

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ МЕТОДАМИ РАФІНУВАННЯ ТА МОДИФІКУВАННЯ

Об'єктом досліджень виступав рафінований та модифікований вторинний алюмінієвий сплав АК9М2. Експериментальним шляхом було встановлено можливість підвищення якості вторинних сплавів на основі алюмінію до рівня первинних.

Объектом исследования являлся рафинированный и модифицированный вторичный алюминиевый сплав АК9М2. Экспериментально установлена возможность повышения качества вторичных сплавов на основе алюминия до уровня первичных.

An object under research was the refined and modified secondary aluminum alloy АК9М2. An opportunity to improve the quality of secondary aluminum-based alloys up to the level of primary aluminum alloys has been determined experimentally.

Постановка проблеми

Останні десятиліття характеризуються неспинним зростанням споживання алюмінієвих сплавів і заміни сталевих, чавунних та інших виробів на алюмінієві в різних галузях промисловості та побуті. Сьогодні виробництво алюмінієвих сплавів в Україні перевищує 200 тис. т/рік, при цьому частка вторинних сплавів сягає 45 % від загального обсягу виробництва. Переробка вторинної алюмінієвої сировини приводить до значного скорочення енергетичних витрат та зменшення обсягів використання непоновлюваних джерел енергії порівняно з виробництвом первинних сплавів, а також дозволяє зменшити техногенне навантаження на довкілля.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Головним недоліком вторинних сплавів на основі алюмінію є нижча за первинні якість. Вторинні алюмінієві сплави характеризуються широким інтервалом вмісту основних компонентів та металевих домішок (зокрема, заліза), підвищеною газонасиченістю, крупнозернистістю та високою неоднорідністю структури, що негативно позначається на характеристиках міцності та пластичності відливок. Аналіз літературних даних свідчить, що найбільш розповсюдженими методами покращення якості сплавів, виготовлених із вторинної алюмінієвої сировини, є рафінування та модифікування. Ці методи надійно закріпилися в технологічних процесах, проте підвищення рівня вимог до якості відливок та екологічної безпеки потребує їх удосконалення. До того ж, в літератур-

них джерелах у недостатньому обсязі надана інформація щодо раціональності вибору тих чи інших компонентів рафінувальних сумішей та елементів-модифікаторів, їх впливу на структуру та властивості вторинних алюмінієвих сплавів. Необхідно звернути увагу, що при використанні вторинної сировини лише однократне оброблення (рафінування) не дозволяє досягти якості сплавів на рівні первинних [1]. Тому доцільно застосовувати двоступеневе оброблення – рафінування на стадії виробництва чушок і модифікування на стадії виробництва відливок.

Метою роботи є розроблення високоефективного і малотоксичного рафінувально-модифікувального комплексу для підвищення рівня механічних властивостей вторинних сплавів на основі алюмінію.

Викладення основного матеріалу

Рафінування вторинних алюмінієвих сплавів об'єднує процеси дегазації й очищення розплаву від твердих, переважно неметалевих, вкраплень. Для цього зазвичай використовуються універсальні флюси. Ефективність універсальних та покривних флюсів підвищується зі збільшенням площі контакту між флюсом і розплавом, а також зі збільшенням ступеня змочуваності вкраплень флюсом [2]. Присутність на поверхні розплаву покривного флюсу забезпечує перехід твердих частинок у шлак і запобігає їх поверненню в розплав турбулентними потоками рідкого металу. Традиційно до складу універсальних флюсів входять KCl, NaCl, Na₃AlF₆, NaF [3].

Значне підвищення механічних та експлуатаційних властивостей досягається при введенні в розплав елементів-модифікаторів. Ефект модифікування обумовлюється характером взаємодії компонентів сплаву і елементів-модифікаторів, що визначається властивостями присадок та основи сплаву в рідкому стані. Модифікатори ливарних сплавів поділяються на дві принципово різні групи. Модифікатори I-го роду формують елементи та сполуки, що відіграють роль зародків кристалізації при охолодженні (Ti, Zr, V, Sb). До модифікаторів II-го роду належать поверхнево-активні речовини, які адсорбуються межами зерен і кристалів та гальмують процес росту (Na, K, Ba, Sr, Cs) [4]. Нові напрямки в модифікуванні алюмінієвих сплавів пов'язані з використанням ультрадисперсних порошоків (B_4C , TiN, Si_3N_4 , SiC), що полегшує технологічний процес, є екологічно безпечним, приводить до більш рівномірного розподілу введених частинок за перетином відливки [5]. Для забезпечення високої якості відливок і підвищення тривалості модифікувального ефекту, до складу модифікувальної суміші для обробки вторинних алюмінієвих сплавів мають входити елементи-модифікатори як першого, так і другого роду.

У зв'язку з вищезазначеним, до складу рафінувально-модифікувального флюсу доцільним є включення таких сполук, як S, NaCl, Na_2CO_3 , $SrCO_3$, KBF_4 , AlF_3 , Ti, SiC. З метою підвищення якості, механічних та експлуатаційних властивостей вторинних алюмінієвих сплавів, розроблено модифікатор, до складу якого увійшли Na_2CO_3 , $SrCO_3$, SiC, C, Ti, S.

Сірка забезпечує сильний рафінувальний вплив на розплав внаслідок утворення значної кількості парів сірки, що інтенсивно барботують розплав та ефективно видаляють неметалеві вкраплення, розчинений водень за адсорбційним і флотаційним механізмами. Також сірка є поверхнево-активним елементом, який забезпечує зміну типу хімічного зв'язку залізовмісних фаз із ковалентного на металевий ненаправлений, що врешті-решт приводить до утворення залізовмісних фаз компактною формою.

Наявність Na_2CO_3 та $SrCO_3$ викликає зменшення швидкості окислення сірки та подрібнення пухирів пароподібної сірки. Карбонати натрію та стронцію дисоціюють з утворенням вуглекислого газу та оксидів, які в подальшому відновлюються розплавом. При проходженні пухирів вуглекислого газу через розплав відбу-

вається барботаж розплаву та додаткове рафінування сплавів від неметалевих вкраплень та розчинених газів. Вплив карбонатів Na_2CO_3 та $SrCO_3$ є аналогічним до дії чистих металів. Натрій зменшує поверхневу енергію на межі фаз, ускладнює ріст кристалів кремнію, знижує термічну стійкість мікрогетерогенного стану розплаву. Ця обставина збільшує переохолодження на фронті кристалізації і, відповідно, підвищує дисперсність евтектики. Спільне модифікування алюмінієвих сплавів натрієм та стронцієм забезпечує усунення «інкубаційного періоду», властивого для модифікування стронцієм, а порівняно з модифікуванням натрієм, суттєво збільшує тривалість модифікувального ефекту.

Використання ультрадисперсного карбиду кремнію як додаткових центрів кристалізації підвищує показники міцності та пластичності, що пов'язано з рівномірним розподілом частинок SiC за перетином відливки внаслідок дії пухирів газоподібної сірки та вуглекислого газу. Основна маса частинок SiC виштовхується фронтом кристалізації в рідку фазу, накопичується перед фронтом кристалізації та забезпечує переохолодження, збільшення кількості і зменшення розмірів, а також зміну форми евтектичних складових алюмінієвого сплаву.

Присутність Ti викликає утворення дисперсних частинок Al_3Ti , що рівномірно розподіляються в об'ємі розплаву, відіграють роль додаткових центрів кристалізації, значно подрібнюють зерна алюмінієвого твердого розчину та виділень вторинних фаз, а також збільшення рівномірності розподілу останніх за об'ємом.

Сіль KBF_4 взаємодіє з алюмінієм за екзотермічною реакцією, яка проходить з відновленням бору та заміщенням його алюмінієм у шлаку. Продуктами реакції є борид та алюмінід титану. Активне пов'язування титану в борид збільшує його засвоюваність та підвищує ефективність процесу зародкоутворення. Частинки TiB_2 виступають підкладками для зародження зерен $\alpha-Al$ при кристалізації. При введенні бору змінюється морфологія кристалів α -фази: дендритні гілки першого порядку мають закінчення округлої форми, гілки другого та третього порядків практично відсутні. Спільне введення титану та тетрафторборату калію забезпечує максимальне засвоєння бору.

Наявність сріблястого графіту в присутності титану забезпечує отримання додаткових центрів зародкоутворення у вигляді сполуки TiC , що підвищує ступінь подрібнення структурних

складових та сприяє збільшенню рівня механічних властивостей алюмінієвих сплавів.

Експериментальну перевірку дії флюсу та модифікатора проводили в процесі плавлення сплаву АК9М2 в печі опору. Необхідна кількість флюсу становить 1,0...2,0 % від маси сплаву. До розплаву флюс вводили за температури 730 ± 10 °С. З метою більш технологічного введення модифікатора до розплаву, методом пресування були виготовлені таблетовані брикети певної ваги, що дозволило швидко підібрати необхідну кількість модифікатора з розрахунку 0,05 % від маси розплаву. Така технологічна схема застосування показала високу ефективність при подальшому використанні. В рідкому металі, який знаходився в шамотному тигелі, при температурі 730 ± 10 °С за допомогою пристосування, відомого як «дзвоник», вводили присадки модифікатора та витримували метал у тигелі при температурі 730 ± 10 °С протягом 0; 30; 60; 90; 120 хвилин. Після проведення модифікування, згідно вимог ДСТУ 2839-94 (ГОСТ 1583-93), відливали зразки для випробувань механічних властивостей та аналізу мікроструктури (табл. 1).

Таблиця 1

Результати експериментальних досліджень дії флюсу та модифікатора на механічні властивості сплаву АК9М2

Час після оброблення розплаву, хв.	Властивості вторинного сплаву АК9М2 (литий стан)			
	σ_B , МПа	δ , %	КС, кДж/м ²	d , мкм
0	167*	4,3*	67*	8...12*
	188	1,6	72	6...10
30	165*	4,3*	65*	8...12*
	185	1,6	71	6...10
60	162*	4,2*	62*	10...14*
	180	1,4	68	8...12
90	159*	4,2*	61*	10...14*
	173	1,4	65	8...12
120	155*	4,0*	59*	10...16*
	165	1,2	63	8...14

Примітка: d – відстань між осями другого порядку дендритів α -твердого розчину кремнію в алюмінії; * – оброблення експериментальним флюсом без застосування модифікатора.

Висновки та перспективи подальших досліджень

Проведені дослідження показали, що комплексне оброблення сплаву АК9М2 експериментальними флюсом та модифікатором приводить до зменшення відстані між осями другого порядку дендритів α -твердого розчину кремнію в алюмінії, формування дрібнодисперсних та рівномірно розподілених структурних складових, зміни форми інтерметалідів на основі заліза з пластинчастої на глобулярну або у вигляді китайських ієрогліфів, підвищення якості та рівня механічних властивостей. Двоступеневе оброблення вторинного сплаву АК9М2 порівняно з одним рафінуванням забезпечує триваліший модифікувальний ефект та більш дрібнодисперсну структуру, а в зв'язку зі значною спадковістю алюмінієвих сплавів дозволяє отримувати та зберігати вищий рівень механічних властивостей сплаву при наступних технологічних переробленнях. Експеримент засвідчив значні потенційні можливості розробленого складу рафінувально-модифікувального комплексу для підвищення конструктивної міцності вторинних сплавів на основі алюмінію, що визначає напрямок і перспективи подальших досліджень.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Немененок, Б. М. Теория и практика комплексного модифицирования силуминов [Текст] : монография / Б. М. Немененок – Мн.: Технопринт, 1999. – 272 с.
2. Mityayev, A. Improvement of quality of secondary aluminium alloys in conditions of mass production [Text] / A. Mityayev, S. Belikov // Polish Acad. Sci.: Archives of metallurgy and materials. – 2007. – № 3. – P. 521-524.
3. Виробництво алюмінієвих сплавів з рудної та вторинної сировини [Текст] : навч. посібник / за ред. Т. М. Нестеренко. – К.: Вища шк., 2007. – 207 с.
4. Лубенский, М. З. Исследование влияния редких элементов на структуру и свойства вторичных сплавов алюминия [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Мн., 1987. – 21 с.
5. Калинина, Н. Е. Модифицирование литейных алюминиевых сплавов порошковыми композициями [Текст] / Н. Е. Калинина, В. П. Белоярцева, О. А. Кавац // Вестник двигателестроения. – 2006. – № 2. – С. 193-195.

Надійшла до редколегії 21.05.2009.
Прийнята до друку 26.05.2009.