починаючи з 0,6 % у сплавах системи Al-Mg-Zn з співвідношенням Mg/Zn > 2 призводить до зниження рівня механічних властивостей, особливо пластичності. Але було б доцільно дослідити вплив малих добавок міді на механічні властивості даних сплавів. Крім того, добавка міді може впливати на процес формування фазового та структурного складу, що може призвести до необхідності змін в термічній обробці сплавів системи Al-Mg-Zn.

В роботі досліджено вплив різних режимів термічної обробки на формування фазового і структурного складу та механічні властивості сплаву Al-5,5%Mg-2,5%Zn з добавкою міді у кількості 0,35%.

Сплави для досліджень виготовляли в лабораторній печі опору в графітошамотному тиглі. В тиглі розплавляли алюміній і при температурі 710±10°C вводили магній та цинк. Після їх розчинення вводили лігатури Al-Cu, Al-Ti, Al-Zr, Al-Cr, Al-Mn, Al-Be і витримували розплав при цій температурі

протягом 15 хв. Вміст Ti, Zr, Cr, Mn, Be в усіх досліджуваних сплавах становив відповідно 0,1% кожного. Після цього з поверхні розплаву видаляли шлаки та розливали його в металеву виливницю.

Крім того, для додаткового підвищення рівня механічних властивостей досліджуваних сплавів в них вводили лігатуру AlC<sub>0,8</sub>Ti<sub>0,7</sub> власного виробництва [2].

В даній лігатурі виплавленій та розлитій відцентровим методом, кількість титану 0,7%, загальна кількість вуглецю 0,8%. Завдяки наявності в складі лігатури AlC<sub>0,8</sub>Ti<sub>0,7</sub> ізоморфних алюмінію нерозчинних часток TiC та вуглецю, при її введенні в розплав збільшується кількість активних центрів росту α-твердого розчину. В наслідок цього утворюється дрібна рівноосна структура та підвищується рівень механічних властивостей сплавів [2]. Попередніми дослідженнями встановлено, що оптимальний вміст лігатури AlC<sub>0,8</sub>Ti<sub>0,7</sub> в сплаві Al-5,5%Mg-2,5%Zn дорівнює 0,7% від маси сплаву.

Отримані стандартні зразки діаметром 10 мм підвергали термічній обробці (гартуванню та штучному старінню) за різними режимами і після цього вимірювали їх механічні властивості (міцність на розрив, границю текучості, відносне подовження).

Для вибору оптимального температурного режиму нагріву під гартування сплавів легованих міддю використовували дані комп'ютерного термічного аналізу.

Аналіз знятих кривих плавлення та кристалізації з відібраних зразків досліджуваних сплавів дозволив зробити наступні висновки:

температура першої ступені нагріву під гартування не повинна перевищувати 440 °С бо можливе оплавлення нерівноважної евтектики;

2) температура другої ступені нагріву під гартування може досягати 520 °С.

Подальше підвищення температури під час другої ступені нагріву під гартування сприяє повному розчиненню добавок міді в кількості до 0,35% в алюмінієвому твердому розчині, що підтверджується даними мікрорентгеноспектрального та металографічного аналізів.

Виходячи з цього, вибрано наступний режим нагріву під гартування для сплаву Al-5,5%Mg-2,5%Zn легованого міддю:

- температура першої ступені нагріву під гартування – 430 °С, час витримки - 5 годин;
- температура другої ступені нагріву під гартування – 520 °С, час витримки – 15 годин.

Дослідні зразки гартували в воду. Нагрів під гартування проводили в лабораторних муфельних печах з точністю підтримки температури  $\pm 3^\circ$ .

Вплив різних режимів нагріву під гартування на механічні властивості досліджуваних сплавів після термічної обробки за режимом T5 показано в л. 1.

По даним наведеним в табл.1 можна зробити висновок, що використання запропонованого двохступінчастого режиму нагріву під гартування Т0-2 підвищує рівень механічних властивостей сплаву Al-5,5%Mg-2,5%Zn.

Позитивний вплив добавки міді на

механічні властивості можна пояснити наступним чином: за рахунок підвищення температури гомогенізації під час другої ступені нагріву під гартування добавка міді до 0,35% за масою повністю розчиняються в алюмінієвому твердому розчині тим самим підвищуючи його легованість. Це сприяє однорідному розпаду твердого розчину з більш високою, порівняно з нелегованими міддю сплавами, густиною виділень зміцнюючих інтерметалідних фаз. За рахунок цього підвищуються механічні властивості, особливо границя текучості. Також помітний позитивний вплив добавки лігатури AlC0,8Ti0,7 на рівень механічних властивостей сплаву Al-5,5%Mg-2,5%Zn.

Штучне старіння загартованих зразків проводили в дві ступені. Це пов'язано з тим, що на відміну від деформованих сплавів, у ливарних сплавів системи Al-Mg-Zn після одноступінчастого старіння характеристики міцності не досягають свого максимуму. Це обумовлено тим, що процес старіння цих сплавів має стадійний характер [3]. Послідовність стадій старіння сплаву Al-5,5%Mg-2,5%Zn наступна:  $\alpha$ -твердий розчин  $\rightarrow$  ЗГП  $\rightarrow$  Т'-фаза  $\rightarrow$  Т-фаза. Температуру першої ступені старіння вибирають нижче солідусу ЗГП, а температуру другої ступені вище. Старіння загартованих зразків на низькотемпературній ступені забезпечує високу густину зародження часток зміцнюючої Т-фази, а високотемпературна ступінь сприяє їх росту.

Попередні дослідження по вивченню впливу температури другої ступені штучного старіння на процес формування фазового складу та структури досліджуваного сплаву проводились в температурному інтервалі 170-190 °С.

Використовуючи дані мікродифракційного та металографічного аналізів можна зробити висновки про зміни фазового складу та структури сплаву Al-5,5%Mg-2,5%Zn-0,35%Cu після різних режимів старіння:

- при температурі другої ступені 170 °С має місце розпад твердого розчину з високою густиною виділень зміцнюючих інтерметалідних фаз (Т' та Т) як в середині зерен

Таблиця 1.

Вплив режимів нагріву під гартування на механічні властивості ливарного сплаву Al-5,5%Mg-2,5%Zn легованого міддю

Сплав	Вміст міді, % за масою	Вміст лігатури Al-C0,8-Ti0,7, % за масою	Режим нагріву під гартування	Механічні властивості		
				$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %
1	0	0	ТО-1	340	265	3,2
1	0	0	ТО-2	356	268	5,2
2	0	0,7	ТО-1	412	305	8,7
2	0	0,7	ТО-2	431	311	9,5
3	0,35	0	ТО-2	396	342	6,8
4	0,35	0,7	ТО-2	445	357	8,4

\* - Режим ТО-1: 430 °С, 15 г.

\* - Режим ТО –2: 430 °С, 5 г. + 520°С, 15 г.

\* - Штучне старіння для всіх сплавів: 80 °С, 8г.+190 °С, 2г.

\* - В усіх сплавах постійний вміст Ti, Zr, Cr, Mn, Вe дорівнює 0,1% за масою.

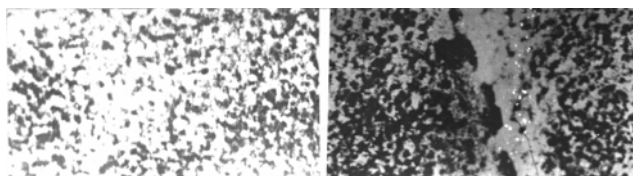


Рис. 1. Структура сплаву Al-5,5%Mg-2,5%Zn-0,35%Cu з 0,7% лігатури Al-C0,8-Ti0,7 після різних режимів старіння: а – 80 °С, 8 г. + 170 °С, 2 г; б – 80 °С, 8 г. + 190 °С, 2 г.; а – X80000; б – X30000.

механічних властивостей сплавів (табл. 2). Крім того, починає виділятися  $\beta$ -фаза ( $Al_3Mg_2$ ).

Для сплаву Al-5,5%Mg-2,5%Zn-0,35%Cu використовували стандартний режим старіння (80 °С, 8 г. + 190 °С, 2 г.) та режим (80 °С, 8 г. + 170 °С, 2 г.).

Старіння сплавів проводили в сушильній шафі з точністю підтримки температури  $\pm 2$  °. Механічні властивості досліджуваних

Таблиця 2

Вплив різних режимів штучного старіння на механічні властивості досліджуваних сплавів

Сплав	Режими штучного старіння	Механічні властивості		
		$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %
1	80 °С, 8 г. + 190 °С, 2 г.	356	268	5,2
3	80 °С, 8 г. + 170 °С, 2 г.	407	353	6,2
3	80 °С, 8 г. + 190 °С, 2 г.	396	342	6,8
4	80 °С, 8 г. + 170 °С, 2 г.	456	373	7,3
4	80 °С, 8 г. + 190 °С, 2 г.	445	357	8,4

\* - Режим нагріву під гартування для всіх сплавів: 430 °С, 5 г.+ 520 °С, 15 г.

так і в приграничних областях (рис. 1, а).

– при підвищенні температури другої стадії старіння до 190 °С в структурі сплавів легованих міддю з'являються грубі інтерметалідні частки, що розташовані по границям зерен та зони вільні від виділень (рис.1, б). Це призводить до зменшення рівня

сплавів (див. табл.1) після різних режимів старіння представлені в табл. 2.

Згідно даним наведеним в табл.2 режим старіння 80 °С, 8 г. + 170 °С, 2 г. для сплаву Al-5,5%Mg-2,5%Zn-0,35%Cu дає можливість суттєво підвищити рівень його механічних властивостей порівняно з нелегованим

міддю сплавом.

### Висновки

1. Досліджено вплив різних режимів термічної обробки сплаву Al-5,5%Mg-2,5%Zn з добавкою міді у кількості 0,35% на його структуру та механічні властивості. Встановлено, що за рахунок оптимізації температурного режиму під гартування досліджуваних сплавів можна досягти повного розчинення міді у кількості до 0,35% в алюмінієвому твердому розчині, що сприяє суттєвому зміцненню сплавів після штучного старіння. Оптимальний режим термічної обробки досліджуваного сплаву наступний:

– двохступінчастий нагрів під гартування: 430 °С, 5 г. + 520 °С, 15 г. – двохступінчасте

старіння: 80 °С, 8 г. + 170 °С, 2 г.

Механічні властивості сплаву Al-5,5%Mg-2,5%Zn-0,35%Cu після даної термічної обробки наступні:  $\sigma_b = 407$  МПа,  $\sigma_{0,2} = 353$  МПа,  $\delta = 6,2$  %.

2. Модифікування сплаву Al-5,5%Mg-2,5%Zn-0,35%Cu лігатурою AlC0,8Ti0,7 додатково підвищує рівень його механічних властивостей. При вмісті лігатури 0,7% після старіння за режимом: 80 °С, 8 г. +170 °С, 2 г. характеристики міцності досліджуємого сплаву досягають максимальних значень:  $\sigma_b=456$  МПа,  $\sigma_{0,2} = 373$  МПа,  $\delta = 7,3$  %.

- [1] Н.А. Белов, Ю.В. Евсеев, В.С. Золотаревский // *Изв. АН СССР. Металлы*, **6**, сс.151-157 (1985).
- [2] О.М. Бялик, Л.В. Голуб, К.Ю. Гзовський, А.А. Кулініч // *Металознавство та обробка металів*, **4**, сс. 58-63 (1999).
- [3] Н.С. Постников. *Упрочнение алюминиевых сплавов и отливок*. М.: Металлургия, 118 с. (1983).

О.М. Bylik, A.N. Doniy, A.A. Kulinich, K.G. Gzovsky

### Optimization of Modes Heat Treatment of an Alloy Al-5,5%Mg-2,5%Zn Alloying of Copper

*Institute of Semiconductor Physics NAS of Ukraine,  
prospect Nauki 45, Kyiv, 03028*

The influence of different modes heat treatment on phase structure, structure and mechanical properties of a foundry alloy Al-5,5%Mg-2,5%Zn by the component of copper in an amount 0,35% is investigated. The positive influence of the copper and alloying composition AlC0,8Ti0,7 on a level of mechanical properties of a researched alloy is shown. For the given alloy the mode heat treatment is recommended which allows to raise a level of mechanical properties, in comparison with a used standard mode.