

В.І. Дубодєлов, проф., д-р техн. наук, М.С. Горюк, канд. техн. наук

Фізико-технологічний інститут металів і сплавів НАН України, м. Київ

В.М. Ломакін, доц., канд. техн. наук, В. В. Пукалов, доц., канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

Застосування магнітодинамічної установки в циркуляційному контурі для плавки відходів алюмінієвих сплавів

Розроблено магнітодинамічний циркуляційний контур для переплаву алюмінієвих відходів з розвиненою поверхнею. Головним елементом створеного контуру є магнітодинамічний насос, який забезпечує керовану циркуляцію та індукційний нагрів розплаву в системі.

магнітодинамічний контур, алюмінієві відходи, насос, стружка, плавка, сплав

Плавка стружки і інших видів алюмінієвого металобрухту з розвиненою поверхнею і лакофарбними покриттями супроводжується великим угаром, особливо у відбивних печах. При цьому в металевий розплав потрапляє велика кількість оксидних включень. Вдале рішення задачі плавки такої шихти знайшла на початку 1970-х років американська фірма The Carborundum Company Refractories & Electronics Division Metallurgical Branch [1]. Рідкий алюмінієвий сплав, перегрітий у відбивній печі, перекачується за допомогою механічного насоса (рис. 1) у спеціальну плавильну камеру, що необігрівається, розташовану поза піччю. У цю ємність завантажуються металобрухт, який плавиться за рахунок тепла рідкого металу, нагрітого в печі. З

© В.І. Дубодєлов, М.С. Горюк, В.М. Ломакін, В. В. Пукалов, 2011

плавильної камери розплав перетікає знову у відбивну піч (рис.2). Процес циркуляції металу по замкнутому контуру триває до закінчення плавки. При використанні такої технології істотно знижується угар металу в порівнянні з плавкою безпосередньо в печі. Одночасно забезпечується перемішування розплаву в печі, що особливо важливо для широко поширених відбивних печей, де практично відсутня термогравітаційна конвекція. Проте із-за ненадійності механічних насосів і їх швидкого зносу технологія не набула широкого поширення.

У 1990-х роках англійська фірма «EMP Technologies Ltd» [2] удосконалила цей технологічний процес, замінивши механічний насос для перекачування рідких металів електромагнітним циліндровим насосом з рухомим магнітним полем. Швидкість плавлення металобрухту до 6 т/год. Схема процесу (рис. 3) аналогічна схемі (рис. 2). Зовнішній вигляд застосованого електромагнітного насоса показаний на рис. 4.

В даній роботі проводилися експериментальні дослідження по використанню магнітодинамічного насоса (МДН) [3] замість циліндрового електромагнітного насоса з рухомим магнітним полем. Підставою для проведення роботи виявилась наявність ряду переваг, якими володіє МДН. Наприклад, магнітодинамічний насос МДН-6А забезпечує витрату рідкого металу близько 20 т/ч при споживаній потужності 35 кВт. Причому близько 90% потужності витрачається на нагрівання металу, що проходить через нього, в той час як циліндровий насос практично не нагріває метал, що проходить через нього.

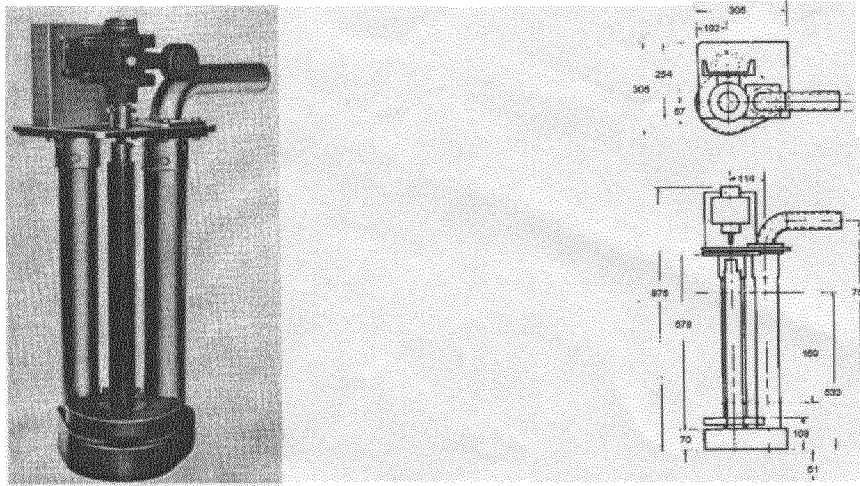


Рисунок 1 - Механічний насос для алюмінієвих сплавів (The Carborundum Company Refractories & Electronics Division Metallurgies Branch) (зовнішній вигляд і ескіз)

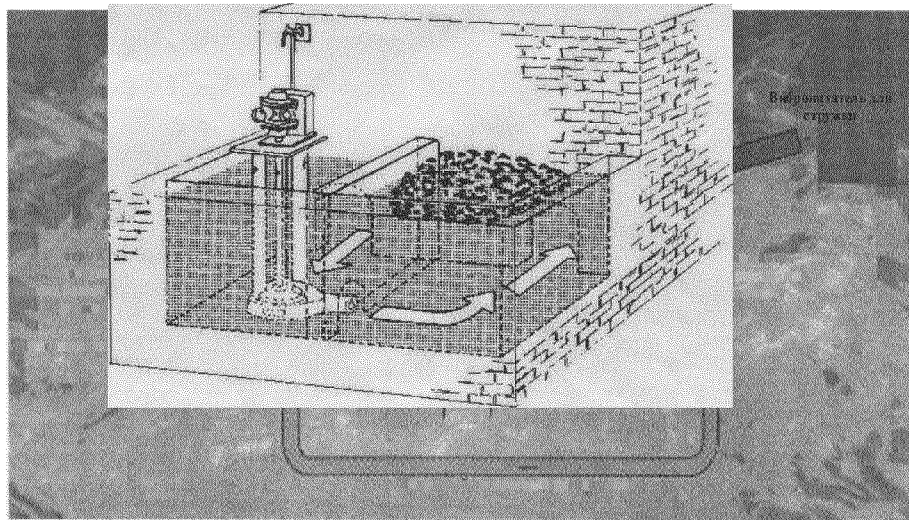


Рисунок 2 - Схема процесу плавки металобрухту з розвиненою поверхнею за рахунок тепла розплаву, що циркулює під дією механічного насоса (The Carborundum Company Refractories & Electronics Division Metallurgies Branch)

Крім того, коефіцієнт потужності магнітодинамічного насоса складає в середньому 0,65, а у циліндрового насоса не перевищує 0,1. Конструктивні особливості МДН дають можливість в процесі електромагнітного транспортування алюмінієвого сплаву по замкнутому контуру проводити його позапічну обробку. Технічну характеристику МДН не складно змінити відповідно до нових технічних вимог. Наприклад, у декілька

разів підвищити витрату і теплову потужність, а вертикальне розташування каналу замінити горизонтальним. В той же час необхідно відзначити, що безумовною перевагою насоса з рухомим магнітним полем перед МДН є простота каналу, що є прямою круглою трубою з карбіда кремнію. Проте ця перевага досягається ціною дуже низького коефіцієнта потужності і великого тепловиділення в індукторі. Для експлуатації такого насоса завжди потрібне інтенсивне безперерйне водяне охолодження, тоді як для МДН в більшості випадків достатньо повітряного охолодження. У разі аварійного відключення електроенергії магнітодинамічний насос може бути без ускладнень запущений знову через 30-40 хвилин, тоді як в каналі насоса з рухомим магнітним полем за цей час метал затвердне і розплавити його індукційними струмами буде неможливо.

Рисунок 3 – Схема процесу плавки з використанням електромагнітного насоса з рухомим магнітним полем (EMP TECHNOLOGIES LIMITED)

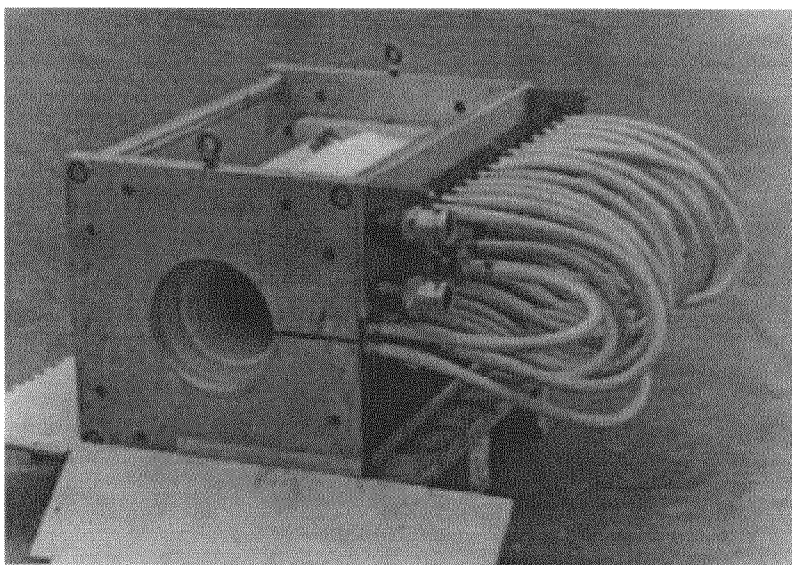
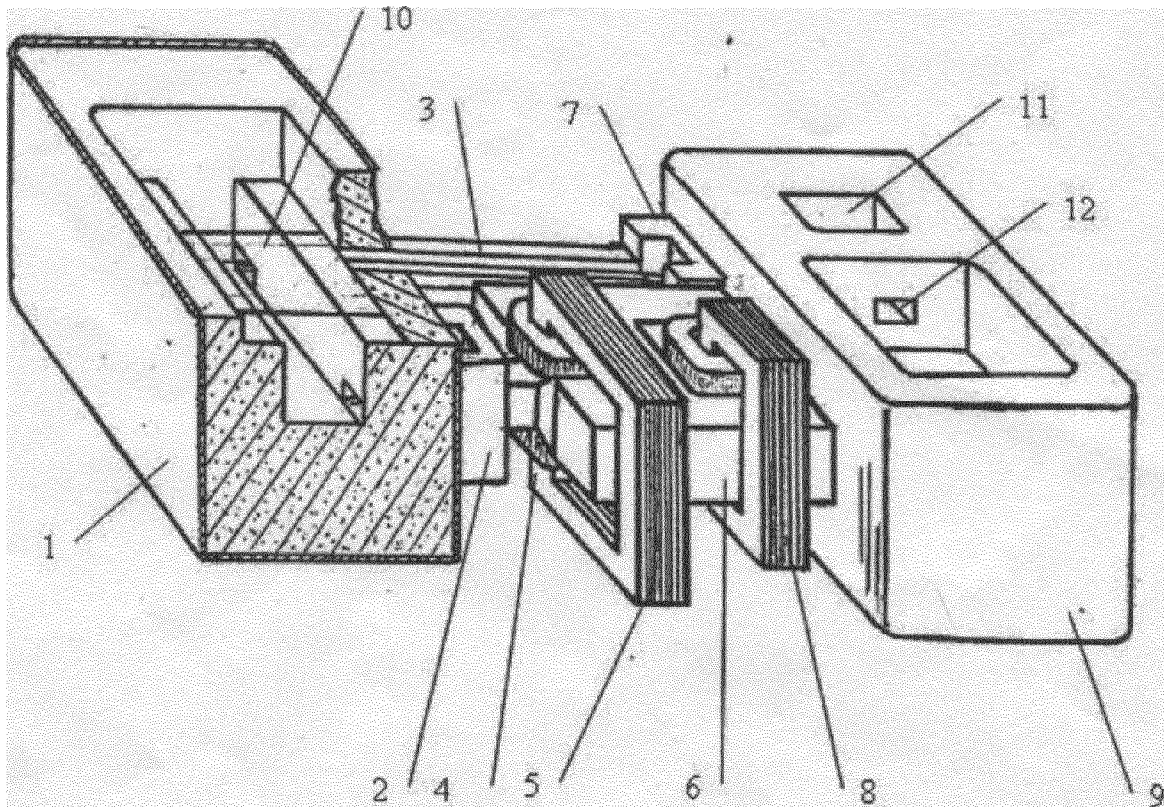


Рисунок 4 – Зовнішній вигляд циліндрового електромагнітного насоса з рухомим магнітним полем (EMP TECHNOLOGIES LIMITED)

Мета роботи полягала в тому, щоб експериментально встановити, наскільки придатний МДН для описаної технологічної схеми. Необхідно підкреслити, що в даній роботі йдеться про модель плавильного пристрою, а не про промислову плавильну установку. У лабораторних умовах нереально провести дослідження з використанням відбивної печі місткістю в декілька тон. Головне завдання роботи з моделлю полягає в отриманні експериментальних даних для побудови математичної моделі промислового процесу плавки з використанням магнітодинамічної установки в плавильному контурі. Додатково до основної мети було намічено розробити технологію фільтрації сплаву в замкнутому контурі. Це дозволить очистити сплав від оксидних включень і одночасно захистити канал МДН від заростання металом.

Для вирішення поставленої задачі була розроблена і виготовлена фізична модель плавильного пристрою, що має наступні послідовно сполучені елементи: камеру, що обігривається, імітуючу плавильну відбивну піч, електромагнітний насос типу МДН-3А, необігривальну плавильну камеру і жолоб, по якому розплав повертається в камеру, що обігривається (рис.5 і 6). Таким чином, модель має всі основні елементи циркуляційного плавильного контура (рис.3). Насос МДН-3А застосували у зв'язку з тим, що він конструктивно оформлений з горизонтальним каналом, що необхідно для реалізації контура. Насос МДН-6А міг би бути теж успішно застосований, проте для цього довелося б його конструктивно переробляти. До того ж в 1,5 разу зросла б маса металу, необхідна для запуску. Це істотно вплинуло б на вартість моделі. Технічна характеристика (таблиця 1), включає основні параметри моделі.



1 - плавильна камера, що необігрівається; 2 - 1-й перехідник; 3 - жолоб; 4 - робоча зона магнітодинамічного насоса; 5 - електромагніт; 6 - канал; 7 - 2-й перехідник; 8 - індуктор; 9 - камера, що обігрівається; 10 – сухий под; 11 - проміжна камера; 12 – отвір

Рисунок 5 - Схема фізичної моделі плавильного пристрою для дослідження процесу плавки по схемі рис. 3 з використанням електромагнітного насоса МДН-ЗА

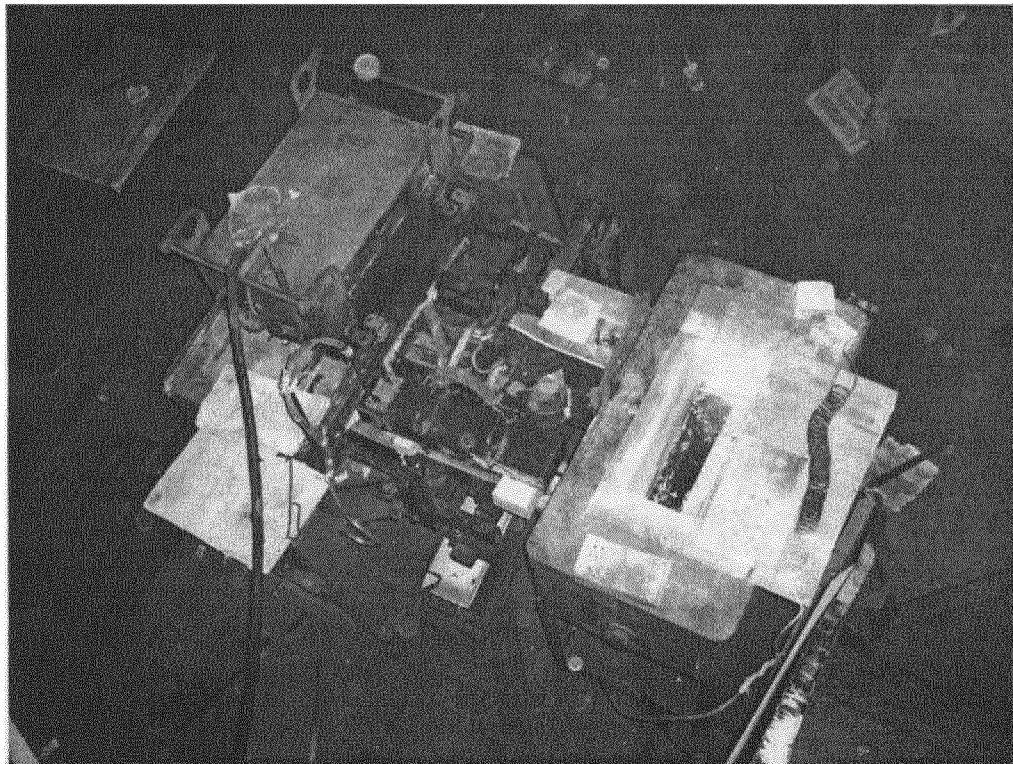


Рисунок 6 – Зовнішній вигляд фізичної моделі, побудованої по схемі рис. 5

Таблиця 1 - Технічна характеристика установки - фізичної моделі плавильного циркуляційного контура

Параметр	Значення
Електрична потужність спіралей камери, що обігрівається, кВт	8,0
Активна потужність індуктора магнітодинамічного насоса МДН-3, кВт	7,2
Електрична потужність обігрівача на жолобі, кВт	1,0
Діапазон регулювання напруги на індукторі і електромагніту, В	0-380
Максимальна величина електричного струму в обмотці індуктора, А	40
Максимальна величина електричного струму в обмотках електромагніту, А	50
Коефіцієнт потужності індуктора ($\cos \varphi$)	0,6
Мінімальна маса металу, що необхідна для запуску установки, кг	80
Максимальна місткість установки, кг	200
Габарити установки, мм	1950x1750x1300
Діапазон регулювання витрати металу в робочому режимі, кг/с	0,15-2,0

В якості металобрухту, що підлягав переплавці, вибрали найбільш несприятливу для цієї мети шихту - алюмінієві банки з під різних напоїв, кришки від пляшок і корпуси електролітичних конденсаторів, що вийшли з ладу (рис.7).

Після запуску моделі плавильного контура порцію шихти масою 1-2 кг висипали на поверхню потоку рідкого металу в плавильну камеру. Як було встановлено в експерименті, при товщині шару до 100 мм така шихта не занурюється в рідкий метал із-за малої середньої щільності і не зноситься потоком, а залишається на ньому, утримуваний окисною плівкою. Відбувається вигорання лакофарбних покриттів, органічних забруднень і видалення вологи. При цьому шихта окислюється незначно, а газоподібні продукти горіння не потрапляють в рідкий метал. Наступну порцію шихти завантажували поверх попередньої. При цьому нова порція дією своєї ваги занурює в рідкий метал попередню, яка при цьому плавиться в потоці. У знов завантаженої шихті відбувається вигорання покриттів і сушка. Після декількох завантажень на поверхні потоку накопичувався шлак, його видаляли і продовжували плавку.

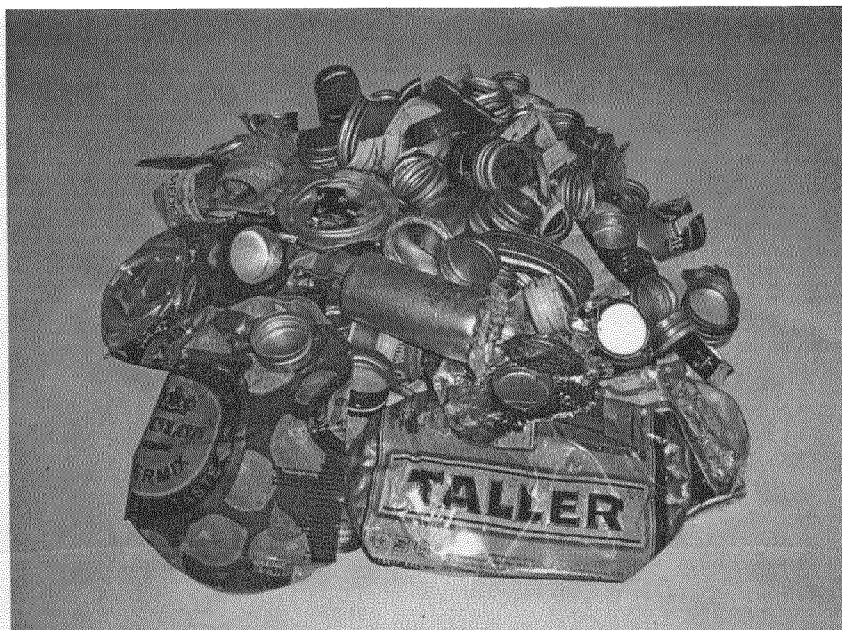


Рисунок 7 - Металобрухт з розвинутою поверхнею та лакофарбними покриттями, що підлягає переплавці на фізичній моделі плавильної установки (рис. 7)

Очевидно, що такий спосіб ведення плавки не запобігає надходженню в розплав оксидних включень, тому на виході з плавильної камери був встановлений пінокерамічний фільтр «CERALU», з показником пористості (PPI) 40 пор на квадратний дюйм, німецької фірми «Drache Umwelttechnik Gmb & Co. KG». Схема його розташування і фотографія в роботі показані на рис. 8. Бічні поверхні фільтру були покриті непроникним для розплаву шаром спеціального матеріалу. Ефективність роботи фільтру, залежить від швидкості протікання рідкого металу через нього.

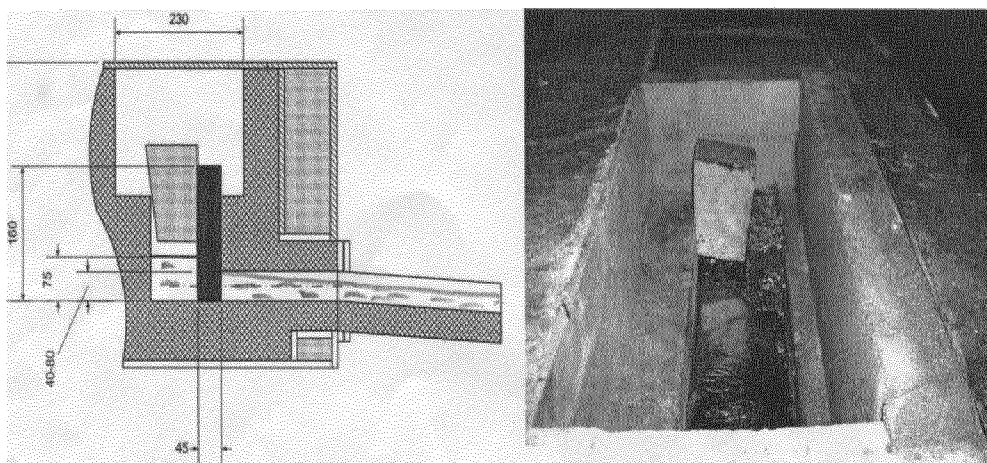


Рисунок 8 - Схема зони фільтрування металу на виході із плавильної камери і фільтр, встановлений на виході із плавильної камери при роботі моделі плавильної установки

В інструкції до фільтру вказується оптимальна величина витрати фільтрованого металу через одиницю його площі. В описуваному експерименті робоча площа фільтру визначалася площею вихідного отвору з плавильної камери, яку він перекривав. Відповідно цій площі оптимальна витрата рідкого металу через фільтр на виході з плавильної камери повиненна знаходитися в інтервалі 0,10-0,15 кг/с.

Перепад рівнів розплаву в плавильній камері відносно обігріваної під час плавки складав біля 100 мм. При цьому на індуктор подавали напругу 350 В, а на електромагніт 120 В. Струми, що протікають по обмотках індуктора і електромагніту склали відповідно 32 і 6 А. Мала величина струму в електромагніті пояснюється тим,

що рідкометалевий виток індуктує в ньому магнітне поле такого напрямку, який відповідає режиму нагнітання. Тому на електромагніт подавали напругу, протилежну по фазі індуктованій, оскільки навіть при знятті напруги з електромагніту в контурі створюється надмірно велика витрата рідкого металу.

Температура розплаву на вході в плавильну камеру в початкові моменти після запуску складала 780 °С, а втрата температури при проходженні ділянки замкнутого необігріваного металлотракта не перевищувала 4 °С. При циркуляції металу на протязі 90 хвилин без плавлення шихти, температура знизилася і стабілізувалася на рівні 730 °С. Після цього протягом 1 години було розплавлено близько 5 кг металобрухту, тип якого показаний на рис. 7. В процесі плавки температура знизилася до 680°С, проте після припинення плавки температура зросла до 730°С протягом 20 хвилин.

Враховуючи результати роботи [4], де була експериментально доведена ефективність фільтрації рідкого алюмінієвого сплаву в установці МДН-6А в замкнутому контурі “тигель- канал” установки, на моделі провели два основні експерименти при ідентичних початкових станах. Перший експеримент - плавка без фільтрації. Другий - з фільтрацією. При запуску моделі в обох експериментах використовували однаковий сплав, близький по складу до АК7. Перед плавленням і після плавлення однакової кількості шихти (5кг), відлили циліндрові зразки діаметром 15 мм, з яких виготовили поперечні шліфи. Аналіз результатів показав, що в першому експерименті ніякої зміни в макроструктурі не відбулося, тоді як в другому в 3 - 4 рази зменшився середній розмір макрозерна, що свідчить про ефективність фільтрації.

Таким чином, головними підсумками проведеної роботи є наступні результати:

1. Експерименти не виявили ніяких протипоказань по застосуванню магнітодинамічних насосів в плавильних контурах «відбивна піч - магнітодинамічний насос - плавильна камера, що необігрівается- -відбивна піч».

2. Експериментально визначені параметри, необхідні для побудови математичної моделі, що відображає реальний процес плавлення в досліджуваному плавильному контурі для розрахунку промислового варіанту.

3. Пінокерамічний фільтр, встановлений на виході з плавильної камери, що необігрівается, ефективно затримує неметалеві включення, наявні в рідкому металі, і надійно захищає канал магнітодинамічної установки від заростання металом.

4. Показано, що в плавильній камері, що необігрівается, при дотриманні певних умов можна випалювати лакофарбні покриття шихти з розвиненою поверхнею, завантажуючи її безпосередньо на поверхню потоку розплаву.

Список літератури

1. Комплект технических материалов, касающихся различных типов насосов для перекачки жидких металлов, направленный в 1974 г Институту проблем литья АН УССР Всесоюзным объединением «Лицензинторг», г.Москва. Материалы были получены от фирмы «The Carborundum Company Refractories & Electronics Division Metallurgical Branch» (США).
2. Web: WWW/emptechnologies/com
3. Магнитодинамические насосы для жидких металлов/ Полищук.В.П., Цин М.Р., Горн Р.К. и др.- Киев : Наук. Думка, 1989. - 256 с.
4. Велик В.И., Фикссен В.Н., Скоробагатько Ю.П. Рафинирование и модифицирование алюминиевого сплава АД31 в магнитодинамической установке // Процессы литья. - 2004. №3.- С. 20-24.

В. Дубоделов, М. Горюк, В. Ломакин, В. Пукалов

Использование магнитодинамической установки в циркуляционном контуре для плавки отходов алюминиевых сплавов

Разработан магнетодинамический циркуляционный контур для переплава алюминиевых отходов с развитой поверхностью. Главным элементом созданного контура является магнетодинамический насос, который обеспечивает управляемую циркуляцию и индукционный нагрев расплава в системе

V. Dubodelov, M. Goryuk, V. Lomakin, V. Pukalov

Using of magnetodynamic equipment in a circulative contour for melting down wastes of aluminum alloys

The magnetodynamic circulative equipment for smelting-down aluminum waste with large surface is developed. The main element of created equipment is magnetodynamic pump which provides controlled circulation and inductive overheating alloys in system

Одержано 16.03.11