

УДК 661.74:669.14.046.554

А. А. Кулініч, к.т.н.
О. М. Доній, к.т.н.
С. М. Котляр
І.А. Поляков

ВПЛИВ ДОМІШКОВИХ ТА МІКРОЛЕГУЮЧИХ КОМПОНЕНТІВ НА ФАЗОВИЙ СКЛАД, СТРУКТУРУ ТА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СПЛАВУ АМг6л

Національний технічний університет України „КПІ”, e-mail: s.kotlyar@kpi.ua

Досліджено вплив домішок заліза, кремнію і берилію на фазовий склад, структуру та механічні властивості сплаву АМг6л після лиття в кокіль. Встановлено, що можна підвищити вміст домішок заліза і кремнію в досліджуваному сплаві з 0,2 до 0,5 % кожного при умові підвищення вмісту берилію в даному сплаві до (0,25 – 0,3) %. При виконанні цієї умови рівень механічних властивостей сплаву АМг6л буде відповідати вимогам державного стандарту до даного сплаву.

Ключові слова: сплав АМг6л, домішки заліза, кремнію і берилію, фазовий склад.

Аналіз досліджень та публікацій

Сплав АМг6л належить до ливарних сплавів системи Al – Mg і характеризується високим рівнем корозійної стійкості, пластичності, в'язкості. Даний сплав використовується в суднобудуванні та інших галузях для отримання деталей які працюють у вологій атмосфері, в пресній і морській воді [1 – 3].

В даному сплаві, згідно ДСТУ 2839 – 94, вміст домішок заліза і кремнію не повинен перевищувати 0,2 % кожного. Але, якщо використовувати для виробництва даного сплаву технічний алюміній, лом і відходи алюмінієвих сплавів, з метою зниження собівартості його виробництва, можливе підвищення вмісту в сплаві АМг6л домішок заліза і кремнію.

Головною шкідливою домішкою даної групи сплавів, що знижує рівень механічних властивостей, є кремній. Але, не зважаючи на зазначене, домішки кремнію вводять в окремі сплави системи Al-Mg (такі як АМг7, АМг11) з метою поліпшення ливарних властивостей – підвищення рідиннотекучості та зниження схильності сплавів до утворення горячих тріщин під час кристалізації [2, 4].

Одним з засобів нейтралізації шкідливого впливу домішок заліза є мікролегування сплавів. Так, в ливарних алюмінієвих сплавах при мікролегуванні їх берилієм, замість фази FeAl₃, можливо утворення більш компактної, глобулярної фази Al₄Fe₂Be₅, яка менш інтенсивно знижує рівень механічних властивостей сплавів [4, 5].

Для встановлення можливості отримання зі сплаву АМг6л, який містить підвищену кількість домішок заліза і кремнію, зразків з високим рівнем механічних властивостей, потрібно детально дослідити вплив даних домішок та добавок берилію на фазовий склад, структуру і механічні властивості даного сплаву.

Постановка задачі у загальному вигляді

В даній роботі досліджується вплив добавок берилію на фазовий склад, структуру та механічні властивості ливарного сплаву АМг6л з підвищеним вмістом заліза і кремнію з метою виявлення можливостей підвищення вмісту заліза в ливарних сплавах системи Al – Mg без суттєвого зниження рівня їх механічних властивостей.

Відповідно, мета роботи – дослідити вплив добавок берилію вмістом до 0,5 % на фазовий склад, структуру та рівень механічних властивостей ливарного сплаву АМг6л з вмістом домішок заліза і кремнію до 2,0 % кожного після лиття в кокіль.

Методика досліджень

Об'єкт дослідження в даній роботі – ливарний сплав АМг6л. Хімічний склад даного сплаву змінювали в наступних межах: Mg = 6 – 7 %, Zr = 0,15 %, Be = 0,05 %, Ti = 0,1 %. Вміст домішок в сплаві: Mn ≤ 0,05 %, Cu ≤ 0,03 %, Zn ≤ 0,06 %. Додатково вводили домішки заліза і кремнію, з використанням подвійної алюмінієвої лігатури, вмістом до 2 % кожного.

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,

Al – Fe, Al – Si. В тиглі розплавляли алюміній та лігатуру Al – Be. Після їх розплавлення, при температурі 690 °С, вводили лігатури Al – Zr, Al – Ti, Al – Fe, Al – Si. 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 (MgCl₂-KCl) та 15 % фтористого кальцію. Після цього розплав розливали в металеву виливницю.

На отриманих стандартних зразках діаметром 10 мм визначали механічні властивості досліджуваних сплавів (тимчасовий опір розриву, межу плинності, відносне подовження).

Випробування механічних властивостей проводились на розривній машині TIRA – TEST за стандартними методиками. Середні квадратичні відхилення значень механічних властивостей знаходились в межах: $\sigma_B \pm 20$ МПа, $\sigma_{0,2} \pm 10$ МПа, $\delta \pm 15\%$.

Мікрорентгеноспектральний аналіз проводили з використанням растрового електронного мікроскопу РЕММА – 101А. Хімічний аналіз зразків досліджуваних сплавів проводили використовуючи метод оптичної спектроскопії випаровуючим розрядом.

Якісний та кількісний металографічний аналіз виконано на мікроскопі NEOFOT – 31. Рентгенографічне дослідження проводили в Cu –характеристичному випромінюванні з застосуванням дифрактометру ДРОН – 413.

Експериментальна частина

На першому етапі досліджень встановлено вплив домішок заліза і кремнію вмістом до 2 % кожного на фазовий склад, структуру та механічні властивості сплаву АМгбл після лиття в кокінь.

За даними рентгенофазового, рентгеноспектрального та термічного аналізів фазовий склад досліджуваного сплаву після лиття в кокінь складається з алюмінієвого твердого розчину (α_{Al}) та фаз β (Al₃Mg₂), FeAl₃, Mg₂Si. Хімічний склад фаз, що утворюються в досліджуваному сплаві при кристалізації, наведено в табл. 1. Мікроструктури сплаву АМгбл після лиття в кокінь наведено на рис. 1.

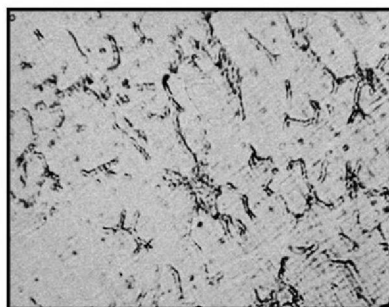
Структура сплаву АМгбл після лиття в кокінь складається з зерен алюмінієвого твердого розчину та виділень часток фази β (Al₃Mg₂), які розташовуються по границях зерен або дендритних комірок (рис. 1, а). Також, в структурі присутні частки фази FeAl₃, які мають пластинчасту форму і розташовуються в середині зерен або перетинають їх границі та частки фази Mg₂Si (що мають розгалужену морфологію) які розташовані по межах зерен або дендритних комірок (рис. 1, б).

Залежність механічних властивостей сплаву АМгбл від вмісту домішок заліза і кремнію після лиття в кокінь наведено в табл. 2. З даної таблиці видно, що при збільшенні сумарного вмісту заліза і кремнію в даному сплаві з 0,1 до 4 % спостерігається суттєве зниження рівня його механічних властивостей, особливо пластичності. Так при підвищенні сумарного вмісту заліза і кремнію з 0,1 % до 4 % значення тимчасового опору розриву сплаву АМгбл знижується на 46 МПа (з 248 до 202 МПа), а значення відносного видовження знижуються в 8,5 рази (з 12,0 до 1,4 %).

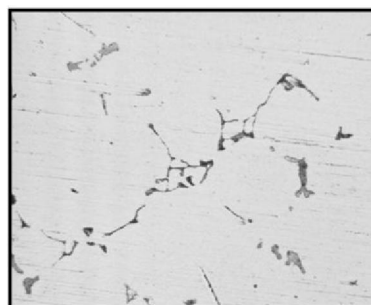
Таблиця 1
Хімічний склад надлишкових фаз в
сплаві АМгбл

Формула фази	Fe	Mg	Si
(Al ₃ Mg ₂)	-	35-38	-
FeAl ₃	38-40	-	-
Mg ₂ Si	-	62	38

Примітка – інше алюміній



а



б

Рис. 1 Мікроструктура сплаву АМгбл з домішками заліза і кремнію після лиття в кокінь. а, б – X 500

Таблиця 2

Вплив домішок заліза і кремнію на механічні властивості сплаву АМГбл після лиття (6,5%Mg)

Вміст домішок, % мас.		Механічні властивості	
Si	Fe	σ_B , МПа	δ ,%
0,05	0,05	248	12
0,2	0,2	230	8
0,5	0,5	217	5,6
1	1	211	3,8
1,5	1,5	209	2,2
2	2	202	1,4

На другому етапі досліджень встановлено вплив берилію на фазовий склад, структуру та механічні властивості сплаву АМГбл з домішками заліза (0,5 %) і кремнію (0,5 %). Вміст домішок заліза і кремнію в даному сплаві обмежено по 0,5 % кожного з метою збереження високого рівня механічних властивостей досліджуваного сплаву. Як показано вище, це є максимальний вміст домішок заліза і кремнію при якому рівень механічних властивостей сплаву АМГбл наближається до рівня механічних властивостей даного сплаву встановленого державним стандартом. Вміст магнію в сплаві змінювали в межах 6,0 – 6,5 %.

Згідно даним рентгеноструктурного аналізу при вмісті кремнію 0,5 % в сплаві АМГбл з домішками заліза 0,5 % утворюється лише одна кремніймістка фаза – Mg_2Si . Таким чином, можна зробити висновок, що в даному сплаві кремній не утворює надлишкових фаз разом з залізом і берилієм.

Згідно даним мікрорентгеноспектрального аналізу хімічний склад та формула залізомістких фаз, що утворюються в сплаві АМГбл з домішками заліза вмістом 0,5 %, кремнію 0,5 % і берилію вмістом від 0,05 до 0,5 % наведено в табл. 3. Залежність виду залізомістких фаз від вмісту берилію в сплаві АМГбл наведено в табл. 4.

Таблиця 3

Формула та хімічний склад залізомістких фаз в сплаві АМГбл з добавками заліза та берилію

Хімічний склад фази, % мас.			Формула фази
Al	Fe	Be	
60 – 62	38 – 40	–	$FeAl_3$
39 – 42	39 – 41	19 – 20	$Al_4Fe_2Be_5$
23 – 28	39 – 42	33 – 35	$AlFeBe_4$

З даних наведених в табл. 3 і 4 видно, що в досліджуваному сплаві при вмісті заліза 0,5 % і берилію від 0,05 до 0,5% від маси сплаву можливе утворення трьох залізомістких фаз: $FeAl_3$, $Al_4Fe_2Be_5$, $AlFeBe_4$.

Встановлено вплив співвідношення вмісту заліза і берилію на фазовий склад та структуру досліджуваного сплаву:

1. В сплаві АМГбл, при відсутності берилію, утворюється лише одна залізомістка фаза – $FeAl_3$. Фазовий склад даного сплаву після лиття – α -твердий розчин магнію в алюмінії, фази $\beta(Al_3Mg_2)$, $FeAl_3$ та Mg_2Si .

Таблиця 4

Вплив вмісту заліза та берилію на вид залізомістких фаз в сплаві АМГбл з 0,5 % Si

Вміст добавок у сплаві, % мас.		Формула залізомісткої фази
Fe	Be	
0,5	–	$FeAl_3$
0,5	0,05	$FeAl_3$
0,5	0,1	$FeAl_3$
0,5	0,2	$FeAl_3, Al_4Fe_2Be_5$
0,5	0,3	$Al_4Fe_2Be_5$
0,5	0,4	$Al_4Fe_2Be_5, AlFeBe_4$
0,5	0,5	$AlFeBe_4$

2. В досліджуваному сплаві, що додатково містить залізо у кількості 0,5 %, при вмісті берилію в межах $0,05 \% \leq Be \leq 0,15 \%$, також, утворюється лише одна залізомістка фаза – $FeAl_3$. Якщо в даному сплаві вміст берилію знаходиться в межах $0,2 \% \leq Be \leq 0,3 \%$ крім фази

FeAl₃ (рис. 2, а), утворюється нова фаза - Al₄Fe₂Be₅, яка має невеликі розміри і компактну морфологію (рис. 2, б).

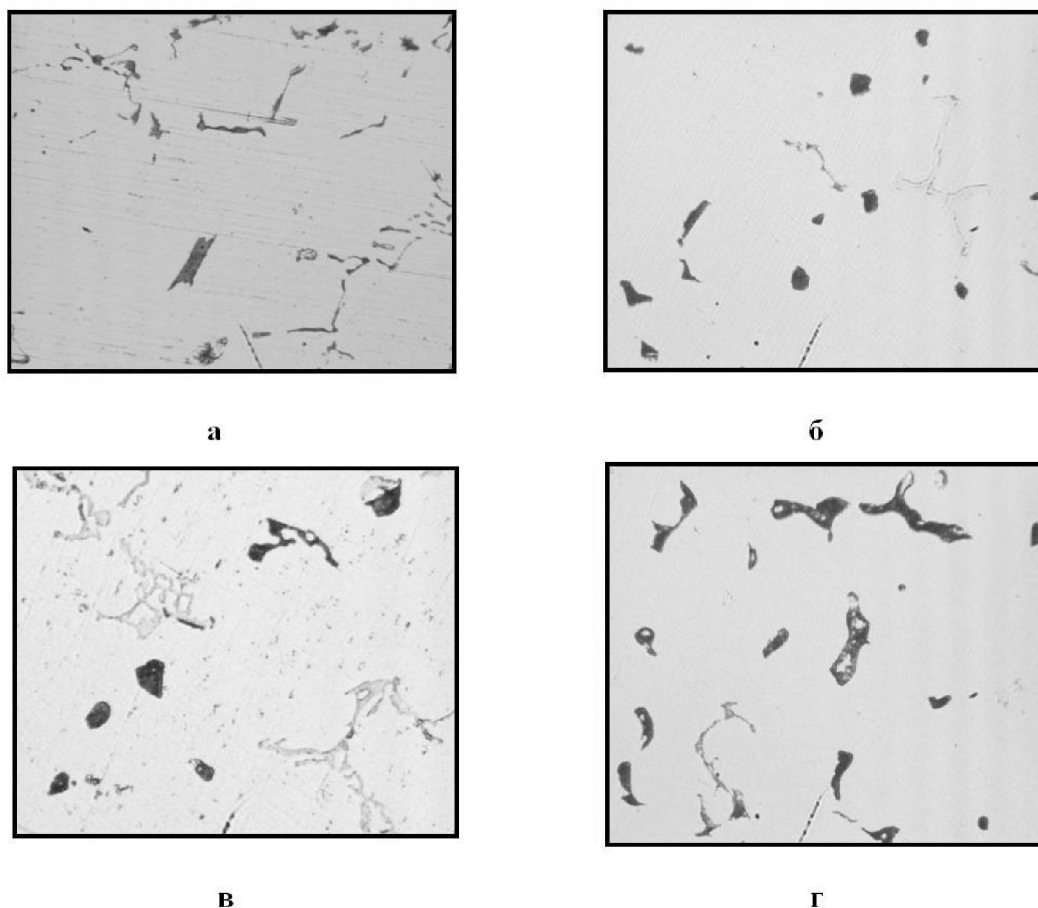


Рис. 2. Структура сплаву АМгбл з добавками заліза (0,05 %) та берилію: а – 0,07 % Ве; б – 0,25 % Ве; в – 0,4 % Ве; г – 0,5 % Ве. а, б, в, г – X 500

3. При вмісті берилію в межах $0,3 < \text{Be} < 0,5$ % утворюються фази Al₄Fe₂Be₅ та AlFeBe₄ (рис. 2, в). Фаза Al₄Fe₂Be₅ має компактну морфологію, але її розміри дещо збільшуються, фаза AlFeBe₄ характеризується великими розмірами і розгалуженою морфологією, що призведе до зниження рівня механічних властивостей, особливо пластичності (табл. 5). При збільшенні вмісту берилію з 0,3 % до 0,5 % кількість часток фази Al₄Fe₂Be₅ зменшується, а кількість часток фази AlFeBe₄ збільшується.

4. Встановлено, що для сплаву АМгбл, з домішками заліза у кількості 0,5 %, введення берилію у кількості 0,5 % (що відповідає співвідношенню Be/Fe = 0,5) призведе до утворення однієї залізомісткої фази – AlFeBe₄. Дана фаза, порівняно з фазою Al₄Fe₂Be₅, має великі розміри і розгалужену морфологію, що впливає на зниження рівня механічних властивостей досліджуваного сплаву, особливо пластичності (табл. 5).

Таблиця 5

Вплив берилію на механічні властивості сплаву АМгбл з домішками заліза (0,5 %) і кремнію (0,5) після лиття в кокіль

Вміст добавок у сплаві, % мас.		Механічні властивості		Вид залізомісткої фази
Fe	Be	σ _в , МПа	δ, %	
0,5	0	217	5,6	–
0,5	0,05	217	5,7	FeAl ₃
0,5	0,1	218	5,8	FeAl ₃
0,5	0,2	219	5,9	FeAl ₃ , Al ₄ Fe ₂ Be ₅
0,5	0,3	221	6,2	Al ₄ Fe ₂ Be ₅
0,5	0,4	220	5,8	Al ₄ Fe ₂ Be ₅ , AlFeBe ₄
0,5	0,5	218	5,7	AlFeBe ₄

Згідно вимогам ДСТУ 2839 – 94, сплав АМгбл після лиття в кокіль повинен мати рівень механічних властивостей не нижче ніж: $\sigma_b = 216$ МПа, $\delta = 6$ %. Аналізуючи отримані експериментальні дані можна зробити висновок, що вимогам державного стандарту до рівня механічних властивостей досліджуваного сплаву відповідають, зокрема, сплави з вмістом заліза 0,5 % і берилію (0,25 – 0,3) % (табл. 6).

Таблиця 6

Механічні властивості сплаву АМгбл

Марка сплаву	Спосіб лиття	Вид термічної обробки	σ_b , МПа	δ , %
Дані згідно ДСТУ2839-94				
АМгбл	К	–	216 – 220	6,2 – 6,3
Властивості сплаву АМгбл з (0,25 – 0,3) % Ве				
АМгбл	К	–	221 – 223	6,0 – 6,4

Таким чином, експериментально встановлено, що для сплаву АМгбл, що використовується після литва в кокіль, можливо підвищити вміст домішок заліза і кремнію з 0,2 до 0,5 % кожного, при збереженні рівня механічних властивостей, відповідно вимогам ДСТУ 2839 – 94, при умові що в сплаві вміст берилію знаходиться в межах (0,25 – 0,3) %.

Висновки

Встановлено сумісний вплив домішок заліза і кремнію вмістом до 2 % кожного на фазовий склад, структуру та механічні властивості сплаву АМгбл після лиття в кокіль. При збільшенні в сплаві АМгбл сумарного вмісту заліза і кремнію з 0,1 до 4 % зростає кількість частинок фаз $FeAl_3$ та Mg_2Si , частки цих фаз укрупнюються, збільшується їх продольні і поперечні розміри, значення тимчасового опору розриву сплаву АМгбл знижується на 46 МПа (з 248 до 202 МПа), а значення відносного видовження знижуються в 8,5 рази (з 12,0 до 1,4 %).

Встановлено вплив берилію вмістом до 0,5 % на фазовий склад, структуру та механічні властивості сплаву АМгбл з домішками заліза (0,5 %) і кремнію (0,5 %). В досліджуваному сплаві при вмісті заліза 0,5 % і берилію від 0,05 до 0,5% від маси сплаву можливе утворення трьох залізомістких фаз: $FeAl_3$, $Al_4Fe_2Be_5$, $AlFeBe_4$. Фаза Al_4Fe_2Be має невеликі розміри і компакту морфологію, порівняно з фазою $FeAl_3$, що впливає на підвищення рівня механічних властивостей досліджуваного сплаву.

Для сплаву АМгбл, що використовується після литва в кокіль, можливо підвищити вміст домішок заліза і кремнію з 0,2 до 0,5 % кожного, при збереженні рівня механічних властивостей, відповідно вимогам ДСТУ 2839 – 94, при умові що в сплаві вміст берилію знаходиться в межах (0,25 – 0,3) %.

Оптимальний вміст берилію, який забезпечує максимальний рівень механічних властивостей сплаву АМгбл з 0,5 % Fe і 0,5 % Si наступний: $Be = (0,25 – 0,3)$ %. Оптимальне співвідношення заліза і берилію в сплаві – $Be/Fe \approx 0,5 – 0,6$.

Перспективність подальших досліджень у даному напрямку полягає в можливості встановлення впливу добавок берилію на фазовий склад, структуру і рівень механічних властивостей інших промислових ливарних сплавів системи Al – Mg з підвищеним вмістом домішок заліза.

Список літературних джерел

1. Машиностроение. Энциклопедия. Цветные металлы и сплавы. Композиционные металлические материалы. Т. II / Под общ. ред И. Н. Фридляндера. – М.: Металлургия, 2001. – 880с.
2. Постников Н. С. Коррозионностойкие алюминиевые сплавы. – М.: Металлургия, 1976. – 303 с.
3. Мондольфо Л. Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов. – М.: Металлургия, 1979. – 640 с.
4. Гаврилюк В. П., Рябініна О. О., Кулініч А. А., Доній О. М. Вплив берилію на фазово-структурний склад і механічні властивості сплаву Al-6%Mg-2%Zn з підвищеним вмістом заліза.// Наукові Вісті НТУУ «КПІ». – 2006. №3. – с. 45-48.
5. Кулініч А.А., Гаврилюк В. П., Рябініна О. О., Доній О. М. Фазово-структурний склад і механічні властивості сплаву Al-6%Mg-2%Zn-0,5%Fe-0,5%Si з добавками берилію після різних режимів відпалу.// Наукові Вісті НТУУ «КПІ». – 2007. №3. – с. 101-104.