

УДК 669.715.018.028

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПЛАВКИ ТОНКОСТІНИХ АЛЮМІНІЄВИХ ВІДХОДІВ З РОЗВИНУТОЮ ПОВЕРХНЕЮ<sup>1</sup>**

*О. О. Косарев*

*Національний технічний університет України  
„Київський політехнічний інститут”*

*Розглянута доцільність застосування магнітодинамічного насоса у плавильному циркуляційному контурі „відбивна піч – магнітодинамічний насос – плавильна камера, що не обігрівається, – відбивна піч”. Досліджено процеси фільтрації сплавів від домішок.*

*Рассмотрена целесообразность применения магнитодинамического насоса в плавильном циркуляционном контуре „отражательная печь – магнитодинамический насос – необогреваемая плавильная камера – отражательная печь”. Исследованы процессы фильтрации сплавов от примесей.*

*In the article, the practicability of application of magnetodynamic pump in smelting flow circuit “reverberatory furnace – magnetodynamic pump – non-heated melting chamber – reverberatory furnace” is considered. The processes of alloys filtering from different mixtures were investigated.*

### **Вступ**

Зростаюче споживання алюмінію у світі стимулює збільшення його виробництва, причому в більшій мірі – за рахунок випереджального росту одержання вторинного алюмінію з брухту промислових і побутових відходів.

При цьому в останні роки істотно зросли об’єми використання вторинних ливарних алюмінієвих сплавів в автомобілебудуванні й намітилася тенденція збільшення випуску вторинних деформуємих алюмінієвих сплавів у різних областях техніки.

Переплавлення алюмінієвих відходів, особливо тонкостінних з

---

<sup>1</sup> - роботу виконано під керівництвом:

- кандидата технічних наук В.Н. Фіксена, Фізико-технологічний інститут металів і сплавів НАН України;
- доктора технічних наук, професора В.С.Богушевського, НТУУ „КПІ”

розвинутою поверхнею (наприклад, пакувальний матеріал, тара для напоїв, фюзеляжі літаків), сполучене з рядом технічних і технологічних труднощів, зокрема, підвищеним вигоранням такої шихти при переробці, погіршенням екології на виробництві, недостатньою економічною й енергетичною ефективністю процесу, необхідністю проводити комплекс операцій по рафінуванню отриманого розплаву з метою забезпечення його високої якості.

Це в поєднанні з великим нагромадженням побутових і промислових відходів з алюмінію і його сплавів, що спричиняє необхідність їхньої переробки й створення для цього ефективних технологічних процесів із застосуванням нових оригінальних технічних рішень й устаткування, пояснює актуальність проведення досліджень.

### **Постановка задачі дослідження**

Представлені дослідження було проведено з метою забезпечення високих техніко-економічних показників процесу переробки тонкостінних алюмінієвих відходів з розвинутою поверхнею. Основною складовою ефективності є вигар металу при переплавці. Зменшення вигару можливо при виключенні прямого нагрівання шихти й здійсненні її плавлення в потоці перегрітого розплаву, близького за хімічним складом до матеріалу, що переробляється. Для реалізації такого способу запропоновані технологічні схеми плавильного циркуляційного контуру (ПЦК), основними елементами яких є власне плавильна піч (для створення запасу рідкого металу в системі), приєднана до неї каналами камера, що не обігривається (для розплавлення твердої шихти) і насос, що забезпечує циркуляцію алюмінієвого розплаву в такому замкнутому контурі.

В схемі можна використати магнітодинамічний насос (МДН), яким легко забезпечити циркуляцію рідкого металу по замкнутому контуру „рідкометалева ванна – індукційний канал – рідкометалева ванна” із заданими швидкістю, витратою й напрямком [1]. Доцільність такого рішення обумовлена тим, що насоси магнітного поля, що біжить, які використовувалися раніше, забезпечуючи високу продуктивність транспортування рідкого металу, не в змозі здійснити його нагрівання.

У МДН до 90 % потужності витрачається саме на нагрівання металу. Крім того, конструкція МДН дозволяє в процесі електромагнітного транспортування алюмінієвого сплаву по замкнутому контуру робити його додаткову позапічну обробку.

Задача досліджень полягала в тому, щоб експериментально встановити можливість і доцільність застосування МДН в технологічній схемі, тому що проведення натурних експериментів із застосуванням промислової відбивної печі місткістю в кілька тонн алюмінію зв'язано з

великими технічними й матеріальними труднощами [2, 3, 4]. При цьому планувалося одержати експериментальні дані, необхідні для розробки математичної моделі процесу плавки тонкостінної алюмінієвої шихти з розвинутою поверхнею в ПЦК із використанням магнітодинамічного насоса. Додатково до основної мети, передбачалося розробити технологію фільтрації сплаву в ПЦК, що дозволила б очистити сплав від оксидних включень й одночасно захистити канал МДН від заростання.

### Методика проведення експериментів

Дослідження проводились на установці для переплаву тонкостінних алюмінієвих відходів з розвинутою поверхнею, технологічна схема якої наведена на рисунку 1.

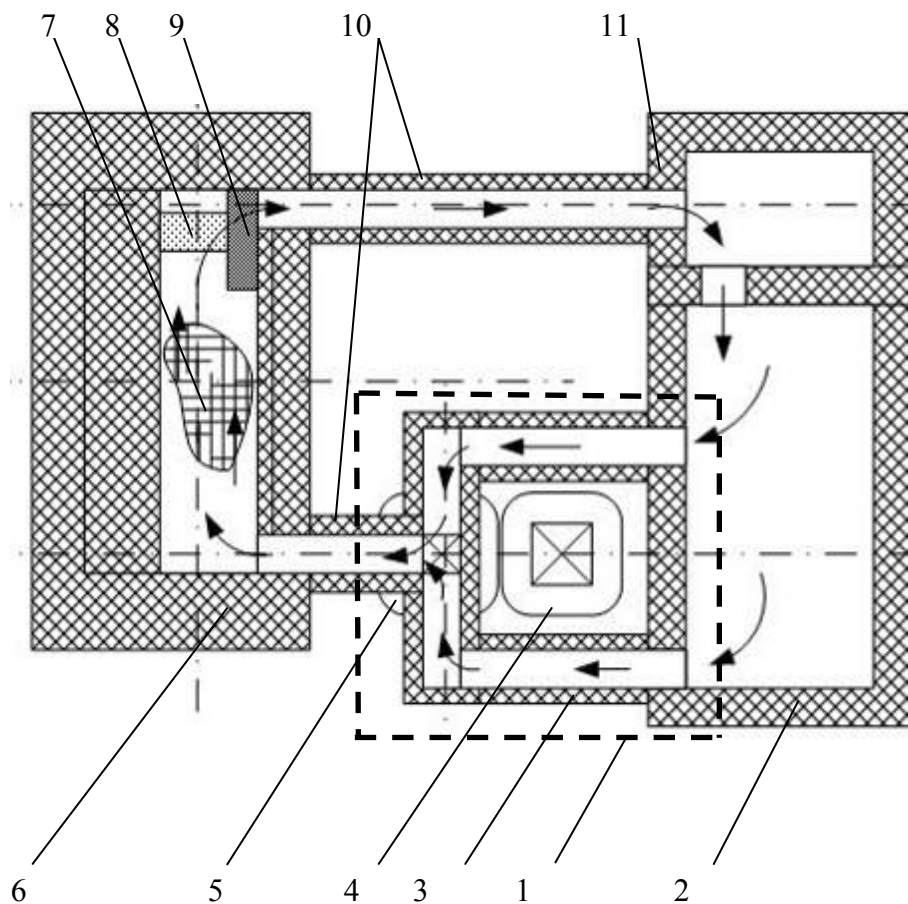


Рис. 1. Технологічна схема установки для переплаву тонкостінних алюмінієвих відходів: 1 – магнітодинамічний насос МДН-3А; 2 – тигель (камера, що обігривається); 3 – індукційний канал МДН-3А; 4 – індуктор МДН-3А; 5 – електромагніт МДН-3А; 6 – камера, що не обігривається для переплаву шихти; 7 – зона уведення шихти на дзеркало металу в камері, що не обігривається; 8 – пристосування для кріплення фільтра; 9 – фільтр; 10 – сполучні канали; 11 – проміжна камера для відбору наплавленого металу

Необхідно відзначити, що безумовною перевагою насоса з магнітним полем, що біжить, у порівнянні із МДН є простота каналу, що представляє собою циліндричну трубу, виготовлену з вогнетривкого матеріалу. Однак ця перевага досягається ціною дуже низького коефіцієнта потужності й великого тепловиділення в самому індукторі. Для експлуатації такого насоса завжди потрібно інтенсивне безперебійне водяне охолодження, у той час як для МДН у більшості випадків досить повітряного. У випадку аварійного відключення електроенергії магнітодинамічний насос може бути без ускладнень повторно запущений через 30 – 40 хвилин, що неможливо в контурі з насосом магнітного поля, що біжить.

Магнітодинамічний насос типу МДН-3А був використаний у зв'язку з особливостями конструкції – він має горизонтальний канал, що спрощує його використання в складі ПЦК. Технічна характеристика створеного експериментального контуру представлена в таблиці 1.

**Таблиця 1** Технічна характеристика експериментального ПЦК для переплаву тонкостінних алюмінієвих відходів з розвинутою поверхнею

№ п/п	Характеристика	Показник
1	Електрична потужність спіралей камери, що обігриває, кВт	8,0
2	Активна потужність індуктора магнітодинамічного насоса МДН-3А, кВт	7,2
3	Електрична потужність обігрівача на сполучному каналі, кВт	1,0
4	Діапазон регулювання напруги, що подана на індуктор і електромагніт, В	0 – 380
5	Максимальна величина електричного струму в обмотці індуктора, А	40
6	Максимальна величина електричного струму в обмотках електромагніта, А	50
7	Коефіцієнт потужності індуктора (COSφ )	0,6
8	Мінімальна маса металу, необхідна для запуску контуру, кг	80
9	Максимальна місткість контуру, кг	100
10	Габарити пристрою (довжина×ширина×висота), мм	1950×1750×1300
11	Діапазон регулювання масової витрати металу в робочому режимі, кг/с	0,15 – 2,00

Після запуску в роботу макета циркуляційного плавильного контуру порцію шихти масою 2 кг висипали на поверхню потоку рідкого алюмінію в плавильну камеру, що не обігривається.

### Результати досліджень

Як було встановлено в експерименті, при товщині шару до 200 мм шихта не поринає в розплав через малу середню щільність і не зноситься потоком, а залишається лежати на ньому, утримувана окисдною плівкою. При цьому відбувається вигорання лакофарбових покриттів, органічних забруднень і видалення вологи. Власно шихта окиснюється незначно, а газоподібні продукти горіння не попадають у рідкий метал.

Через легковагість шихти й малої висоти плавильної ємності, що не обігривається, над рівнем потоку розплаву (200 мм) необхідно було примусово занурювати шихту в рідкий метал. На поверхні потоку накопичувався шлак, що складається із твердих продуктів вигорілих покриттів й оксиду алюмінію. Шлаки видаляли й продовжували плавку. Такий спосіб ведення плавки повністю не запобігав надходженню в розплав оксидних й інших твердих включень, тому на виході із плавильної камери був установлений пінокерамічний фільтр "CERALU", з показником пористості (PPI) 40 пор на квадратний дюйм, німецької фірми "Drache Umwelttechnik Gmb & Co. AG". Слід зазначити, що ефективність роботи такого фільтру залежить від швидкості протікання рідкого металу через нього. В інструкції до фільтра вказується оптимальна величина витрати металу, яку фільтрують через одиницю його площі, що в описуваному експерименті, у свою чергу, визначалася площею вихідного отвору із плавильної камери.

Перетин вихідного отвору з камери макетного зразка склав 40×70 мм. При виборі цього перетину виходили з розмірів зливального жолоба, що обігривається, а також геометрії пінокерамічного фільтра, установленного перед ним. Відповідно до цієї площі, оптимальна витрата рідкого металу через робочу поверхню повинна перебувати в межах 0,10 – 0,15 кг/с.

Як було показано в процесі експериментальних досліджень шлак, що накопичується в результаті плавлення шихти, яка засипається в плавильну камеру, що не обігривається, утримується на поверхні металу.

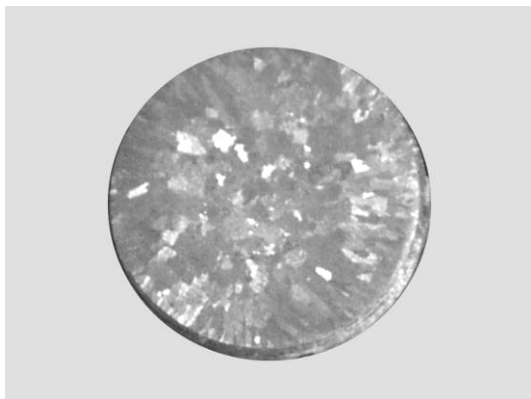
Для виключення засмічення продуктами шлаків робочої (фільтруючої) поверхні фільтра, на виході з магнітодинамічної установки за допомогою електромагнітного насоса створювали такий надлишковий тиск, при якому висота підйому металу в плавильній камері, що не обігривається, була вище пінокерамічного фільтра, установленного на виході із плавильної камери. У цьому випадку пінокерамічний фільтр перебував під поверхнею рідкого металу. При цьому вся робоча поверхня фільтра рівномірно прогривається теплотою металу, а внаслідок того, що фільтр установлений усередину плавильної камери, забезпечуються оптимальні умови використання як фронтальної, так і бічних поверхонь фільтру.

Перепад рівнів розплаву в плавильній камері щодо ємності, що

обігрівається, під час плавки становив близько 100 мм. При цьому на індуктор подавали напругу 380 В, а на електромагніт 90 В. Струми в обмотках індуктора й електромагніта становили відповідно 38 і 2,5 А. Мала величина струму в електромагніті пояснюється тим, що рідкометалевий виток індукує у ньому магнітне поле такого напрямку, що відповідає режиму нагнітання. Тому на електромагніт подавали напругу, протилежну по фазі індукуємій, оскільки, навіть при знятті напруги з електромагніта, у контурі створюється надмірно велика витрата рідкого металу.

Температура розплаву на вході в плавильну камеру, що не обігрівається, у початковий момент після запуску становила 790°C, а втрата температури при проходженні ділянки, що не обігрівається, замкнутого металотракту не перевищувала 4°C. При циркуляції металу протягом 90 хвилин без плавлення шихти, температура знизилася й стабілізувалася на рівні 730°C. Після цього протягом 10 хвилин було розплавлено 2 кг алюмінієвого металобрухту. Маса шлаку, що утворився склала 0,33 кг, що відповідає 17 % від маси завантаженої шихти.

Варто підкреслити, що фільтр, установлений у плавильному контурі служить двом взаємозалежним цілям. Перша – не допустити заростання каналу, друга – забезпечити підвищення якості сплаву. Для визначення ефективності фільтрації рідкого алюмінієвого сплаву в установці МДН-6А при циркуляції в замкнутому контурі „тигель – канал” установки, на макеті провели два експерименти. Перший – плавка без фільтрації, другий – з фільтрацією. При запуску макета в обох експериментах використали однаковий алюмінієвий сплав, близький по складу до АД31. Перед і після плавлення однакової кількості шихти були відлиті циліндричні зразки діаметром 15 мм, з яких виготовили поперечні макрошліфи.



а.



б.

Рис. 2. Вплив фільтрації на макроструктуру вторинного алюмінієвого сплаву, отриманого переплавом тонкостінної шихти в експериментальному ПЦК із МДН: а – до фільтрації; б – після фільтрації

У першому експерименті ніякої зміни в макроструктурі не відбулося, у той час як у другому в 2 – 3 рази збільшився середній розмір макрозерна, що свідчить про ефективність фільтрації [4, 5].

### **Висновки**

1. Застосування МДН в експериментальному плавильному контурі істотно розширює можливості технології, тому що подібне магнітодинамічне устаткування, на відміну від широко застосовуваних електромагнітних насосів магнітного поля, що біжить, дозволяє в широких межах управляти не тільки швидкістю руху розплаву, але і його температурою.

2. Експериментально підтверджена доцільність застосування МДН у ПЦК „відбивна піч – магнітодинамічний насос – плавильна камера, що не обігрівается, – відбивна піч”.

3. Пінокерамічний фільтр, установлений на виході із плавильної камери, що не обігрівается, ефективно затримує неметалічні включення, наявні в рідкому металі, і захищає канал МДН від заростання.

4. В плавильній камері, що не обігрівается, при дотриманні певних умов можна випалювати лакофарбові покриття шихти з розвинутою поверхнею, завантажуючи її безпосередньо на поверхню потоку розплаву, не використовуючи „сухий під”.

### **Література**

1. Слажнев Н.А., Горюк М.С., Скоробагатько Ю.П. Применение магнитодинамического оборудования при переплаве отходов алюминиевых сплавов // Матеріали III Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих учених та спеціалістів „Зварювання та суміжні технології”. – К.: Інститут електрозварювання ім. Є.О.Патона НАН України. – 25 – 27 травня 2005 р. – С. 72.

2. Локшин М.З., Макаров Г.С. Современные тенденции в рециклировании алюминия // Цветные металлы. – 2001. – №11. – С. 90 – 94.

3. Дубоделов В.И., Горюк М.С., Фиксен В.Н. Анализ теплового режима переплава алюминиевых отходов в циркуляционном контуре с магнитодинамическим насосом // Металл и литье Украины. К.: Наукова думка, 2005. – №11 – 12. – С. 38 – 42.

4. Фиксен В.Н., Дубоделов В.И., Слажнев Н.А. Применение магнитодинамической установки в циркуляционном контуре для плавки отходов алюминиевых сплавов // Процессы литья. К.: Наукова думка, 2005. – № 4. – С. 5 – 10.

5. В.И.Дубоделов. Применение электромагнитных воздействий на металлические расплавы при получении сплавов и формировании заготовок и изделий // В зб.: Прогресивні матеріали і технології. – К.: Наукова думка, 2003. – Т. 1. – С. 195 – 235.