

## Структура і фізико-механічні властивості сплаву системи Al – Mg, мікролегованого кремнієм

А.А. Кулініч\*, кандидат технічних наук

В.П. Гаврилук, член-кореспондент НАН України

О.О. Рябініна

\*Національний технічний Університет України “КПІ”, Київ

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

*Досліджено вплив домішок кремнію на фазовий склад, структуру, механічні і технологічні властивості сплаву АМгбл після лиття в кокіль і термічної обробки. Для сплаву, відлитого в кокіль, можливе підвищення вмісту кремнію до 0,5 % при збереженні високого рівня механічних і технологічних властивостей, а для сплаву, який використовується після термічної обробки, допускається підвищення вмісту кремнію до 1,0 %, за умови, що вміст магнію в сплаві знаходиться в межах 6,0 – 6,5 %.*

Домішки кремнію знижують рівень механічних властивостей ливарних сплавів системи Al – Mg. Але, не зважаючи на зазначене, кремній вводять в окремі сплави системи Al – Mg (такі як АМг7, АМг11) з метою поліпшення ливарних властивостей [1, 2].

Відмінною характеристикою ливарних сплавів системи Al – Mg є висока корозійна стійкість, пластичність, в'язкість, зварюваність. Дані сплави використовуються в суднобудуванні та інших галузях для отримання деталей які працюють у вологій атмосфері, в прісній і морській воді [1 – 4].

Сплав даної системи АМгбл відноситься до сплавів з середнім вмістом магнію. Його використовують як після лиття, так і після термічної обробки. Згідно ДСТУ 2839-94, вміст домішок кремнію в даному сплаві не повинен перевищувати 0,20 %. Але, якщо використовувати для виробництва даного сплаву технічний алюміній, лом і відходи алюмінієвих сплавів з метою зниження собівартості його виробництва можливе підвищення в сплаві вмісту кремнію.

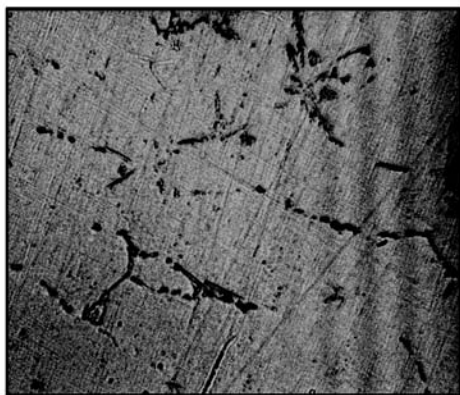
Для встановлення можливості отримання зі сплаву АМгбл з підвищеним вмістом кремнію виробів з високим рівнем механічних властивостей, потрібно дослідити вплив кремнію на його фазовий склад, структуру, механічні і технологічні властивості.

Хімічний склад даного алюмінієвого сплаву змінювали в наступних межах: Mg = 6,0 – 7,0 %, Zr = 0,15 %, Be = 0,05 %, Ti = 0,10 % (тут і далі мас. частка). Додатково вводили домішки кремнію вмістом від 0,10 до 2,0 % з використанням подвійної алюмінієвої лігатури.

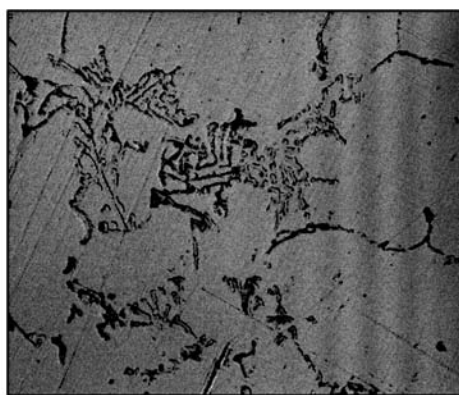
За даними рентгенофазового, рентгеноспектрального та термічного аналізів структура сплаву АМгбл після лиття в кокіль складається з зерен твердого розчину магнію в алюмінії ( $\alpha_{Al}$ ) та евтектик  $\alpha_{Al} + Mg_2Si$  і  $\alpha_{Al} + \beta (Al_3Mg_2) + Mg_2Si$ .

## Структура і фізико-механічні властивості

Згідно даних металографічного і мікрорентгеноспектрального аналізів, при вмісті в сплаві кремнію до 0,05 % кремніймістких фаз не утворюється. В концентраційному інтервалі (0,06 – 2,0) % Si, з'являється нова фаза –  $Mg_2Si$ . При збільшенні вмісту кремнію зростає кількість виділень фази  $Mg_2Si$ , спостерігається укрупнення розмірів цих виділень та зростає їх розгалуженість (рисунк).



а



б

Вплив кремнію на структуру сплаву АМгбл після лиття в кокіль. а – 0,50 % Si, б – 2,0 % Si. а, б –  $\times 400$ .

При збільшенні вмісту магнію в досліджуваному сплаві від 6,0 до 7,0 % та при постійному вмісті кремнію відбувається незначне підвищення міцності сплаву АМгбл та зниження рівня пластичності до 15 %. Зростання міцності сплаву при збільшенні вмісту в ньому магнію можна пояснити підвищенням легованості твердого розчину, а зниження пластичності можна пояснити зростанням кількості крихкої  $\beta$ -фази, яка виділяється по границях зерен.

При збільшенні вмісту домішок кремнію в досліджуваному сплаві до 0,5 % (при постійному вмісті магнію) спостерігається незначне зниження міцності та пластичності. Подальше збільшення вмісту кремнію суттєво знижує рівень механічних властивостей сплаву АМгбл. При збільшенні вмісту кремнію до 2,0 % пластичність сплаву знижується в 2,0 – 2,5 рази. Зниження міцності сплаву при збільшенні вмісту в ньому кремнію, відбувається за рахунок зменшення вмісту магнію в твердому розчині (частина магнію зв'язується в фазу  $Mg_2Si$ ), а суттєве зниження пластичності можна пояснити збільшенням кількості фази  $Mg_2Si$  по границях зерен та її укрупненням.

Встановлено оптимальне співвідношення вмісту магнію і кремнію в сплаві АМгбл, яке забезпечує рівень механічних властивостей сплаву після лиття в кокіль на рівні вимог державного стандарту. Згідно вимогам ДСТУ 2839-94, сплав АМгбл після лиття в кокіль повинен мати рівень механічних властивостей не нижче, ніж:  $\sigma_B = 216$  МПа,  $\delta = 6$  %. Цим вимогам відповідають сплави з вмістом магнію (6,0 – 6,5) % та кремнію до 0,5 %.

Встановлено, що в досліджуваному сплаві з вмістом магнію 6,0 – 6,5 % і кремнію 0,4 – 0,5 % спостерігається підвищення технологічних властивостей сплаву (табл. 1). Це пояснюється тим, що за рахунок збільшення вмісту кремнію до 0,4 – 0,5 % зростає кількість евтектик  $\alpha_{Al} + Mg_2Si$  та  $\alpha_{Al} + \beta (Al_3Mg_2) + Mg_2Si$ , які зумовлюють зростання рівня технологічних властивостей сплаву – збільшується рідкотекучість і знижується показник гарячеламкості.

## Структура і фізико-механічні властивості

Таблиця 1

Технологічні властивості сплаву АМгбл з різним вмістом магнію і кремнію

Mg, %	Si, %	Рідко текучість при 700 °С (пруткова проба), мм	Гарячеламкість (ширина кільця), мм
6,0	0,4	290,0	12,5
6,0	0,5	294,0	12,5
6,5	0,4	293,0	12,5
6,5	0,5	295,0	12,5
6,5	0,6	296,0	12,5
6,5	0,3	270,0	15,0
7,0	0,5	295,0	12,5
7,0	0,15	264,0	15,0

Вплив кремнію і магнію на механічні властивості сплаву АМгбл після лиття в кокіль і термічної обробки за режимом Т4 згідно ДСТУ 2839-94 наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Вплив кремнію і магнію на механічні властивості сплаву АМгбл після термічної обробки

Вміст компонентів, %		Механічні властивості	
Mg	Si	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %
6,0	0,1	254,0	9,3
6,0	0,5	241,0	8,9
6,0	1,0	235,0	8,2
6,0	1,5	226,0	7,6
6,0	2,0	219,0	5,7
6,5	0,1	266,0	10,2
6,5	0,5	260,0	9,6
6,5	1,0	242,0	7,4
6,5	1,5	233,0	5,9
6,5	2,0	220,0	5,3
7,0	0,1	282,0	11,7
7,0	0,5	259,0	8,6
7,0	1,0	237,0	5,8
7,0	1,5	232,0	5,2
7,0	2,0	227,0	4,9

З табл. 2 можна зробити висновок, що при збільшенні вмісту домішок кремнію в сплав до 0,5 % (при постійному вмісті магнію) спостерігається незначне зниження міцності та пластичності сплаву. Подальше збільшення вмісту кремнію суттєво знижує рівень механічних властивостей сплаву АМгбл. При збільшенні вмісту магнію та при постійному вмісті кремнію відбувається незначне підвищення міцності сплаву при суттєвому зниженні пластичності.

Згідно вимогам ДСТУ 2839-94 сплав АМгбл після термічної обробки повинен мати рівень механічних властивостей не нижче  $\sigma_B = 230$  МПа,  $\delta = 6$  %. З даних табл. 2 можна зробити висновок, що вимогам державного стандарту щодо механічних властивостей відповідають сплави з вмістом магнію 6,0 – 6,5 % та вмістом кремнію до 1,0 % включно.

## **Структура і фізико-механічні властивості**

---

Зниження пластичності сплавів з вмістом магнію 7,0 % можна пояснити збільшенням кількості крихкої  $\beta$ -фази по границях зерен. Зниження відносного видовження при збільшенні вмісту кремнію в сплаві можна пояснити зростанням кількості фази  $Mg_2Si$  та збільшенням її розмірів.

Таким чином показано, що для сплаву АМг6л, який використовується після лиття в кокиль і термічної обробки, допускається підвищення вмісту кремнію до 1,0 % без зниження рівня механічних і технологічних властивостей, за умови, що вміст магнію в сплаві знаходиться в межах 6,0 – 6,5 %.

### **Література**

1. Постников Н.С. Коррозионностойкие алюминиевые сплавы. – М.: Металлургия, 1976. – 303 с.
2. Колобнев И. Ф. Жаропрочность литейных алюминиевых сплавов. – М.: Металлургия, 1973. – 320 с.
3. Машиностроение. Энциклопедия. Цветные металлы и сплавы. Композиционные металлические материалы. Т. II / Под ред. И.Н. Фридляндера. – М.: Металлургия, 2001. – 880 с.
4. Мондольфо Л.Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов. – М.: Металлургия, 1979. – 640 с.

Одержано 15.01.10

**А.А. Кулинич, В.П. Гаврилюк, Е.А. Рябинина**

### **Структура и физико-механические свойства сплава системы Al – Mg, микролегированного кремнием**

#### **Резюме**

Исследовано влияние примесей кремния содержанием до 2,0 % на фазово-структурный состав, механические и технологические свойства сплава АМг6л после лиття в кокиль и термической обработки. Установлено, что для сплава АМг6л, который используется после лиття в кокиль, можно повысить содержание примесей кремния до 0,5 % при сохранении высокого уровня механических и технологических свойств, а для данного сплава, который используется после термической обработки, содержание кремния можно повысить до 1,0 %, при условии что содержание магния в сплаве находится в пределах 6,0 – 6,5 %.

**A.A. Kylinich, V.P. Gavriluk, E.A. Ryabinina**

### **Structure and properties of Al – Mg alloy with additions of silicon**

#### **Summary**

Influencing of silicon admixtures up to 2,0 % on phase-structural composition, mechanical and technological properties of АМг6л alloy after casting and heat treatment is investigated. It is determined that for АМг6л alloy, which is used after casting, it is possible to increase silicon content to 0,5 % at the maintainance of high level of mechanical and technological properties, and for this alloy used after heat treatment silicon content can be increased to 1,0 %, if magnesium content is within the limits of 6,0 – 6,5 %.