

УДК 669.715.018.028

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ФІЗИКО-ХІМІЧНОЇ ОБРОБКИ АЛЮМІНІЄВИХ РОЗПЛАВІВ, ОТРИМАНИХ ПРИ ПЕРЕРОБЦІ ВІДХОДІВ¹

О. І. Парит

*Національний технічний університет України
„Київський політехнічний інститут”*

Розглянуто технологію обробки алюмінієвих сплавів з використанням магнітодинамічної установки.

Рассмотрена технология обработки алюминиевых сплавов с использованием магнитодинамической установки.

The technology of aluminum alloys treatment inside of hydrodynamic pump-furnace was considered.

Вступ

В останнє десятиріччя споживання і виробництво алюмінію й продукції з нього безупинно збільшується. Цей ріст забезпечується як за рахунок збільшення випуску первинного алюмінію, так і внаслідок розвитку технологій переробки алюмінієвих відходів й одержання з них якісних вторинних алюмінієвих сплавів [1].

Так, за оцінками фірми Hydro Aluminium (Норвегія) [2], у найближчі роки будуть мати місце наступні тенденції: попит на алюміній щорічно буде збільшуватися приблизно на 3%, при цьому ріст споживання й виробництва первинного алюмінію складе близько 2,7% у рік, а вторинного – перевищувати 4 % у рік. У результаті, до 2030 р. загальне виробництво й споживання алюмінію у світі може досягти 50 млн. тонн, з яких майже половина (22–24 млн. тонн, або 44–48% від загального показника) буде забезпечена за рахунок вторинного алюмінію [3].

В останні роки в Україні намітився спад в сфері виробництва первинного алюмінію. Тому впровадження нових технологічних процесів

¹ - роботу виконано під керівництвом: член-кореспондента НАН України, доктора технічних наук, професора В.І. Дубодєлова, Фізико-технологічний інститут металів і сплавів НАН України, і доктора технічних наук, професора В.С.Богушевського, НТУУ „КПІ”

виробництва алюмінію і його сплавів, у першу чергу шляхом переробки промислових і побутових відходів є актуальним.

Якщо ж розглядати виробничі аспекти переробки алюмінієвих відходів, то варто звернути увагу на превалювання в розвинених країнах двох складових подібних технологій: економічної доцільності й екологічної безпеки. У цих країнах технологія переробки прибуткова й не наносить шкоди навколишньому середовищу й людині [4].

Постановка задачі дослідження

Переплавлення алюмінієвих відходів, особливо тонкостінних з розвинутою поверхнею (наприклад, пакувальний матеріал, тара для напоїв), викликає низку технічних і технологічних труднощів, зокрема, зв'язаних з підвищеним вигаром такої шихти при переробці, погіршенням екології на виробництві, недостатньою економічною й енергетичною ефективністю процесу, необхідністю провадити комплекс операцій по рафінуванню отриманого розплаву з метою забезпечення його високої якості.

З метою забезпечення високих техніко-економічних показників процесу переробки тонкостінних алюмінієвих відходів з розвинутою поверхнею, особливу увагу варто приділяти способу передачі теплової енергії. Необхідно виключити пряме нагрівання шихти й здійснювати її плавлення в потоці перегрітого розплаву, близького за хімічним складом до матеріалу, що переробляється. Для цього можна використати магнітодинамічну установку (МДУ), в якій легко створити циркуляцію рідкого металу по замкнутому контуру „рідкометалева ванна – індукційний канал – рідкометалева ванна” із заданими швидкістю, витратою й напрямком [5].

Методика проведення експериментів

Експерименти по комплексній обробці металу в МДУ проводилися на деформованому алюмінієвому сплаві Ад31, отриманому при переплаві відходів. Вибір такого сплаву був обумовлений тим, що в ньому сумарний вміст легуючих елементів і домішок не перевищує 3,5 %, і внаслідок цього результати його комплексної обробки проявляються на макроструктурі значно більш яскраво, ніж у ливарних сплавах. Крім того, профілі зі сплаву Ад31 широко застосовують в алюмінієвих конструкціях, що визначає й вміст брухту такого сплаву в загальному обсязі відходів.

При виконанні досліджень було використано магнітодинамічну установку МДН-6А (рис.1 а, б) [5].

Вихідний розплав у кількості 85 кг був отриманий з брухту сплаву Ад31 переплавом у лабораторній печі, що є комбінацією відбивної й індукційної каналної печі. Отриманий рідкий метал перелили в установку

МДН-6А, де була проведена його обробка гідрофобним препаратом ARSAL 2125, що випускається німецькою фірмою “SCHAFER Chemische Fabrik Gmb”.

Препарат ARSAL 2125 виділяє з розплаву оксиди, що перебувають у вигляді суспензії, захищає поверхню рідкого металу від окислювання, забезпечує одержання порошкоподібних шлаків, що містять мінімальну кількість часток металу. Препарат має вигляд блакитних таблеток діаметром 6,5 мм і висотою 3–5 мм. При обробці розплаву він не плавиться, а перетворюється в темно-сіру розсипчасту масу. Норма витрати становить близько 0,25 % від маси оброблюваного розплаву.

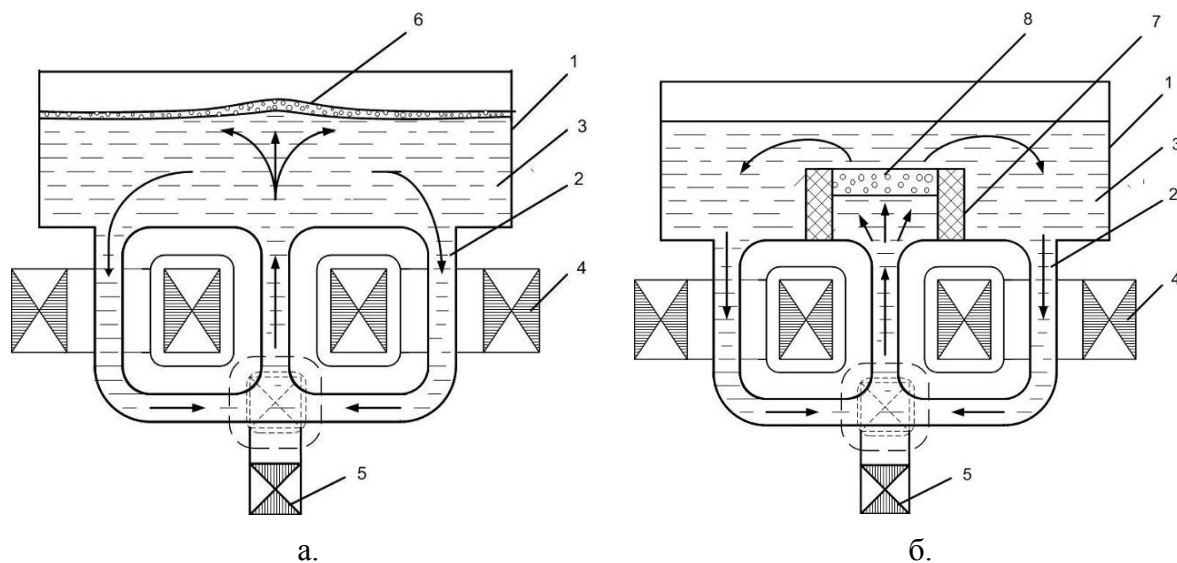


Рис. 1. Схеми обробки сплаву Ад31 у магнітодинамічній установці МДН-6А: а – обробка препаратом ARSAL; б – фільтрація, 1 – тигель; 2 – Ш-подібний канал; 3 – рідкий сплав; 4 – індуктор; 5 – електромагніт; 6 – препарат ARSAL; 7 – графітова рамка; 8 – фільтр

Розплав обробляли в магнітодинамічній установці різними способами. Спочатку препарат подавали на поверхню ванни й створювали затоплений струмінь із центральної зони каналу. Завдяки циркуляції розплаву процес рафінування інтенсифікувався, однак препарат через якийсь час виносився на периметр ванни, де циркуляція рідкого металу істотно слабкіше, ніж у центрі. Щоб препарат не виносився із центральної зони поверхні металевій ванни, електромагнітний насос включали в режим усмоктування. У цьому випадку препарат розташовувався переважно над центральною ділянкою каналу, але при цьому оголювалися ділянки поверхні ванни над бічними устями. Для того щоб препарат охоплював всю поверхню, робили перемикання установки з режиму нагнітання із

центрального каналу в режим усмоктування в центральний канал через кожні 5–7 с. Даний спосіб забезпечував рівномірну обробку всієї поверхні ванни без її окислювання.

Витрати розплаву через фільтр [6] визначали виходячи з його оптимальної продуктивності відповідно до рекомендації розроблювачів, що в перерахунку на робочу площу використовуваного фільтра становить 25 кг/хв. Тому електричні параметри електромагнітного насоса були настроєні так, щоб забезпечити дану витрату. Таким чином, один об'єм рідкометалевої ванни проходив через фільтр за 2,5 – 3,5 хв.

Після закінчення експериментів по фільтруванню сплаву Ад31 було проведено його модифікування. У зоні витікання розплаву з фільтра був розчинений пруток модифікатора з розрахунку 1,5 кг на тонну розплаву.

Дослідження з оцінки ступеня впливу виду обробки на якість деформованого алюмінієвого сплаву проводили на зразках, що заливали при температурі рідкого металу 720–740⁰С у кокіль, у верхній тонкостінній частині якого формувався прибуток виливка. З одержуваних виливків у формі зрізаного конуса з довжиною 91 мм і діаметрами основ 18 і 19 мм виготовляли експериментальні зразки з діаметром і довжиною робочої частини 10 і 60 мм відповідно для визначення механічних властивостей. Температура кокілю підтримувалася в межах 250–335⁰С.

Механічні випробування проведені на зразках без термообробки. Після проведення таких випробувань, з голівки розривного зразка, що відповідає верхній частині виливка, виготовляли зразок для спектрального аналізу, довжиною 9 мм. Цей же зразок був використаний для дослідження макроструктури, причому для її аналізу використали стандартний метод визначення середніх розмірів макрозерна. Сутність методу – підрахування кількості зерен, пересічних п'ятьма січними, довільно проведеними на поверхні макрошліфа. Частка від розподілу суми довжин січних на кількість зерен, пересічних всіма січними, приймалося за середню величину макрозерна.

Результати досліджень

Результати досліджень представлені в таблиці 1. Для пояснення характеру зміни міцних характеристик сплаву Ад31 у ході експериментів доцільно розглянути вплив наступних факторів: хімічний склад сплаву, неметалічні включення й добавки, що модифікують.

Після обробки алюмінієвого розплаву препаратом ARSAL 2125 міцність і пластичність зразків склали, відповідно, 137 МПа і 20,6 %, величина зерна – 1,86 мм, зерно рівнове, що, мабуть, викликано наявністю оксидних часток у вихідному металі, які впливають на модифікування. Витримка такого розплаву в МДУ протягом 12 годин

привела до значного зниження показників міцності й пластичності – до 122 МПа й 12,3 %, відповідно.

Таблиця 1 Вплив виду обробки розплаву Ад31 на розмір зерна і механічні властивості

Вид обробки розплаву	Середній розмір зерна, мм		Середнє значення механічних властивостей	
			σ_b , МПа	δ , %
Вихідний розплав	1,43		114	12,9
Обробка препаратом ARSAL 2125	1,86		137	20,6
Витримка протягом 12 годин	1,85		122	12,3
Однократне фільтрування	1,25		127	22,3
Дворазове фільтрування	1,60		128	21,3
П'ятикратне фільтрування	1,77		122	17,7
Десятикратне фільтрування	1,73		126	21,7
Модифікування				
Тривалість витримки модифікованого розплаву, хвилини	6	0,34	133	26,3
	9	–		
	14	0,28		
	18	–		
	24	0,29		
	29	–		
	34	0,31		
	40	–		
	44	0,29		
	47	–		
	55	0,24		
	60	0,23		

Оскільки макроструктура виливка залишилася незміною, а величина зерна при цьому також практично не змінилася (1,85 мм), можна припустити, що довгострокова витримка не супроводжувалася повним виділенням часточок, що модифікують, з розплаву. Однак при цьому вочевидь, що часткове очищення розплаву від неметалічних часток відбувається, про що свідчить утворення відкладень на стінках каналу. Імовірно, фільтр здатний затримати більш дрібні включення, чим канал. Модифікування розплаву проводилось з використанням потрібної лігатури AlTi5B1.

Причиною же погіршення механічних властивостей при тривалій витримці могло стати зниження вмісту магнію в результаті окислювання від 0,49 мас.% до 0,39 мас.%, що нижче мінімально припустимого (0,40 мас.%) для даного сплаву. Крім того, не виключено, що оксиди магнію, що утворилися в ході витримки, були замішані в розплав циркулюючим

металом, і зіграли роль концентраторів напруг при механічних випробуваннях.

Перший цикл фільтрування підвищив міцність зразків до 127 МПа, а досягнутий рівень пластичності – 22 % – перевищив вихідне значення. Зерно укрупнилося, відзначена транскристалізація, що характерно для не модифікованого алюмінію. Причиною помітного підвищення пластичності, мабуть, стало очищення розплаву від включень, що грають роль концентраторів напруг, причому їхній негативний вплив позначався на пластичності металу сильніше, ніж позитивний вплив часточок, що модифікують, які також осіли на фільтрі, що й викликало укрупнення зерна й ефект транскристалізації.

Збільшення числа циклів фільтрування викликало послідовне (від 1,25 до 1,77 мм) збільшення величини зерна, що свідчить про подальше протікання процесу осадження часточок, що модифікують, на фільтрі. На міцних властивостях металу це практично не позначилося.

Хімічний склад сплаву, за винятком вмісту титану, не змінився. Середній вміст титану в зразках, отриманих у попередніх експериментах, становив 0,040 мас.%, після уведення модифікатора він збільшився до 0,049 мас.%. Зменшення вмісту титану в ході витримки не зафіксовано, вочевидь, воно залишилося незмінним, чому відповідають стабільні в часі значення міцних характеристик. Процес осадження часточок модифікатора в каналі МДН-6А або протікає досить повільно, або залежить від режиму перемішування. Середні значення σ_b й δ становлять, відповідно, 133 МПа й 26,3 %. Перевищення вихідних значень пластичності викликано здрібнюванням зерна в результаті модифікування, проведеного після очищення розплаву фільтрацією. Розміри зерна в ході годинної витримки перебувають у межах 0,23 – 0,34 мм. Те, що величина міцності, наблизившись до рівня вихідних значень, все-таки його так і не досягла, може бути викликано подальшим окислюванням магнію, середній вміст якого в модифікованих зразках склав лише 0,34 %.

Висновки

1. Довгострокова витримка розплаву Ад31 може привести до зниження міцних властивостей у тих сплавах, де магній утворює зміцнюючу фазу (у випадку, якщо величина втрат порівнянна з його вмістом), у результаті зниження вмісту магнію через його окислювання, а також можливого замішування часточок окисів, що утворилися, у розплаві;

2. Обробка препаратом ARSAL 2125 забезпечує відділення металу від спінених шлаків і видалення оксидних плівок, замішаних у розплав, однак більше дрібні оксидні включення препаратом не видаляються й на

стінках каналу не осаджуються, про що свідчить величина макрозерна. У зв'язку із цим необхідно розплав після обробки препаратом фільтрувати;

3. Пінокерамічні фільтри в умовах МДУ показали себе ефективним засобом підвищення міцності й пластичності металу, але, оскільки в процесі фільтрування відбувається укрупнення зерна в результаті осадження частинок, що модифікують, на фільтрі, операцію модифікування необхідно проводити після фільтрування;

4. Ефект модифікування модифікатором AlTi5B1 (подрібнення зерна) зберігається при витримці розплаву в МДУ в режимі мало інтенсивної змушеної конвекції не менше 12 годин, а в робочих режимах (дозування, лиття під електромагнітним тиском) – не менше 60 хвилин.

Література

1. Локшин М.З., Макаров Г.С. Сучасні тенденції в рецикліюванні алюмінію // Кольорові метали. – 2001. – № 11. – С. 90 – 94.
2. Proceedings of the 6th OEA Secondary Aluminium Congress. – Cannes, 2001.
3. Демидик В.Н. Переробка алюмінієвих відходів // Процеси лиття. – 2003. – № 3. – С. 8 – 12.
4. Sh. Taniguchi, Sh. Shimasaki, o. Recent Efforts of EPM Application to Environmental Technology at Tohoku University // Proceedings of the 5th International Symposium on Electromagnetic Processing of Materials “EPM2006”. – October 23 – 27, 2006. – Sendai, Japan. – P. 677 – 682.
5. В.И.Дубоделов, М.С.Горюк. Магнитодинамический промежуточный ковш для процессов непрерывной розливки стали / У сб. „Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра”. – К.: Політехніка. – 2007. – С. 104 – 113.
6. Тен. Э.Б. Фильтрационное рафинирование редких металлов // Цветные металлы. – 2003. – № 3. – С. 64-69.