

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

УДК 661.74:669.14.046.554

Котляр С. М.

ОПТИМІЗАЦІЯ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ СПЛАВУ АК5М2

Одним з широко використовуємих вторинних сплавів системи Al-Si-Cu є сплав АК5М2. Хімічний склад сплаву АК5М2 змінюється в широких межах. Відповідно на виробництві отримують сплави з суттєво різним рівнем механічних властивостей [1–4].

Особливістю даного сплаву є невисока пластичність, що пов'язано з неоптимальним співвідношенням легуючих елементів та домішок в даному сплаві [5–9]. В наслідок широкого коливання вмісту легуючих і мікролегуємих елементів в сплаві АК5М2 в виробничих умовах значення пластичності можуть, навіть, бути меншими за вимоги державного стандарту до даного сплаву.

Як показали попередні дослідження, підвищити рівень механічних властивостей ливарних сплавів системи Al-Si-Cu, виготовлених з вторинної сировини, можливо шляхом оптимізації хімічного складу сплавів по вмісту головних легуючих компонентів.

Встановлено що на рівень механічних властивостей даного сплаву впливає не тільки вміст окремих компонентів в сплаві АК5М2, але і їх співвідношення. Встановивши оптимальне співвідношення легуючих компонентів в сплаві АК5М2, можливо на виробництві прямо під час технологічного процесу виготовлення сплаву, шляхом підшихтовки отримувати виливки з оптимальним комплексом механічних властивостей.

Мета роботи – встановити можливість підвищення рівня механічних властивостей сплаву АК5М2 шляхом оптимізації хімічного складу сплаву по вмісту міді, магнію і марганцю.

Хімічний склад даного сплаву наведено в табл. 1 і 2.

Таблиця 1

Хімічний склад сплаву АК5М2

Масова частка основних компонентів, %				
Mg	Si	Mn	Cu	Ti
0,2–0,8	4–6	0,2–0,8	1,5–3,5	0,05–0,2

Таблиця 2

Вміст домішок во вторинному силуміні АК5М2

Марка сплаву	Вид продукції	Масова частка домішок, не більше, %				
		Fe		Mn	Zn	Ni
		З	К			
АК5М2	Чушка	1	1	-	1,5	0,5
	Виливок	1	1,3			

Дослідні плавки проводили в електричних печах опору типу СШОЛ, з використанням графіто-шамотного тигля. В тиглі розплавляли алюміній і при температурі 720 ± 10 °С вводили лігатуру Al-Si, яка крім кремнію містить залізо, цинк, нікель, титан. Після їх розплавлення

вводили лігатури: Al-Cu, Al-Mn, Al-Mg. Після розчинення даних лігатур розплави витримували при цій температурі протягом 15 хв. Після цього з поверхні розплаву видаляли шлаки та розливали його в металеву виливницю.

На отриманих стандартних зразках діаметром 10 мм. 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 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 досліджуємих сплавів проводили використовуючи метод оптичної спектроскопії випаровуючим розрядом.

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

Дослідження по встановленню впливу співвідношення легуючих компонентів на рівень механічних властивостей досліджуваного сплаву проводили з використанням методу математичного планування експерименту. Для побудови квазіквадратичних моделей використовували метод повного факторного експерименту, а для побудови квадратичних моделей – метод найменших квадратів.

Концентраційні інтервали зміни хімічного складу досліджуваних сплавів наведено в табл. 3. Вони відповідають межам хімічного складу сплаву АК5М2 згідно державного стандарту України.

Таблиця 3

Концентраційні інтервали зміни хімічного складу сплаву АК5М2

Концентраційний інтервал зміни вмісту легуючих компонентів	Mg, % X_1	Mn, % X_2	Cu, % X_3
Максимальний вміст в сплаві	0,8	0,8	3,5
Середній вміст компоненту	0,5	0,5	2,5
Мінімальний вміст в сплаві	0,2	0,2	1,5

Вид побудованих математичних моделей залежності механічних властивостей сплаву АК5М2 від співвідношення вмісту легуючих компонентів після лиття в кокіль, має наступний вигляд:

$$\sigma_B = 848,612 + 69,0116 \cdot X_3 + 64,5324 \cdot Z_3 + 122,699 \cdot U_2 + 78,2277 \cdot V_1 - 59,7762 \cdot U_1 \cdot Z_3 + 42,7387 \cdot Z_2 + 102,004 \cdot Z_1 \cdot X_2 + 14,4494 \cdot Z_1;$$

$$\delta = 1,83818 - 0,639535 \cdot X_3 + 1,39671 \cdot U_1 \cdot Z_3 + 0,21132 \cdot V_1 + 0,154668 \cdot Z_1;$$

$$HB = 68,4545 + 5,98837 \cdot X_3 + 3,06117 \cdot Z_3 + 2,25407 \cdot U_2.$$

Застосування методу багатокритеріальної оптимізації при аналізі побудованих моделей дозволило встановити оптимальне співвідношення вмісту міді, магнію та цинку в сплаві АК5М2, яке забезпечує підвищений рівень механічних властивостей, порівняно з вимогами державного стандарту до даного сплаву.

Пошук оптимального хімічного складу сплаву АК5М2 проводили при виконанні наступних умов:

1. відносно подовження сплаву повинно бути не менше 1 %;

2. враховуючі той факт, що в Україні зростає доля шихтових матеріалів з підвищеним вмістом магнію, бажано шукати оптимальний склад досліджуваного сплаву з вмістом магнію на верхній межі, яку допускає державний стандарт для цього сплаву.

При виконанні цих умов оптимальний склад сплаву АК5М2, який використовується без термічної обробки, знаходиться в межах, які зазначені в табл. 4.

Використання методу багатокритеріальної оптимізації дозволяє зробити висновки що: для сплаву АК5М2, який використовується після лиття без подальшої термічної обробки, оптимальним можна вважати наступний хімічний склад: (0,6–0,8) % Mg, (2–3) % Cu, (0,2–0,4) % Mn.

Досягти оптимального складу сплаву АК5М2 в виробничих умовах можливо шляхом підшихтовки, при умові встановлення середньостатистичного складу шихти на конкретному підприємстві.

Таблиця 4

Оптимальний склад сплаву АК5М2*

Марка сплаву	Масова частка основних компонентів, %		
	Cu	Mg	Mn
	Для сплаву, що використовується після лиття		
(АК5М2) _л	2–3	0,6–0,8	0,2–0,4
	Хімічний склад сплаву згідно ДСТУ2839-94		
АК5М2	1,5–3,5	0,2–0,8	0,2–0,8

* Примітка. Інші компоненти: Si = (4–6) %; Ti = (0,05–0,2) %; Ni < 0,5 %; Zn < 1,5 %; Fe < 1,3 %

Таблиця 5

Механічні властивості вторинного силуміну АК5М2

Марка сплаву	Спосіб лиття	Вид термічної обробки	σ_b , МПа	δ , %
	Дані згідно ДСТУ2839-94			
АК5М2	К	-	157	0,5
АК5М (АЛ5)	К	T5	216	0,5
	Властивості сплаву АК5М2 оптимального складу			
(АК5М2) _л	К	-	240	1,5

Порівнюючи рівень механічних властивостей сплаву АК5М2 оптимального складу, та цього ж сплаву, виготовленого з середньостатистичної шихти видно, що його міцність підвищується приблизно на 50 %, а пластичність у 3 рази. (табл. 5). З даних наведених в табл. 5 можна, також, зробити висновок, що механічні властивості сплаву АК5М2 оптимального складу навіть перевищують рівень властивостей первинного сплаву АК5М (АЛ5) системи Al-Si-Cu.

ВІСНОВКИ

1. Встановлено, що вплив міді, магнію та марганцю на рівень механічних властивостей сплаву АК5М2 в литому стані має нелінійний характер. Важливим є не тільки сумарний вміст даних компонентів в сплаві, але і їх співвідношення. Збільшення вмісту міді, магнію або марганцю в сплаві АК5М2 дозволяє підвищити рівень його механічних властивостей тільки при певних співвідношеннях двох інших компонентів.

2. Побудовано математичні моделі залежності рівня механічних властивостей ливарного сплаву АК5М2, який використовується після лиття в кокіль, від вмісту міді, магнію і марганцю. Застосування методу багатокритеріальної оптимізації при аналізі побудованих моделей дозволило встановити оптимальне співвідношення вмісту даних компонентів в сплаві АК5М2 яке забезпечує підвищений рівень механічних властивостей порівняно з вимогами державного стандарту до даного сплаву.

Встановлено, що при використанні сплаву АК5М2 після лиття без термічної обробки оптимальним є хімічний склад сплаву який має підвищений вміст магнію та середні значення вмісту міді і марганцю.

3. Для сплаву АК5М2 оптимального складу, тимчасовий опір розриву підвищується на 50 %, а відносно видовження підвищується у 3 рази, порівняно зі сплавом виготовленим з середньостатистичної шихти.

4. При встановленому оптимальному хімічному складі сплаву АК5М2, він може бути рекомендован для заміни сплаву АК5М при виробництві середньонавантажених деталей.

Перспектива подальших досліджень полягає у встановленні оптимального складу сплаву АК5М2, який використовується після лиття та подальшої термічної обробки.

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. Г. Б. Строганов, В. А. Ротенберг, Г. Б. Гершман – Сплавы алюминия с кремнием. – М. : Металлургия, 1977. – 272 с.
4. Альтман М. Б. *Сплавы цветных металлов* / М. Б. Альтман, Г. Б. Строганов, Н. С. Постников – М., «Наука», 1972. – С. 180–186.
5. Боом Е. А. *Природа модифицирования сплавов типа силумин* / Е. А. Боом – М. : Металлургия, 1972. – 69 с., ил.
6. Малахов А.Н. *Основы металлостроения и теории коррозии* / А. Н. Малахов, А. П. Жуков – М. : Металлургия, 1978.
7. Лейбов Ю. М. *Металлургия вторичных цветных металлов и сплавов* / Ю. М. Лейбов, В. М. Базилевский – М., «Металлургия», 1972. – С. 81–86.
8. Кашевник Л. Я. *Свойства сплавов в отливках* / Л. Я. Кашевник, Н. Н. Белоусов – Л., «Наука», 1975. – С. 75–80.
9. Мондольфо Л. Ф. *Структура и свойства алюминиевых сплавов* / Л. Ф. Мондольфо – М. : Металлургия, 1979. – 639 с.