

Є. Солових

Підвищення несучої здібності конструкційних елементів газотурбінних устаткувань

На основе создания многофункциональных вакуум-плазменных (PVD) покрытий рассмотрена проблема повышения несущей способности элементов газотурбинных установок, в частности, титановых лопаток компрессора. Исследовано также, влияние PVD-покрытий вида TiN, (TiAl)N и (TiC)N на эрозионную стойкость циклическую прочность титанового сплава под воздействием температуры 350...640⁰C и частоты нагружения 10 кГц. Рассмотрено влияние на образцы и детали из титанового сплава с покрытиями изотермической и термоциклической ползучести. Рабочие температуры находятся в диапазоне 350...640⁰C. Предложена концепция управления характеристиками поверхностного слоя и эксплуатационными показателями, позволяющими получать гарантированный эффект упрочнения деталей газотурбинных установок

E. Solovykh

Increase of carrying capacity of constructional elements of gas-turbine plants

On the base of creation of multifunctional vacuum plasma coats (PVD) the problem of increasing carrying capacity of elements in gas-turbine plants-titanium compressor blade is considered the article. The influence of PVD-coats like TiN, (TiAl)N and (TiC)N on erosion resistance, repeated strength of titanium alloy under the action of the temperature 350...640⁰C and loading frequency 10 kg-c is also investigated. The influence on the samples and details of titanium alloy with coats of exothermic and thermo cycling creepage is considered. The conception of control by characteristics of surface layer and operation indicators which allow to get the guaranteed effect of detail hardening of gas-turbine plants is suggested.

Одержано 18.03.11

УДК 621.746.5

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 неогрівається, розташовану поза піччю. У цю ємність завантажується металобрухт, який плавиться за рахунок тепла рідкого металу, нагрітого в печі. З

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.

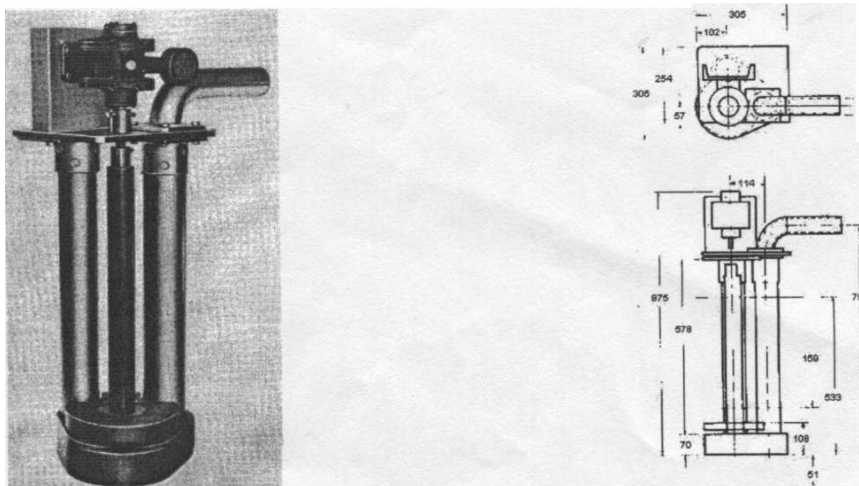


Рисунок 1 - Механічний насос для алюмінієвих сплавів (The Carborundum Company Refractories & Electronics Division Metallurgies Branch) (зовнішній вигляд і ескіз)

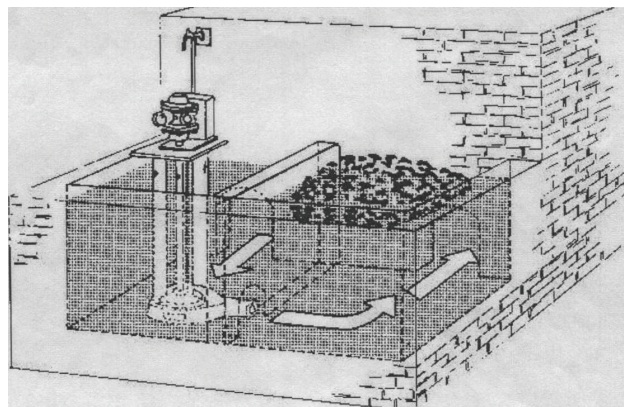


Рисунок 2 - Схема процесу плавки металобрухту з розвинутою поверхнею за рахунок тепла розплаву, що циркулює під дією механічного насоса (The Carborundum Company Refractories & Electronics Division Metallurgies Branch)

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 безперебійне 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.

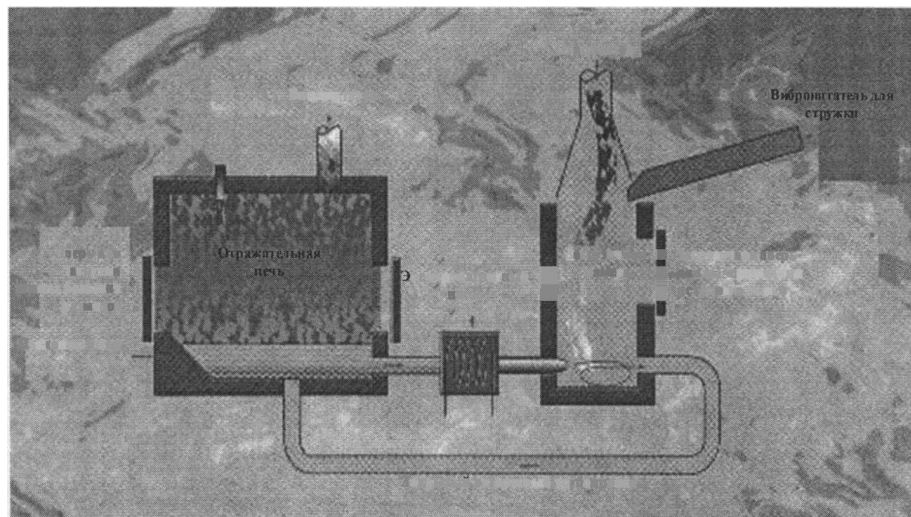


Рисунок 3 – Схема процесу плавки з використанням електромагнітного насоса з рухомим магнітним полем (EMP TECHNOLOGIES LIMITED)

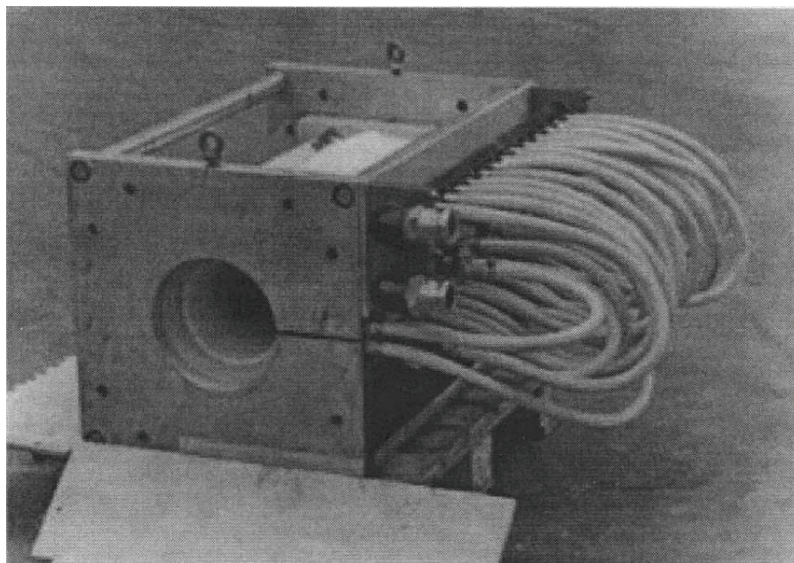
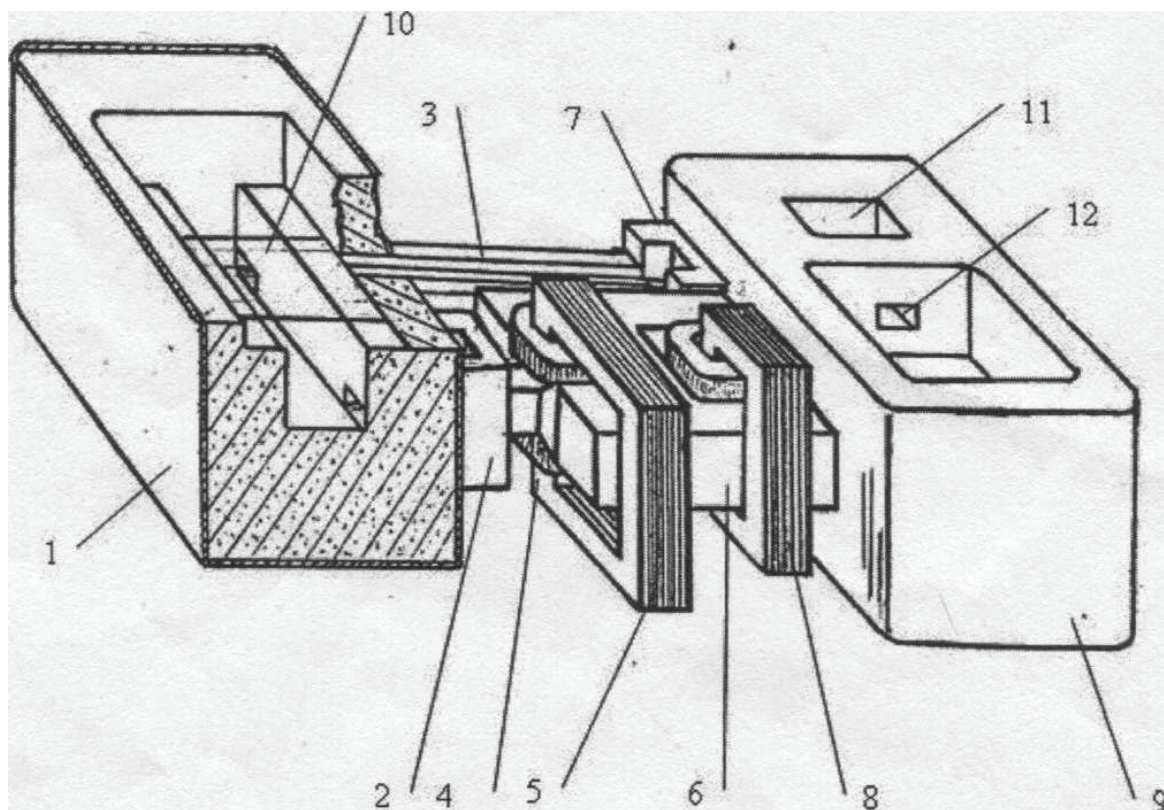


Рисунок 4 – Зовнішній вигляд циліндрового електромагнітного насоса з рухомим магнітним полем (EMP TECHNOLOGIES LIMITED)

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 необігривається; 2 - 1-й перехідник; 3 - жолоб; 4 - робоча зона магнітодинамічного насоса; 5 - електромагніт; 6 - канал; 7 - 2-й перехідник; 8 - індуктор; 9 - камера, що обігривається; 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-3А

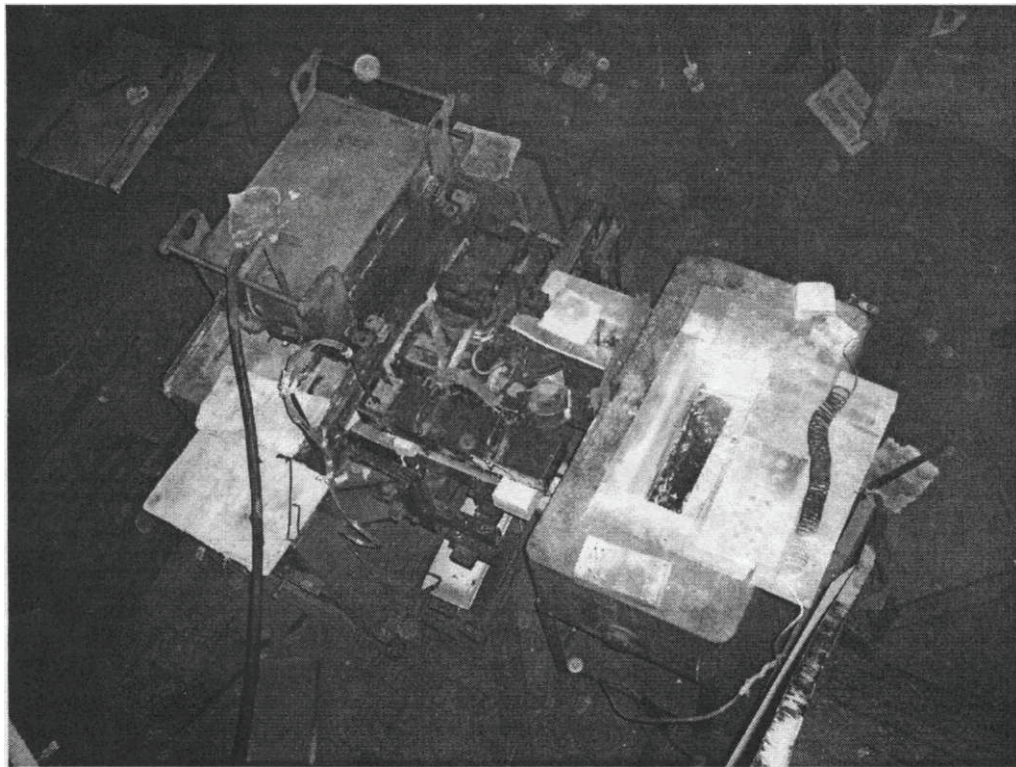


Рисунок 6 – Зовнішній вигляд фізичної моделі, побудованої по схемі рис. 5

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

Параметр	Значення
Електрична потужність спіралей камери, що обігрівается, 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 ($\cos \phi$)	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.

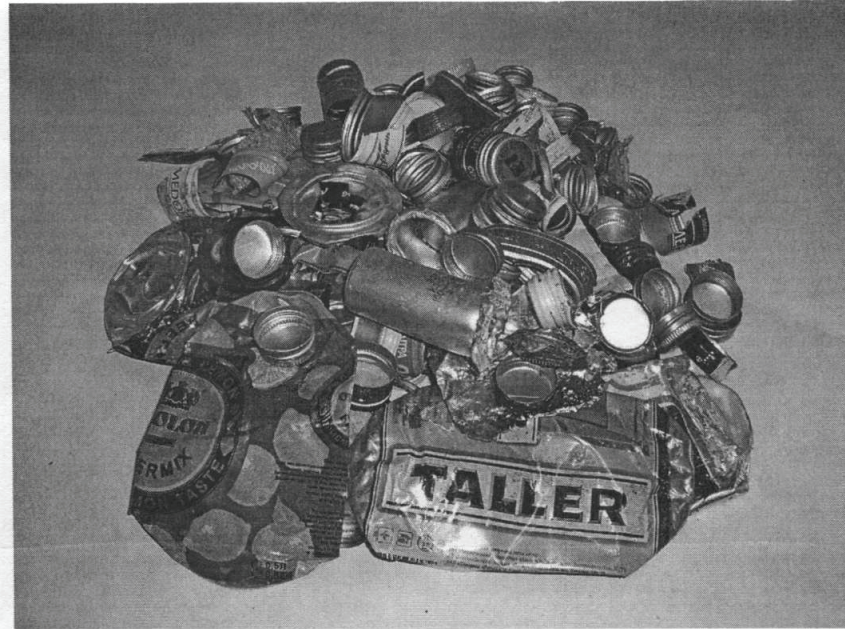


Рисунок 7 - Металобрухт з розвинутою поверхнею та лакофарбними покриттями, що підлягає переплавці на фізичній моделі плавильної установки (рис. 7)

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.

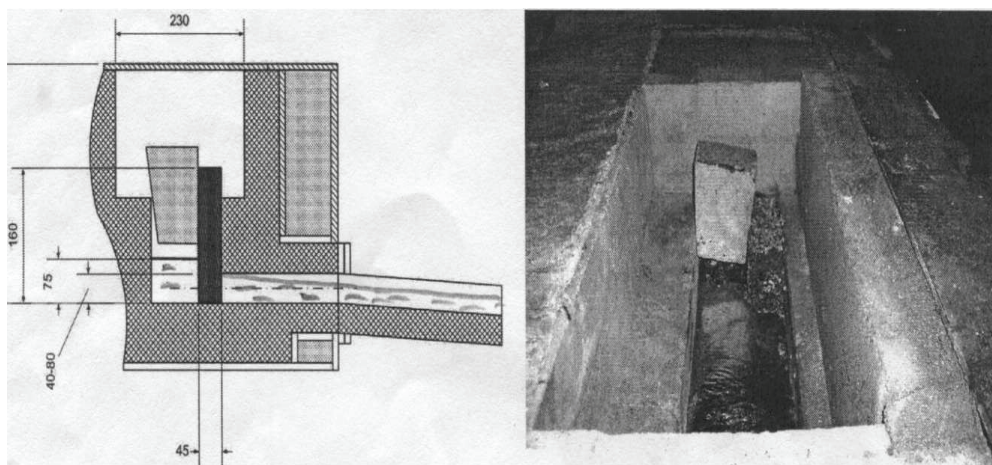


Рисунок 8 - Схема зони фільтрування металу на виході із плавильної камери і фільтр, встановлений на виході із плавильної камери при роботі моделі плавильної установки

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 складали 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 магнитодинамический циркуляционный контур для переплава алюминиевых отходов с развитой поверхностью. Главным элементом созданного контура является магнитодинамический 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

УДК 630.377.4

О.Г.Кривоконь, доц., канд. філософ. наук

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Класифікаційні ознаки навантаження опорної основи ходових систем мобільних енергетичних засобів

У статті розглянуто класифікаційні ознаки мобільних енергетичних засобів відповідно до різноманітних за генезою критеріїв. Висвітлюється залежність постійного навантаження та розвиток деформації опорної основи від часу.

опорна основа, мобільні енергетичні засоби, деформація, постійне навантаження

Різні автори з метою систематизації конструкційних і експлуатаційних особливостей намагались класифікувати мобільні енергетичні засоби (МЕЗ). Методологічні підходи базувались на певних критеріях. У рамках формальних класифікаційних ознак широко представлені такі групи МЕЗ, як транспортно-технологічні системи (ТТС), будівельно-дорожні машини (БДМ), колісні машини, трактори, автомобілі тощо. Вивченням класифікації МЕЗ займаються Баловнев В.І., Беляков В.В., Бородачев І.П., Бочаров Н.Ф., Гоберман Л.А., Домбровський Н.Г., Ксеневич І.П., Платонов В.Ф., Полунгян А.А., Хархута Н.Я. та багато інших вчених.

Ґрунти і дорожньо-будівельні матеріали, як основні елементи опорної основи МЕЗ, мають різну фізичну природу, склад, структуру, властивості. У рамках певних формальних класифікаційних ознак їх подають такі вчені: Богуславський А.М., В'ялов С.С., Гезенцвей Л.Б., Герсєванов Н.М., Гольдштейн М.Н., Горєлишев Н.В., Зарецький Ю.К., Колотілін В.Є., Корольов І.В., Куляшов А.П., Сергєєв Є.М., Цитович Н.А., Ковтун В.В., Фірман П.Н., Пащенко В.Ф. та інші.

© О.Г.Кривоконь, 2011