

УДК 661.74:669.14.046.554

Кулініч А. А.

МЕХАНІЧНІ І ЛИВАРНІ ВЛАСТИВОСТІ СПЛАВУ АМг10 З ДОБАВКАМИ ВУГЛЕЦЮ, ТИТАНУ І ТАНТАЛУ

Сплав АМг10 відноситься до ливарних сплавів системи Al–Mg з підвищеним вмістом магнію і характеризується високим, але нестабільним рівнем механічних властивостей [1–5]. Даний сплав використовується в суднобудуванні та інших галузях для отримання деталей які працюють у вологій атмосфері, в прісній і морській воді.

Для подальшого розширення галузей використання даного сплаву бажано стабілізувати та підвищити рівень механічних і ливарних властивостей даного сплаву.

Одним з можливих варіантів підвищення рівня механічних та ливарних властивостей ливарних сплавів системи Al–Mg є модифікування їх карбідами перехідних металів. Можливість модифікування алюмінію та сплавів на його основі карбідами перехідних металів зазначалася в роботах [6–8]. Але для промислових магнелітів дане питання потребує додаткового вивчення. Перспективним виглядає комплексне мікролегування даного сплаву компонентами які б підвищували властивості сплаву як при кімнатних так і при підвищених температурах. Одним з таких компонентів може слугувати тантал, але ефективність його мікролегування в поєднанні з добавками вуглецю і титану потребує експериментальної перевірки.

Мета даної роботи – встановити вплив добавок вуглецю, титану і танталу на структуру, механічні та ливарні властивості промислового сплаву АМг10.

Об'єкт дослідження в роботі – промислові ливарні сплави системи Al – Mg: АМг10. Хімічний склад сплаву наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Хімічний склад досліджуваного сплаву

Марка сплаву	Основні компоненти, %				Максимальний вміст домішок, %	
	Mg	Be	Zr	Ti	Fe	Si
АМг10	9,5–10,5	0,05–0,15	0,05–0,20	0,05–0,15	0,20	0,20

Плавки проводили в лабораторній печі опору в графітошамотному тиглі. Використовували наступні шихтові матеріали: алюміній марки А99, лігатури Al–Mg, Al–Zr, Al–Be, Al–Ti, AlC_{0,9}Ti_{0,8} (вміст вуглецю – 0,9 %, титану – 0,8 %).

В тиглі розплавляли алюміній та лігатуру Al–Be. Після їх розплавлення, при температурі 690 °С, вводили лігатури Al–Ta, Al–Zr, Al–Ti, AlC_{0,9}Ti_{0,8}. 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 (MgCl₂KCl) та 15 % фтористого кальцію. Після цього розплав розливали у металеву виливницю.

Стандартні зразки діаметром 10 мм сплаву АМг10, мікролегованого вуглецем, титаном та танталом, піддавали термічній обробці за режимом Т4 (нагрів зразків в муфельних печах електроопору до температур 430 ± 10 °С, витримка при цій температурі протягом 20 г, гартування у воду підігріту до 80–100 °С) і після цього вимірювали рівень механічних властивостей (тимчасовий опір розриву, межу плинності, відносне видовження).

Серед ливарних властивостей вимірювали рідкотекучість за допомогою метода пруткової проби та схильність сплавів до утворення гарячих тріщин в виливках за допомогою метода встановлення гарячеламкості по ширині кільця. В обох випадках температура заливки розплаву дорівнювала 700 °С.

Попередні дослідження показали, що оптимальний вміст лігатури AlC0,9Ti0,8 в сплаві АМг10 не перевищує 1 % за масою, а оптимальний вміст танталу в даному сплаві знаходиться в межах 0,05–0,15 %. Враховуючи це, в даній роботі досліджено вплив модифікування лігатурою AlC0,9Ti0,8 вмістом до 1,0 % на структуру, механічні та ливарні властивості сплаву АМг10. Також для деяких сплавів досліджено сумісний вплив лігатури AlC0,9Ti0,8 вмістом до 1,0 % та танталу з постійним вмістом 0,1 % на структуру, механічні та ливарні властивості.

З експериментальних даних наведених на рис. 1 можна зробити висновок, що введення в сплав комплексу вуглецю і титану, за допомогою лігатури AlC0,9Ti0,8 , суттєво підвищує рівень його механічних властивостей. Встановлено, що оптимальний вміст даної лігатури в досліджуваному сплаві – 0,4 %.

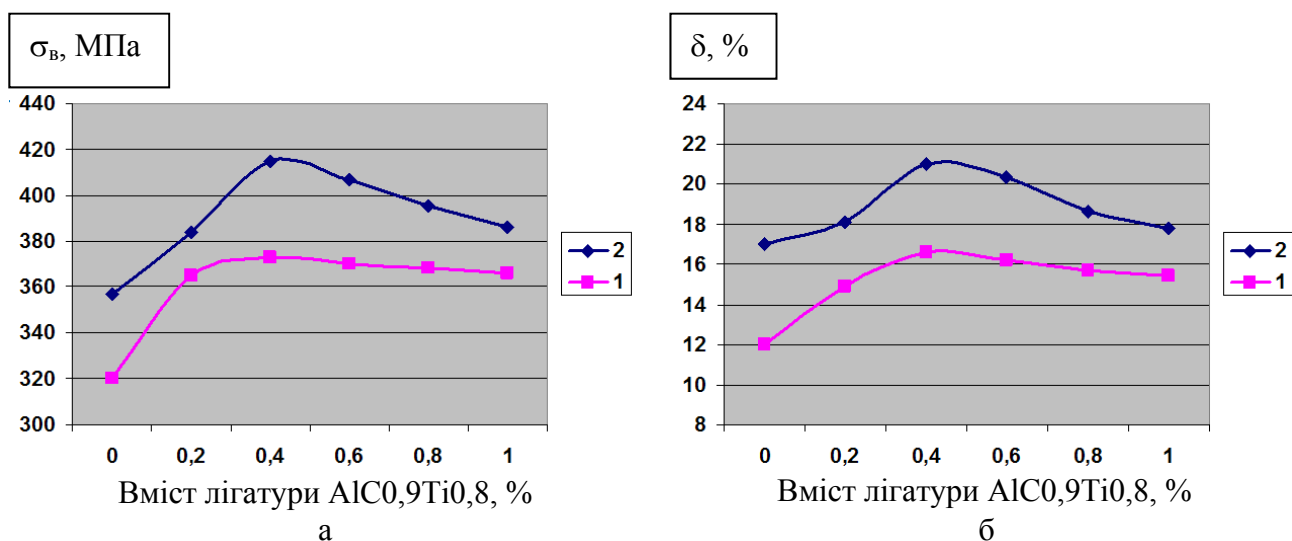


Рис. 1. Вплив лігатури AlC0,9Ti0,8 та танталу на механічні властивості сплаву АМг10: а – тимчасовий опір розриву; б – відносне видовження; 1 – сплав АМг10 з лігатурою AlC0,9Ti0,8 ; 2 – сплав АМг10 з лігатурою AlC0,9Ti0,8 та 0,1 % Та

Згідно вимогам ДСТУ 2839 – 94, сплав АМг10 після лиття в кокіль та наступної термічної обробки за режимом Т4 повинен мати рівень механічних властивостей не нижче ніж: $\sigma_b = 320$ МПа, $\delta = 12,0$ %.

При введенні в досліджуваний сплав лігатури AlC0,9Ti0,8 вмістом 0,4 % рівень механічних властивостей сплаву досягає наступних значень: $\sigma_b = 373$ Мпа, $\delta = 16,6$ % (значення тимчасового опору розриву підвищуються на 53 МПа або на 16 %, значення відносного видовження підвищуються на 4,6 од. або на 38 %).

На рис. 2 наведено залежність розміру зерна алюмінієвого твердого розчину сплаву АМг10 від вмісту лігатури AlC0,9Ti0,8 .

З даних наведених на рис. 2 видно, що при введенні лігатури AlC0,9Ti0,8 в даний сплав зменшується середній розмір зерна алюмінієвого твердого розчину. Максимальний ефект подрібнення зерна спостерігається при вмісті 0,4 % лігатури в сплаві АМг10 (розмір зерна зменшується з 241 до 133 мкм (або на 45 %)).

Зменшення розміру зерна сплаву АМг10 при введенні модифікуючої лігатури AlC0,9Ti0,8 можна пояснити наявністю в даній лігатурі великої кількості часток карбідів титану (ізоморфних зародків кристалізації) які виступають в якості додаткових центрів кристалізації.

Модифікування лігатурою $\text{AlC}_{0,9}\text{Ti}_{0,8}$ даного сплаву усуває утворення жорсткого дендритного каркасу в початковій фазі кристалізації, що дає змогу підживлювати виливки з прибуткової частини. Як наслідок підвищуються технологічні властивості сплаву (рис. 3).

З рис. 3 видно, що модифікування сплаву AMg_{10} лігатурою $\text{AlC}_{0,9}\text{Ti}_{0,8}$ у кількості 0,4 % призведе до підвищення рідкотекучості (пруткова проба) з 270,0 мм. до 300,0 мм (або на 11 %) і зниження схильності сплаву до утворення гарячих тріщин (показник гарячеламкості (ширина кільця) знижується з 12,5 мм до 12,0 мм).

При введенні в досліджуваний сплав танталу вмістом 0,1 % рівень механічних властивостей сплаву досягає наступних значень: $\sigma_b = 357$ МПа, $\delta = 17,0$ % (значення тимчасового опору розриву підвищуються на 37 МПа або на 11 %, значення відносного видовження підвищуються на 5 од. або на 41 %) (рис. 1).

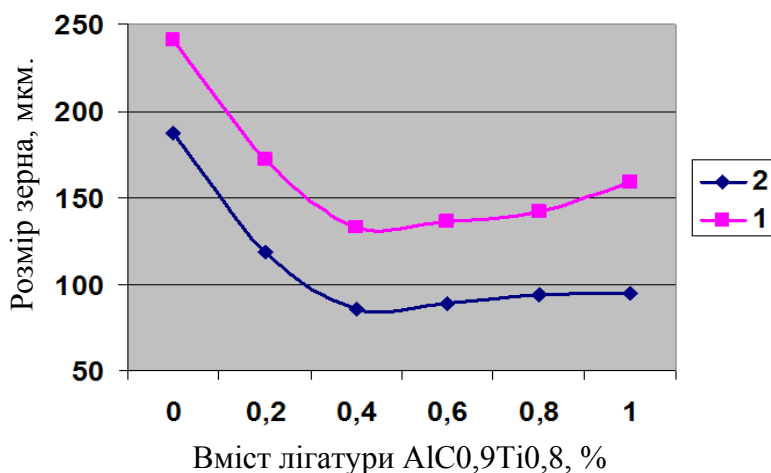


Рис. 2. Вплив лігатури $\text{AlC}_{0,9}\text{Ti}_{0,8}$ та танталу на розмір зерна сплаву AMg_{10} :

1 – сплав AMg_{10} з лігатурою $\text{AlC}_{0,9}\text{Ti}_{0,8}$; 2 – сплав AMg_{10} з лігатурою $\text{AlC}_{0,9}\text{Ti}_{0,8}$ та 0,1 % Ta

Отримані результати можна пояснити тим, що частина танталу, розчиняючись в твердому розчині, забезпечує твердорозчинне зміцнення сплаву, а інша частина танталу присутня в сплаві у виді фази Al_3Ta . Інтерметалідні частинки фази Al_3Ta під час кристалізації сплаву виступають у якості додаткових центрів кристалізації зерен алюмінієвого твердого розчину та суттєво впливають на подрібнення зернистої структури і, відповідно на одночасне підвищення як тимчасового опору розриву так і відносного видовження.

Так з даних наведених на рис. 2 видно, що при введенні в сплав AMg_{10} танталу вмістом 0,1 % розмір зерна зменшується з 241 до 187 мкм (або на 22 %).

Введення танталу підвищує і ливарні властивості досліджуваного сплаву.

З рис. 3 видно, що модифікування сплаву AMg_{10} танталом у кількості 0,1 % призведе до підвищення рідкотекучості (пруткова проба) з 270,0 мм "до 290,0 мм" (або на 7 %) і зниження схильності сплаву до утворення гарячих тріщин (показник гарячеламкості (ширина кільця) знижується з 12,5 мм до 12,0 мм).

Експериментально встановлено, що особливо ефективно впливає на підвищення властивостей сплаву AMg_{10} сумісне введення добавок вуглецю, титану і танталу.

При сумісному введенні в досліджуваний сплав танталу вмістом 0,1 % та лігатури $\text{AlC}_{0,9}\text{Ti}_{0,8}$ вмістом 0,4 % рівень механічних властивостей сплаву досягає наступних значень: $\sigma_b = 415$ МПа, $\delta = 21,0$ % (значення тимчасового опору розриву підвищуються на 95 МПа або на 30 %, значення відносного видовження підвищуються на 9 од. або на 70 %) (рис. 1).

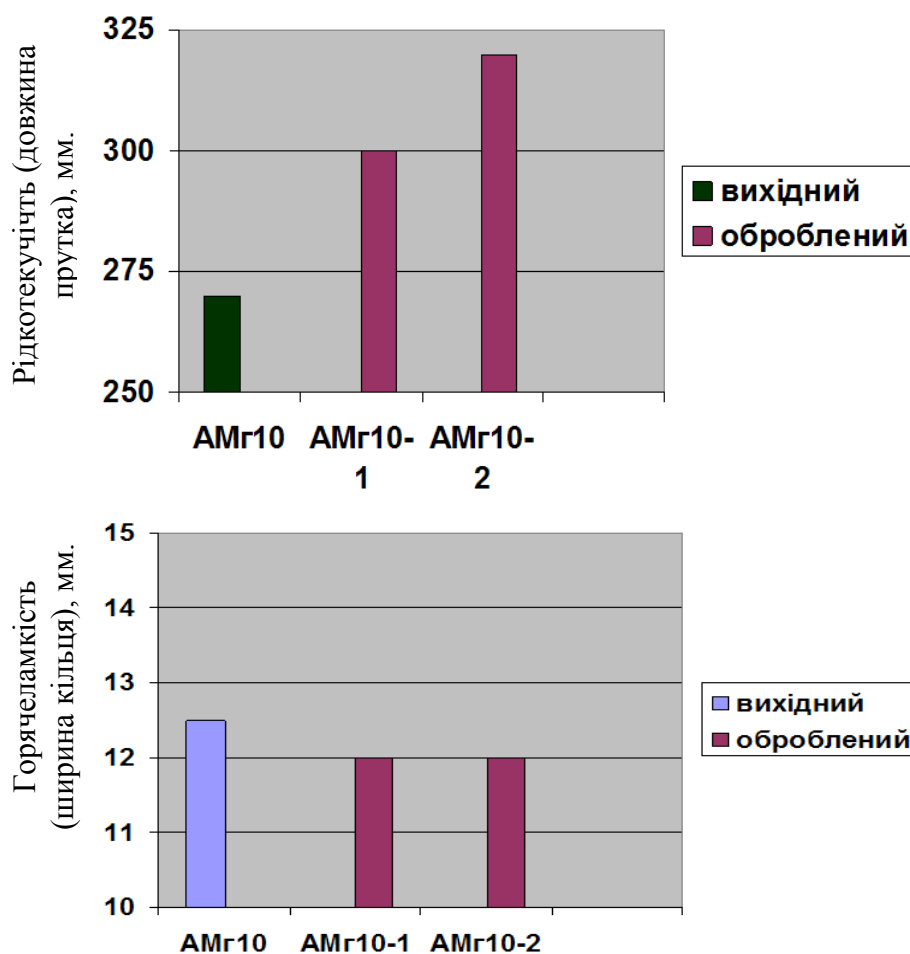


Рис. 3. Вплив лігатури $AlC_{0,9}Ti_{0,8}$ та танталу на ливарні властивості сплаву AMg10: 1 – сплав AMg10 з лігатурою $AlC_{0,9}Ti_{0,8}$; 2 – сплав AMg10 з лігатурою $AlC_{0,9}Ti_{0,8}$ та 0,1 % Ta

При сумісному введенні в досліджуваний сплав танталу вмістом 0,1 % та лігатури $AlC_{0,9}Ti_{0,8}$ вмістом 0,4 % розмір зерна зменшується з 241 до 86 мкм (або на 64 %) (рис. 2).

Введення танталу та лігатури $AlC_{0,9}Ti_{0,8}$ в оптимальних кількостях підвищує, також, і ливарні властивості сплаву: рідкотекучість (пруткова проба) підвищується з 270,0 мм до 320,0 мм (або на 18 %), показник гарячеламкості (ширина кільця) знижується з 12,5 мм до 12,0 мм (рис. 3).

ВИСНОВКИ

Встановлено вплив добавок вуглецю, титану і танталу на структуру, механічні та ливарні властивості промислового сплаву AMg10.

При введенні в досліджуваний сплав вуглецю і титану за допомогою лігатури $AlC_{0,9}Ti_{0,8}$ вмістом 0,4 % значення тимчасового опору розриву підвищуються на 16 %, значення відносного видовження підвищуються на 38 %, зменшується середній розмір зерна алюмінієвого твердого розчину на 45 %.

Модифікуючу здатність лігатури $AlC_{0,9}Ti_{0,8}$ можна пояснити наявністю в даній лігатурі великої кількості часток карбідів титану (ізоморфних зародків кристалізації) які виступають в якості додаткових центрів кристалізації. Введення даної лігатури усуває утворення жорсткого дендритного каркасу в початковій фазі кристалізації, що дає змогу підживлювати виливки з прибуткової частини. Як наслідок підвищуються ливарні властивості

сплаву. Введення лігатури $AlC0,9Ti0,8$ у кількості 0,4 % призведе до підвищення рідкотекучості (пруткова проба) на 11 % і зниження показника гарячеламкості (ширина кільця) з 12,5 мм до 12,0 мм.

При введенні в сплав $AMg10$ танталу вмістом 0,1 % значення тимчасового опору розриву підвищуються на 11 %, значення відносного видовження підвищуються на 41 %, зменшується середній розмір зерна алюмінієвого твердого розчину на 22 %. Частина танталу, розчиняючись в твердому розчині, забезпечує твердорозчинне зміцнення сплаву, а інша частина танталу присутня в сплаві у виді фази Al_3Ta . Інтерметалідні частинки фази Al_3Ta під час кристалізації сплаву виступають у якості додаткових центрів кристалізації зерен алюмінієвого твердого розчину та суттєво впливають на подрібнення зернистої структури і, відповідно на одночасне підвищення як тимчасового опору розриву так і відносного видовження.

Введення танталу у кількості 0,1 % призведе до підвищення рідкотекучості (пруткова проба) на 7 % і зниження показника гарячеламкості (ширина кільця) з 12,5 мм до 12,0 мм.

Найбільший ефект на властивості досліджуваного сплаву досягається сумісним введенням танталу вмістом 0,1 % та лігатури $AlC0,9Ti0,8$ вмістом 0,4 %. При цьому значення тимчасового опору розриву підвищуються на 30 %, значення відносного видовження підвищуються на 70 %, зменшується середній розмір зерна алюмінієвого твердого розчину на 64 %.

Введення танталу у кількості 0,1 % та лігатури $AlC0,9Ti0,8$ у кількості 0,4 % призведе до підвищення рідкотекучості (пруткова проба) на 18 % і зниження показника гарячеламкості (ширина кільця) з 12,5 мм до 12,0 мм.

Перспектива подальших досліджень у даному напрямку полягає в встановленні впливу мікролегування вуглецем, титаном і танталом на структуру і властивості даного сплаву після тривалого природного старіння та на характеристики жароміцності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Золотаревский В. С. *Металловедение литейных алюминиевых сплавов* / В. С. Золотаревский, Н. А. Белов – М. : МИСИС, 2005. – 375 с.
2. *Машиностроение. Энциклопедия. Цветные металлы и сплавы. Композиционные металлические материалы. Т. II / под общ. ред. И. Н. Фридляндера.* – М. : Металлургия, 2001. – 880 с.
3. Постников Н. С. *Коррозионностойкие алюминиевые сплавы* / Н. С. Постников – М. : Металлургия, 1976. – 303 с.
4. Колобнев И. Ф. *Жаропрочность литейных алюминиевых сплавов* / И. Ф. Колобнев – М. : Металлургия, 1973. – 320 с.
5. Мондольфо Л. Ф. *Структура и свойства алюминиевых сплавов* / Л. Ф. Мондольфо – М. : Металлургия, 1979. – 640 с.
6. Бялик О. М. Модифікування сплаву $AK12M2MgH$ лігатурою $AlTi0,6C0,1$ / О. М. Бялік, Л. В. Голуб, К. Ю. Гзовський – *Матеріали міжнародної науково технічної конференції «Виробництво сталі у 21 віці. Прогноз, процеси, технології, екологія»*.
7. Бялик О. М. Модифікування сплаву $AK4,5Kd$ лігатурою $AlTi0,7C0,2$ / О. М. Бялік, Л. В. Голуб, К. Ю. Гзовський, А. А. Кулінич // *Металознавство та обробка металів.* – 1999. – № 4. – С. 58–63.
8. Гзовский К. Ю. *Микролегирующие алюминиевых сплавов Al-Ti-C-лигатурой* / К. Ю. Гзовский, О. М. Бялик, Л. В. Голуб, А. А. Кулинич // *Литейное производство.* – 2001. – № 4. – С. 15–17.