

ПІДВИЩЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВТОРИННОГО СИЛУМІНУ АК5М2

Вивчалась ефективність рафінувально-модифікувальної обробки вторинного алюмінієвого сплаву АК5М2. Було розроблено та використано модифікатор складу 0...20 % Na_2CO_3 , 15...20 % SrCO_3 , 12...20 % SiC , 3...8 % Ti , 0,5...2 % C , решта S. Отримано покращення показників міцності та пластичності сплаву.

Изучалась эффективность рафинирующе-модифицирующей обработки вторичного алюминиевого сплава АК5М2. Был разработан и применен модификатор состава 0...20 % Na_2CO_3 , 15...20 % SrCO_3 , 12...20 % SiC , 3...8 % Ti , 0,5...2 % C , остальное S. Получено улучшение показателей прочности и пластичности сплава.

The effect of refining-modifying treatment of secondary aluminum alloy АК5М2 was researched. The modifier 10...20 % Na_2CO_3 , 15...20 % SrCO_3 , 12...20 % SiC , 3...8 % Ti , 0,5...2 % C , the rest S was worked out and used. The improvement of tensile strength and plasticity of the alloy was obtained.

Постановка проблеми

В виробництві алюмінієвих сплавів все більшого розповсюдження здобуває використання вторинної сировини. При цьому поряд зі зниженням собівартості продукції та покращенням екологічної ситуації постає проблема якості вторинних алюмінієвих сплавів, що пов'язано із значною забрудненістю шихтових матеріалів металевими та неметалевими домішками, а також ефектом металургійної спадковості. В результаті структури вторинних сплавів на основі алюмінію властива крупнозернистість, підвищена неоднорідність та наявність великих скупчень залізовмісних інтерметалідів несприятливої голко- або пластиноподібної форми.

Для усунення суттєвої різниці якості первинних та вторинних сплавів на основі алюмінію важливо забезпечити високу чистоту матеріалу відливок за неметалевими вкрапленнями і сформуванню модифікованої структури, для якої була б характерна однорідність та наявність подрібнених кристалів евтектичного кремнію, а також залізовмісних фаз сприятливої морфології.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

З метою підвищення якості вторинних алюмінієвих сплавів використовується ряд фізичних та механічних методів впливу на розплав (продування газами, фільтрація, вібраційне перемішування, обробка електричним

струмом, вистоювання в інертній атмосфері або вакуумі тощо), причому як найбільш прості, технологічні та економічно доцільні можна розглядати методи рафінування та модифікування.

Сьогодні як компоненти рафінувальних комплексів та модифікаторів й досі широко використовують токсичні та небезпечні речовини, а також застарілі й малоефективні технології обробки, що позначається на низькій якості вторинних алюмінієвих сплавів українського виробництва. Таким чином, постала нагальна потреба в удосконаленні технологічних процесів рафінування та модифікування вторинних сплавів на основі алюмінію з метою підвищення рівня механічних та експлуатаційних властивостей.

Викладення основного матеріалу

Об'єктом досліджень виступав вторинний силумін АК5М2, який застосовується для виготовлення середньонавантажених деталей різноманітного призначення, в т.ч. для товарів культурно-побутового споживання, виробів електротехнічної промисловості та машинобудування.

Плавлення сплаву АК5М2 здійснювали в електричній печі опору під шаром стандартного флюсу (15 % KCl , 45 % NaCl , 40 % AlF_3), який захищав метал від окислення і забезпечував часткове очищення розплаву від розчинених газів. Флюс додавали у кількості 2 % від маси

розплаву, знімаючи його після введення модифікатора. Для підвищення рівня механічних властивостей вторинного силуміну АК5М2 нами було розроблено і запатентовано модифікатор складу 10...20 % Na_2CO_3 , 15...20 % SrCO_3 , 12...20 % SiC , 3...8 % Ti , 0,5...2 % C , решта S . Присадки модифікатора (0,1 % від маси сплаву) вводили при температурі 720 ± 10 °C за допомогою ливарного дзвоника. Метал витримували в шамотному тигелі при температурі 720 ± 10 °C протягом 5 хв., після чого відливали зразки для аналізу макро- та мікроструктури, а також випробувань механічних властивостей. Зразки піддавали термічній обробці за режимом T5 (нагрівання до (525 ± 5) °C, витримка 4 год, гартування з наступним старінням при (175 ± 5) °C протягом 8 год).

Наявність у флюсі, що використовувався, хлориду натрію, хлориду калію і фториду алюмінію обумовили утворення на поверхні розплаву захисної плівки, вилучення твердих частинок неметалевих вкраплень та часткову дегазацію розплаву. Натрій та калій, зменшуючи поверхневий натяг рідкого металу на поверхні кристалів, що ростуть, сприяли отриманню тонкодіфференційованої структури. Сполука AlF_3 сприяла зменшенню натягу на межі поділу метал-флюс та збільшенню ступеня рафінування. Також фторид алюмінію забезпечував розчинення плівки оксиду алюмінію, а хлориди натрію та калію знижували їх температуру плавлення. Використання суміші хлоридів та фтористої солі привело до зміцнення плівки на поверхні сольового розплаву та збільшення крайового кута змочування.

Оскільки одне лише рафінування часто не дозволяє досягти бажаного підвищення якості сплавів, виготовлених із вторинної сировини, після флюсового рафінування здійснювали операцію модифікування.

В рідких сплавах Al-Si існують мікронеоднорідності – гетерофазні комплекси атомів кремнію, які знаходяться в динамічній рівновазі з оточуючим розплавом та характеризуються ненаправленими ковалентними зв'язками Si-Si. В процесі кристалізації силумінів формуються грубоголасті евтектики, первинні кристали кремнію ростуть у вигляді пластин з розвиненими гранями, що викликає окрихчування сплавів. Атоми алюмінію евтектики $\alpha\text{-Al}$ – $\beta\text{-Si}$ є акцепторами, тоді як атоми

кремнію – донорами. Кристалізація евтектики характеризується максимальною локалізацією електронної густини за напрямком зв'язків Si-Si. Залізовмісні фази за звичайних температур кристалізації мають грубокристалічну будову, викликають погіршення механічних властивостей, особливо пластичності. Залізовмісним фазам властивий ковалентний тип міжатомних зв'язків, що обумовлює їх направленість при кристалізації.

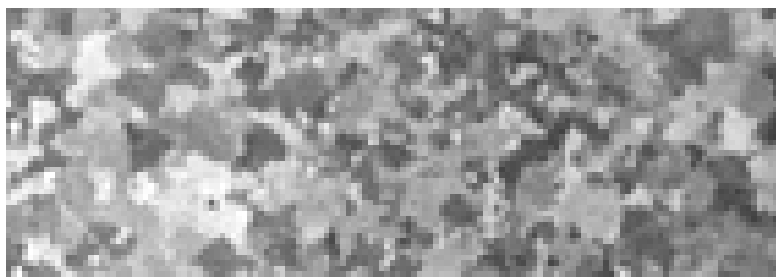
При виборі компонентів модифікатора керувалися необхідністю управління процесом кристалізації евтектики і нейтралізації основної шкідливої домішки таких сплавів – заліза. Для отримання сприятливої структури та морфології кристалізаційних утворень перевагу віддавали елементам-модифікаторам, які змінюють ковалентний зв'язок міжатомної взаємодії на металевий ненаправлений. Для підвищення тривалості модифікувального ефекту та суттєвого покращення якості матеріалу використовували модифікатори як I-го, так і II-го роду.

Присутні у складі модифікатора сірка та карбонати натрію і стронцію забезпечували додатковий рафінувальний вплив на розплав, забезпечивши ефективне видалення розчиненого водню за адсорбційним і флотаційним механізмами. Сірка обумовила компактність, рівномірний розподіл та сприятливу морфологію залізовмісних фаз. Натрій та стронцій викликали втрату направленості та металізацію зв'язків міжатомної взаємодії, що позначилось на подрібненні та коагуляції кристалів кремнію. Накопичуючись на фронті кристалізації, натрій та стронцій забезпечили кооперативний ріст евтектичних фаз та модифікування евтектики, змінюючи морфологію евтектичного кремнію з пластинчастої на стрижньову, а також підвищуючи його дисперсність. Сріблястий графіт відігравав роль модифікатора II-го роду, створюючи додаткові центри зародкоутворення та підвищуючи ступінь подрібнення структурних складових. Сполука Al_3Ti , яка утворювалась при введенні титану, сприяла виникненню донорно-акцепторних зв'язків між атомами модифікатора та алюмінію, і, відповідно, модифікуванню α -твердого розчину. Ультрадисперсний карбід кремнію забезпечував зменшення довжини дендритів першого порядку. Частинки SiC накопичувались перед фронтом кристалізації та забезпечували переохолодження, збільшення кількості і змен-

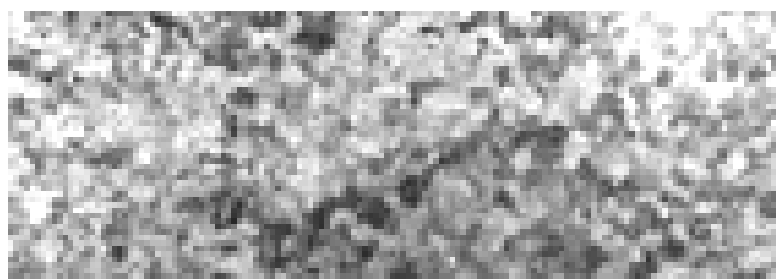
шення розмірів, а також зміну форми евтектичних складових алюмінієвого сплаву на більш компактну.

Аналіз макроструктури показав суттєве подрібнення зерна при використанні флю-

сового рафінування та наступного модифікування запропонованим комплексом в порівнянні з однією лише рафінувальною обробкою (рис. 1).



a



б

Рис. 1. Макроструктура зразків зі сплаву АК5М2 після термічної обробки за режимом Т5 (х2):
a – після обробки флюсом, *б* – після флюсового рафінування та модифікування

В структурі зразків після флюсового рафінування (рис. 2, *a*) були присутні великі за розміром поодинокі кристали первинного кремнію, пластинчаті витягнуті виділення евтектичного кремнію, а також окремі виділення інтерметалідних фаз на тлі алюмінієвого твердого розчину. Кристалічний кремній в алюмінієвій матриці був розташований нерівномірно та характеризувався широким діапазоном розмірів частинок.

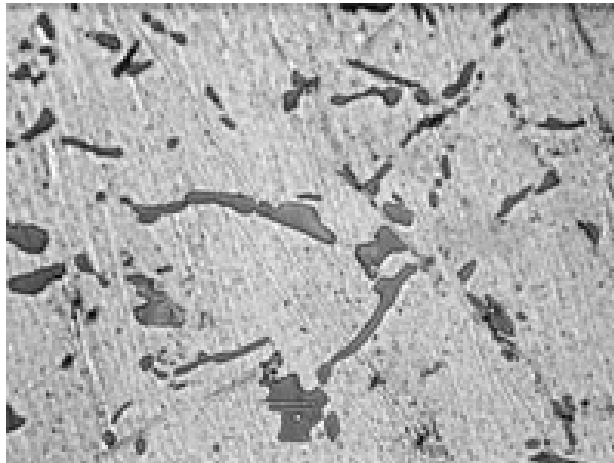
Після оброблення флюсом та модифікатором структура набула однорідності та тонкої диференціації (рис. 2, *б*). Після плавлення під шаром флюсу та модифікування в ковші структурні складові значно подрібнились, зменшилась відстань між ними, зросла компактність форми, знизилась об'ємна кількість інтерметалідних фаз, що врешті-решт позначилось на збільшенні запасу міцності та пластичності сплаву АК5М2.

У випадку дрібнодисперсних інтерметалідних фаз та модифікованого евтектичного кремнію, рівномірного розподілу надлишкових вкраплень в структурі, магістральна тріщина

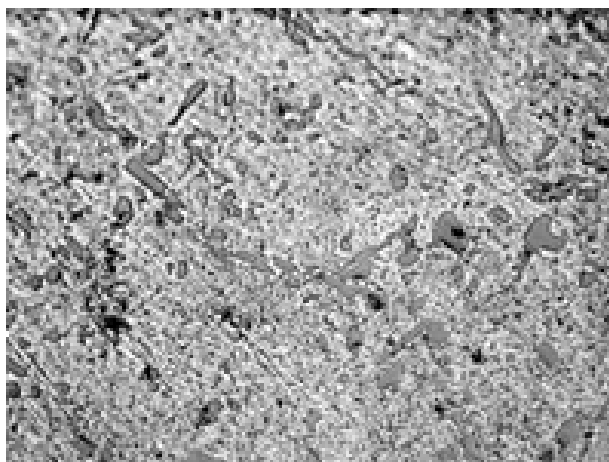
сильно розгалужується, що обумовлює високу енергоємність процесу руйнування матеріалу. Якщо крупні частинки крихких інтерметалідів розміщуються у вигляді суцільних ланцюжків по межах зерен, то сплав має низькі значення пластичності та міцності. У тому випадку, коли вони рівномірно розподіляються за об'ємом сплаву АК5М2 у вигляді компактних вкраплень, що спостерігалось після модифікувальної обробки, механічні властивості підвищуються. Компактність вкраплень інтерметалідних фаз позначається на підвищенні показників міцності та пластичності в порівнянні з голчастими та пластинчастими частинками, навіть якщо останні розподіляються лише по тілу зерна. Ці явища пов'язані з легким зародженням та розвитком тріщин вздовж та поряд з межами зерен, що мають виділення надлишкових фаз, та витягнутих частинок другої фази.

Ефективність використання запропонованого модифікатора підтверджується результатами механічних випробувань (табл. 1). При двоступеневому обробленні флюсом та модифікатором спостерігається зростання показників

механічних властивостей в порівнянні з однократним обробленням флюсом: границі міцності при розтягу $\sigma^p_{в}$ на 11 %, границі міцності при стисненні $\sigma^c_{в}$ на 15,5 %, відносного подовження φ на 24,3 %, відносного осадження ε на 17,4 %.



a



б

Рис. 2. Мікроструктура зразків зі сплаву АК5М2 після термічної обробки за режимом Т5 (x750): а – після обробки флюсом, б – після флюсового рафінування та модифікування

Висновки та перспективи подальших досліджень

Спільне використання стандартного флюсу та розробленого модифікатора в порівнянні з однією лише флюсовою обробкою привело до суттєвого подрібнення зерна вторинного силуміну АК5М2, диспергування та диференціації структурних складових, зменшення об'ємної частки залізовмісних інтерметалідів та збіль-

шення їх компактності, покращення показників міцності та пластичності.

Таблиця 1

Результати експериментальних досліджень дії модифікатора на механічні властивості сплаву АК5М2

Вид обробки	Випробування на розтяг		Випробування на стиснення	
	$\sigma^p_{в}$, МПа	φ , %	$\sigma^c_{в}$, МПа	ε , %
Плавлення під флюсом	157,5	3,5	361,6	37,6
Плавлення під флюсом та модифікування в ковші	174,6	4,4	417,6	44,2

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Системный подход к качеству литья и препараты для эффективной печной и внепечной обработки сплавов на основе алюминия [Текст] / С. П. Задрецкий [и др.] // Литье Украины. – 2005. – № 2. – С. 29-38.
2. Немененок, Б. М. Комплексное модифицирование промышленных силуминов [Текст] / Б. М. Немененок // Литейное производство. – 1999. – № 3. – С. 22-23.
3. Виробництво алюмінієвих сплавів з рудної та вторинної сировини [Текст] : навч. посібник / за ред. Т. М. Нестеренко. – К.: Вища шк., 2007. – 207 с.
4. Наследственное влияние происхождения шихтовых металлов на качество алюминиевых сплавов в условиях АО «АвтоВАЗ» [Текст] / И. М. Скрипников [и др.]. – (Наследственность в литейных сплавах) // Литейное производство. – 2000. – № 10. – С. 2-3.
5. Кольчурина, И. Ю. Разработка и освоение технологии модифицирования алюминиевых сплавов комплексными лигатурами на основе техногенных отходов [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / И. Ю. Кольчурина. – Новокузнецк, 2006. – 221 с.
6. Концепция модульных технологий получения качественных отливок из алюминиевых сплавов [Текст] / С. П. Королев [и др.] // Литейное производство. – 2002. – № 8. – С. 14-18.

Надійшла до редколегії 15.04.2010.

Прийнята до друку 28.04.2010.