

№ 2. ВІДДІЛ СТАБІЛІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ЕНЕРГІЇ

УДК 621.74:537.84

ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ СИСТЕМИ ДЛЯ ПЕРЕМІШУВАННЯ ТА ДОЗУВАННЯ МЕТАЛЕВИХ РОЗПЛАВІВ

А.К. Шидловський, акад. НАН України, **Ю.М. Гориславець**, докт. техн. наук,
О.І. Глухенький, канд. техн. наук
Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна

Наведено основні результати досліджень відділу стабілізації параметрів електромагнітної енергії протягом 2012 року в галузі електромагнітної обробки рідких металів, спрямованих на розроблення і створення нових ефективних електромагнітних систем для перемішування та дозування металевих розплавів. Бібл. 7, рис. 5.

Ключові слова: електромагнітні системи, рідкий метал, комп'ютерне моделювання, електромагнітне поле, гідродинамічна течія, керований розпад струменя металу, металеві гранули.

Одним із основних наукових напрямків діяльності відділу стабілізації параметрів електромагнітної енергії Інституту електродинаміки НАН України, поряд з іншими, є підвищення ефективності використання електроенергії за рахунок розроблення нових та модернізації існуючих енерго- і ресурсозберігаючих технологій та обладнання для електромагнітної обробки металу в рідкому стані. У 2012 році за цим напрямком у відділі виконувалися такі дослідження:

1. Розроблення математичних моделей та проведення комп'ютерного моделювання тривимірних електромагнітних полів і гідродинаміки для однофазних перемішувачів рідкого металу (НДР "Пульс").

2. Розроблення та створення дослідного зразка установки для дозування рідкого металу підвищеної продуктивності (НДР "Еліна-П").

1. Тривимірне моделювання однофазного електромагнітного перемішувача рідкого металу. Електромагнітне перемішування рідкого металу є одним з найбільш ефективних способів підвищення якості металевих розплавів та литих заготовок. Раніше для відбивної печі, що використовується для плавки й приготування алюмінієвих сплавів, було виконано попередню оцінку можливості використання в якості електромагнітних перемішувачів однофазних індукторів, що створюють пульсуюче магнітне поле [5]. Конструкція таких перемішувачів є досить простою, що зумовлює їх високу експлуатаційну надійність, і допускає установку на діючих плавильних печах. Проведений аналіз показав, що перемішувач пульсуючого поля в порівнянні з аналогічними пристроями біжучого поля при забезпеченні однакової інтенсивності руху розплаву дає змогу організувати у ванні печі технологічно більш ефективну (двоконтурну) течію рідкого металу. Проведений у двовимірній постановці розрахунковий аналіз електромагнітних і гідродинамічних процесів у системі "перемішувач – ванна з рідким металом" дає змогу виявити і якісно проаналізувати лише загальні закономірності. Проте для отримання достовірних кількісних характеристик необхідно проведення тривимірного моделювання таких процесів.

З цією метою було розроблено тривимірну модель розрахунку електромагнітного поля та гідродинаміки для перемішувача рідкого металу, який виконано у вигляді однофазного індуктора, пристикованого до бічної стінки ванни печі (рис. 1) [2]. Розглядався конструктивний варіант індуктора з Ш-подібним шихтованим магнітопроводом, на середньому стержні (керні) якого намотана багатовиткова котушка.

Розрахунок тривимірних електромагнітної і гідродинамічної задач проводився чисе-

льно методом скінченних елементів за допомогою пакета мультифізичного моделювання Comsol 3.4 [7]. Задача розв'язувалася як у повній магнітогідродинамічній (МГД) постановці, так і з використанням безіндукційного наближення, згідно з яким електромагнітні та гідродинамічні процеси розглядалися незалежно один від одного.

Задача розрахунку електромагнітного поля формулювалася щодо комплексних амплітуд векторного магнітного та скалярного електричного потенціалів. Зазначимо, що на сьогодні в теорії відсутнє чітке обґрунтування формулювань задач чисельного розрахунку електромагнітного поля з використанням потенціалів. Значною мірою це можна пояснити тим, що в рамках класичної теорії електромагнітного поля вони відіграють роль суто розрахункових, позбавлених фізичного сенсу допоміжних функцій. У той же час використання потенціалів в якості фізичних величин дає змогу [1]: представляти в диференціальному вигляді явище електромагнітної індукції; окремо розглядати електрорушійні сили, які створюються локальним розподілом електричних зарядів у наелектризованому стані; прямо встановлювати залежності між локальними характеристиками електромагнітного поля з електричною напругою; ставити і чисельно розв'язувати польові задачі, в яких джерелами поля виступає прикладена напруга.

Враховуючи обмежені розрахункові параметри персональних комп'ютерів, для забезпечення можливості проведення тривимірного моделювання були прийняті наступні спрощуючі припущення. Зважаючи на симетричне розташування індуктора щодо ванни печі, розглядалася тільки одна (права на рис. 1) половина печі й індуктора. Шихтований магнітопровід вважався неелектропровідним, магнітна проникність приймалася постійною, втратами на гістерезис і вихрові струми нехтувалося. Реальна неоднорідна структура котушки представлялася однорідним непровідним середовищем з рівномірно розподіленою заданою густиною струму. Потрібно зазначити, що за таким представленням котушки втрачається реальний розподіл скалярного електричного потенціалу в її об'ємі. Проте, враховуючи вкрай незначну величину ємнісного зв'язку між індуктором і металом у ванні печі, ця обставина практично не впливає на розподіл вихрових струмів у рідкому металі.

Розрахункова область електромагнітної задачі є кусково-неоднорідною і включає в себе підобласті магнітопроводу, котушки, навколишнього повітряного середовища і футеровки бічної стінки печі, а також об'єму рідкого металу у ванні печі. Для забезпечення можливості завдання в якості джерела поля струму в котушці з врахуванням його різного просторового напрямку в лобових та пазовій частинах індуктора в розрахунковій моделі котушка представлена трьома підобластями.

Для всіх підобластей розрахункової області система диференціальних рівнянь, що описує електромагнітне поле, в загальному випадку має вигляд

$$\nabla \times (\mu_0^{-1} \mu_r^{-1} \nabla \times \dot{\mathbf{A}}) + (j\omega\sigma - \omega^2 \epsilon_0 \epsilon_r) \dot{\mathbf{A}} - \sigma \mathbf{u} \times (\nabla \times \dot{\mathbf{A}}) + (\sigma + j\omega \epsilon_0 \epsilon_r) \nabla \dot{\phi} = \mathbf{J}_{\text{зовн}}; \quad (1)$$

$$\nabla \mathbf{J}_{\text{повн}} = 0; \quad (2)$$

$$\nabla \dot{\mathbf{A}} = 0, \quad (3)$$

де μ_0 і ϵ_0 – магнітна і діелектрична проникності вакууму; μ_r і ϵ_r – відносні магнітна і діелектрична проникності; σ – питома електропровідність; \mathbf{u} – швидкість руху; ω – кутова частота; $\mathbf{J}_{\text{зовн}}$ – комплексна амплітуда зовнішньої густини струму; $\mathbf{J}_{\text{повн}}$ – комплексна амплітуда повної густини струму, яка включає в себе густини струмів зміщення і провідності.

Значення зовнішньої густини струму задаються тільки в підобластях, що моделюють котушку індуктора. Ненульові значення швидкості \mathbf{u} в електромагнітній задачі присутні тільки в підобласті з рідким металом. При спільному рішенні в мультифізичному режимі з

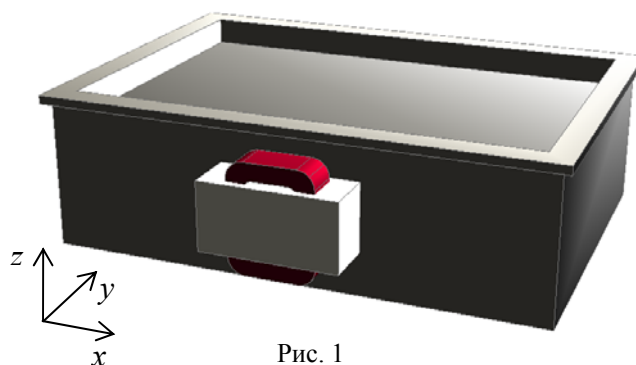


Рис. 1

гідродинамічною задачею розраховані значення швидкості рідкого металу у ванні печі автоматично задаються в електромагнітній задачі.

На зовнішній границі розрахункової області задавалися граничні умови двох видів. Площина симетрії в електромагнітній задачі моделювалась диференціальною "магнітною" умовою $\mathbf{n} \times \dot{\mathbf{A}} = 0$ й інтегральною "електричною" умовою $\int -\mathbf{n} \cdot \dot{\mathbf{J}} = I_0$ (I_0 – ампервитки котушки). Перша вказує на наявність у площині симетрії тільки нормальної до неї складової векторного магнітного потенціалу, що забезпечує відсутність на цій границі нормальної складової магнітної індукції $\dot{\mathbf{B}}$. Друга умова задає на границі кожної з підобластей інтегральне значення струму, яке не дорівнює нулю тільки в поперечних перетинах котушки. На всіх інших поверхнях зовнішньої границі задавалися нульове значення векторного магнітного потенціалу $\dot{\mathbf{A}} = 0$ і умова електричної ізоляції $\mathbf{n} \cdot \dot{\mathbf{J}} = 0$. Додатково в довільній точці розрахункової області вводилося нульове значення скалярного електричного потенціалу $\dot{\phi} = 0$.

За результатами розрахунку (отриманими значеннями векторного магнітного та скалярного електричного потенціалів) визначалися електромагнітні сили в рідкому металі, а також такі інтегральні величини, як напруга, активна, реактивна і повна потужності індуктора, тепловиділення (втрати) у рідкому металі та ін.

Питомі електромагнітні сили в рідкому металі визначалися у відповідності з виразом

$$\mathbf{f} = 0,5 \operatorname{Re} (\dot{\mathbf{J}} \times \dot{\mathbf{B}}^*), \quad (4)$$

де $\dot{\mathbf{J}} = \sigma(-\nabla\dot{\phi} - j\omega\dot{\mathbf{A}} + \mathbf{u} \times \dot{\mathbf{B}})$ – густина струму провідності в рідкому металі; $\dot{\mathbf{B}}^*$ – спряжений комплекс індукції магнітного поля, $\dot{\mathbf{B}} = \nabla \times \dot{\mathbf{A}}$.

Комплексна потужність індуктора (системи "індуктор – ванна з рідким металом") визначалася з виразу

$$\tilde{S} = \frac{1}{2} \int_{V_k} \frac{\dot{\mathbf{J}} \dot{\mathbf{J}}^*}{\sigma} dv + j\omega \frac{1}{2} \int_{V_k} \mathbf{A} \dot{\mathbf{J}}^* dv, \quad (5)$$

де V_k – об'єм котушки індуктора. Перший доданок правої частини рівняння (5) завжди є дійсним числом і згідно з законом Джоуля-Ленца представляє активну потужність, що виділяється у вигляді теплоти в котушці індуктора. У нашому випадку, коли котушка представлена непровідним середовищем з рівномірно розподіленою густиною струму, втрати в ній визна-

чалися наближено відповідно до виразу $P_1 = 0,5 I^2 R_1$, де опір котушки R_1 обчислювався виходячи з кількості витків, середньої довжини витка, його перерізу і питомої електропровідності проводу котушки. Другий доданок правої частини рівняння (5) у загальному випадку є комплексним числом, що має дійсну і уявну складові. Дійсна складова відповідає втратам у ванні з рідким металом і витратам потужності на приведення його в рух. Уявна складова представляє реактивну потужність індуктора Q .

Підведена до індуктора напруга визначалася за знайденим значенням комплексної потужності індуктора \tilde{S} і заданим струмом в котушці I .

Втрати, що виділяються у ванні у вигляді теплоти, знаходилися шляхом інтегрування локальних тепловиділень за об'ємом рідкого металу V_M :

$$P_2 = \frac{1}{2} \int_{V_M} \frac{\dot{\mathbf{J}} \dot{\mathbf{J}}^*}{\sigma} dv. \quad (6)$$

Механічна потужність, що витрачається на приведення рідкого металу в рух, має вид

$$P_{\text{мех}} = -\frac{1}{2} \operatorname{Re} \int_{V_M} (\mathbf{u} \times \dot{\mathbf{B}}) \cdot \dot{\mathbf{J}}^* dv. \quad (7)$$

Розрахункова область гідродинамічної задачі є однорідною. Швидкість \mathbf{u} рідкого металу визначається шляхом чисельного розв'язання рівнянь Нав'є-Стокса для турбулентної

течії з використанням k-ε моделі турбулентності:

$$\rho_m (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = -\nabla p + \nabla \cdot (\eta_{\text{еф}} \nabla \mathbf{u}) + \mathbf{f}; \quad (8)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0, \quad (9)$$

де ρ_m – густина рідкого металу; p – тиск; $\eta_{\text{еф}}$ – коефіцієнт ефективної динамічної в'язкості металу; \mathbf{f} – об'ємні електромагнітні сили в рідкому металі, обчислені відповідно до виразу (4).

Граничні умови задавалися таким чином. У площині симетрії приймалася умова симетрії. На решті зовнішніх поверхонь рідкого металу гранична умова задавалася у вигляді логарифмічного профілю швидкості для приграничного шару. Для спрощення задачі така ж умова приймалася і на верхній поверхні, що дало змогу не розглядати тим самим деформування вільної поверхні рідкого металу. Крім того, на поверхні металу в довільній точці задавалося нульове значення тиску.

Як параметр, що характеризує ефективність перемішування рідкого металу у ванні печі, використовувалося усереднене за об'ємом ванни значення швидкості, яке визначалося відповідно до виразу

$$W = \frac{1}{V_m} \int_{V_m} \sqrt{u^2 + v^2 + w^2} dv, \quad (10)$$

де u, v, w – просторові складові швидкості рідкого металу за координатами x, y, z відповідно.

Згідно з представленою методикою досліджувалися електромагнітні та гідродинамічні процеси в системі "однофазний індуктор – ванна з рідким металом" для відбивної печі, що плавить алюміній. Моделювання виконувалося за таких вихідних даних. Ванна печі має розміри (по рідкому металу): довжина – 3 м, ширина – 2 м, висота – 0,5 м. Однофазний індуктор розташований уздовж довшої сторони (стілки) ванни симетрично як за довжиною, так і за висотою рідкого металу на відстані від нього 0,1 м (товщина футеровки). Габаритні розміри магнітопроводу індуктора складають: довжина – 0,6 м; ширина і висота – по 0,3 м. Котушка індуктора з поперечними розмірами в перерізі 0,1 на 0,2 м, яка намотана на середній керн магнітопроводу, має 30 витків.

Розрахунки виконувалися з метою визначення впливу частоти живлення $\nu = \omega/2\pi$ однофазного індуктора на структуру течії, а також на електромагнітні та енергетичні параметри перемішувача рідкого металу. Такі розрахунки проводилися для двох варіантів: при фіксованому значенні струму (ампервитків) котушки індуктора ($I = \text{const}$) і фіксованій повній потужності індуктора ($S = \text{const}$). На рис. 2 представлено залежності усередненої швидкості руху W від частоти ν для цих двох варіантів. У випадку $I = \text{const}$ зазначена задача розв'язувалася як в повній МГД постановці (пунктирна крива), так і в безіндукційному наближенні (безперервна крива). У результаті було встановлено, що в першому наближенні індукованим за рахунок руху металу полем у цьому випадку можна знехтувати і розв'язувати задачі розрахунку електромагнітного поля і гідродинаміки незалежно одна від одної.

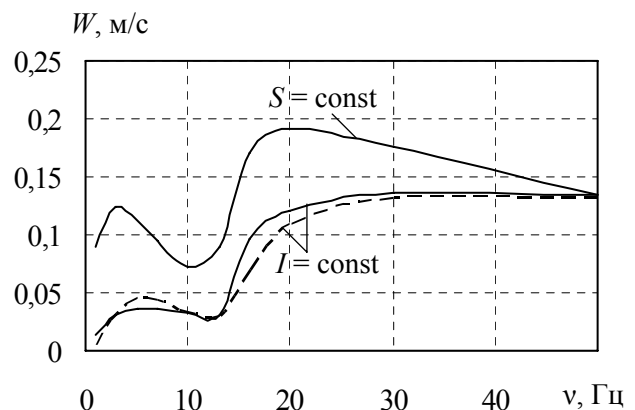


Рис. 2

Представлені на рис. 2 дані вказують на суттєвий вплив частоти живлення індуктора на інтенсивність руху рідкого металу в ванні печі. Дещо незвичний, на перший погляд, вид отриманих залежностей (кривих) пояснюється зміною структури (напрямку руху) вихрової течії рідкого металу в ванні у діапазоні критичних частот $\nu_{\text{кр}} = 10 \dots 13$ Гц. Якщо при частотах, вищих за критичні, ($\nu > \nu_{\text{кр}}$) двоконтурна вихрова течія спрямована в один бік (див. рис. 3, а), то при $\nu < \nu_{\text{кр}}$ напрям її руху змінюється на протилежний (рис. 3, б). Перебудова структури течії рідкого металу зі зміною частоти викликана, ймовірно, зміною співвідношення

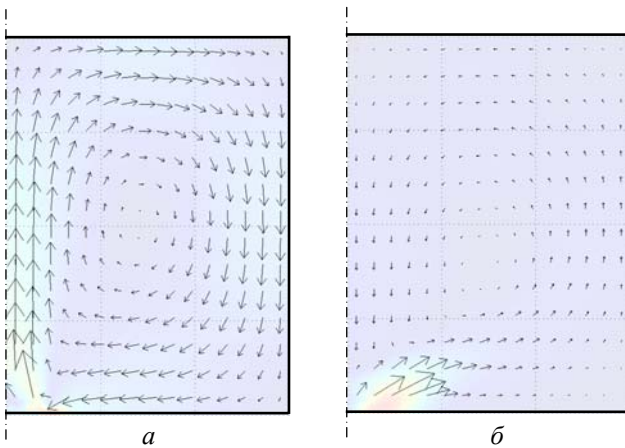


Рис. 3

нормальних f_y і тангенціальних f_x складових електромагнітних сил, кожна з яких прагне обертати метал у протилежних напрямках. Незважаючи на те, що тангенціальні сили менші нормальних сил більш ніж на порядок, внесок їх у загальний рух істотний. Оскільки вони спрямовані проти руху, створеного нормальними (основними в однофазному індукторі) електромагнітними силами, то вони прагнуть гальмувати цей рух. Розрахунки показують, що в області критичних частот співвідношення сил складає $F_y/F_x \approx 10$, де $F_x = \int_{V_M} f_x dv$ і $F_y = \int_{V_M} f_y dv$ –

інтегральні електромагнітні сили. При $v > v_{кр}$ це співвідношення більше 10, а при $v < v_{кр}$ воно менше цього значення.

Таким чином, проведені дослідження виявили суттєвий вплив частоти живлення однофазного індуктора не тільки на інтенсивність, а й на структуру вихрового руху рідкого металу, що може бути використано в технології перемішування металевого розплаву.

2. Розроблення та створення дослідного зразка установки для дозування рідкого металу підвищеної продуктивності. Сучасна промисловість значною мірою потребує металевої продукції у вигляді різноманітних гранул, дробу, малих за розміром ливарних заготовок. Такою продукцією є, наприклад, гранули з алюмінію, які використовують як розкислювач сталі або каталізатор при виробництві легкоплавкого галію. Із свинцю отримують мисливський та спортивний дріб, а з олов'яно-свинцевих сплавів – гранули для виробництва композиційних (флюсомістких) припоїв, які випускаються у вигляді волокнистого дроту для ручного і автоматичного паяння деталей. У більшості випадків такі гранули повинні мати круглу форму і однаковий розмір, особливо коли мова йде про виробництво мисливського та спортивного дробу.

В Інституті електродинаміки НАН України було розроблено установку для лиття металевого дробу, основним елементом якої є електромагнітний дозатор, що реалізує керований капілярний розпад струменя рідкого металу [6]. Електромагнітний дозатор цієї установки побудовано на базі електромагнітної системи з перехресними електричним і магнітним полями, що має вигляд електромагніта змінного струму, у проміжку якого розташовано канал з поздовжнім змінним струмом. Останній підводиться до рідкого металу в каналі кондукційним способом. Живлення каналу й електромагніта здійснюється від промислової мережі. З метою реалізації можливості керування рівнем електромагнітних зусиль без впливу на швидкість витікання струменя рідкого металу з каналу в дозаторі за рахунок зсуву фаз між магнітним полем електромагніта і струмом у каналі в 90 ел. град. забезпечується відсутність постійної складової цих сил.

У результаті взаємодії електричного струму в каналі з магнітним полем електромагніта в рідкому металі виникають електромагнітні сили, що змінюються в часі з подвоєною частотою мережі живлення. Таким чином, розпад (подрібнення) струменя рідкого металу в дозаторі відбувається з постійною частотою 100 Гц для всіх розмірів дробу, що виробляється цією установкою. А це означає, що масова продуктивність її суттєво залежить від розміру дробу. Так, якщо продуктивність установки при отриманні свинцевого дробу діаметром 5 мм складає приблизно 300 кг/год (що є досить прийнятною величиною), то вже при діаметрі 4 мм вона знижується до 150 кг/год, а при 2 мм сягає всього ~20 кг/год.

Подальшим розвитком цих робіт стало розроблення та створення нової установки для виробництва свинцевого дробу (гранул) підвищеної продуктивності [3]. Відмінність її по відношенню до попередньої установки полягає в тому, що електромагнітний дозатор цієї установки дає змогу подрібнювати струмені рідкого металу на частотах від 100 до 400 Гц за-

мість фіксованої частоти (100 Гц) у попередній установці. Це стало можливим за рахунок розроблення для цього дозатора спеціальної системи живлення на основі перетворювача частоти, який дає змогу незалежно регулювати вихідні напругу і частоту.

За схемотехнічною побудовою нова установка схожа на попередню. Вона поєднує в собі процеси плавлення металу в індукційній каналній печі, що входить до її складу, перемішування розплаву й підтримання стабільного його рівня за допомогою магнітодинамічного насоса, формування циліндричних струменів рідкого металу і електромагнітного подрібнення їх за допомогою електромагнітного дозатора з утворенням монодисперсних сферичних частинок розплаву та кристалізації останніх у водяних плівках. Таким чином, завантажуючи в цю установку твердий метал, на виході її отримують готовий дріб.

Основна відмінність нової установки полягає в електромагнітному дозаторі, в якому електромагнітні зусилля створюються за рахунок взаємодії змінного електричного струму в каналі, що наводиться індукційним шляхом, з постійним магнітним полем електромагніта. Струм у каналі наводиться індуктором, що живиться від системи, яка має можливість незалежно регулювати напругу (від 0 до 270 В) і частоту в діапазоні 100...400 Гц. Під дією отриманих таким чином електромагнітних сил і відбувається подрібнення струменів рідкого металу, які витікають з робочої частини каналу. Частота дозування при цьому не є фіксованою, тобто не прив'язана до частоти промислової мережі. Оскільки в цьому дозаторі використовується електромагніт постійного струму, то електромагнітні сили в каналі змінюються з частотою, яку задає ця система (без постійної складової сил).

Інша відмінність нової установки полягає у збільшенні кількості струменів рідкого металу. Це стало можливим за рахунок розроблення для неї нової конструкції кристалізатора, який забезпечує створення системи горизонтальних водяних плівок шириною до 10 см, що дає змогу охолоджувати в них до трьох струменів металу одночасно. Перетинаючи при вільному падінні послідовно ці плівки, сформовані частинки рідкого металу охолоджуються і кристалізуються (затвердівають).

Таким чином, підвищення продуктивності нової установки для виробництва металевого дробу (гранул) досягнуто як за рахунок збільшення кількості струменів рідкого металу, так і шляхом підвищення частоти їх розпаду (подрібнення). На рис. 4 показано загальний вигляд цієї установки разом з джерелом живлення, а рис. 5 демонструє реалізований на ній процес розпаду циліндричних струменів рідкого металу (свинцю) різного діаметру. На рис. 5 *а* зображено розпад одного струменя металу діаметром 2,8 мм на частоті 180 Гц, рис. 5 *б* демонструє розпад двох струменів діаметром 2 мм на частоті 240 Гц і на рис. 5 *в* показано процес подрібнення одночасно трьох струменів металу діаметром 1,2 мм на частоті 340 Гц. Діаметр утворених



Рис. 4

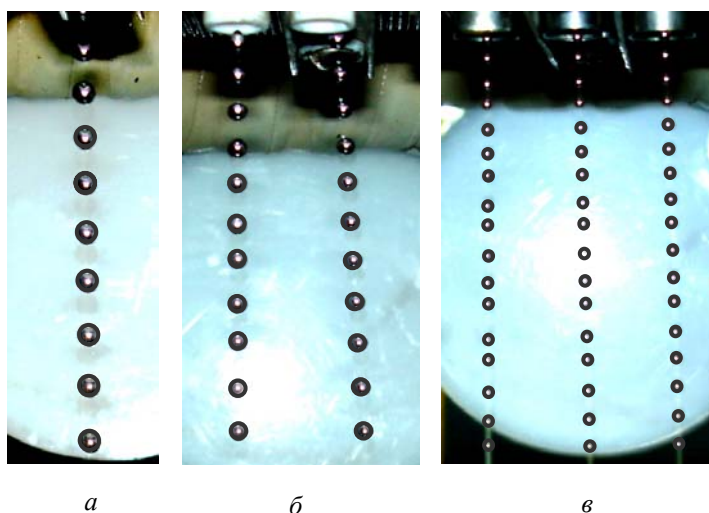


Рис. 5

при цьому частинок розплаву відповідно склав 4, 3 і 2 мм. У порівнянні з електромагнітним дозатором на промисловій частоті продуктивність розробленої установки зросла в першому, другому і третьому випадках у 1,8, 4,8 і 10,2 разів, що склало приблизно 270, 300 і 195 кг/год відповідно.

У результаті проведених експериментальних досліджень були отримані основні технологічні (робочі) характеристики нової установки у вигляді залежностей, які зв'язують діаметр фільтр (насадків), що формують струмені рідкого металу, з діаметром отриманих монодисперсних частинок (гранул, дробу), висотою розплаву над фільтрами і частотою керованого розпаду циліндричних струменів рідкого металу [3, 4].

1. Глухенький А.И., Гориславец Ю.М. Скалярный электрический и векторный магнитный потенциалы в теории электромагнитного поля // Техн. електродинаміка. – 2012. – № 2. – С. 7–8.
2. Глухенький А.И., Гориславец Ю.М., Токаревский А.В. Трёхмерное моделирование однофазного электромагнитного перемешивателя жидких металлов // Техн. електродинаміка. – 2013. (у друці).
3. Гориславец Ю.М., Глухенький О.И., Михальський В.М., Токаревський А.В. Установка для электромагнитного дозирования рідкого металу підвищеної продуктивності // Техн. електродинаміка. – 2012. – № 5. – С. 74–80.
4. Гориславец Ю.М., Глухенький О.И., Токаревський А.В. Экспериментальне дослідження керованого каплярного розпаду циліндричного струменя рідкого металу // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. – К.: ІЕД НАН України, 2012. – Вип. 33. – С. 120–124.
5. Дубоделов В.И., Фиксен В.Н., Глухенький А.И., Гориславец Ю.М. МГД перемешиватели алюминиевых сплавов с пульсирующим магнитным полем // Техн. електродинаміка. – 2009. – № 1. – С. 61–66.
6. Шидловский А.К., Гориславец Ю.М., Глухенький А.И. Электромагнитные системы для дозирования жидких металлов. – К.: Вид. Ін-ту електродинаміки НАН України, 2011. – 208 с.
7. Comsol Multiphysics. – <http://www.comsol.com>.

УДК 621.74 : 537.84

А.К. Шидловский, акад. НАН України, **Ю.М. Гориславец**, докт. техн. наук, **А.И. Глухенький**, канд. техн. наук
Институт электродинамики НАН України,
пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина

Электромагнитные системы для перемешивания и дозирования металлических расплавов

Приведены основные результаты исследований отдела стабилизации параметров электромагнитной энергии в течение 2012 года в области электромагнитной обработки жидких металлов, направленных на разработку и создание новых эффективных электромагнитных систем для перемешивания и дозирования металлических расплавов. Библ. 7, рис. 5.

Ключевые слова: электромагнитные системы, жидкий металл, компьютерное моделирование, электромагнитное поле, гидродинамическое течение, управляемый распад струи металла, металлические гранулы.

A.K. Shydlovskiy, Yu.M. Goryslavets, O.I. Glukhen'kyi

Institute of Elektrodynamics National Academy of Science of Ukraine,
pr. Peremogy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine

Electromagnetic systems for stirring and batching molten metal

The main research results of department stabilization of electromagnetic energy parameters during 2012 in the field of electromagnetic processing of liquid metals are presented. The researchs are focused on the development and creation of new and effective electromagnetic systems for stirring and batching molten metal. References 7, figures 5.

Key words: electromagnetic systems, liquid metal, computer simulation, electromagnetic field, hydrodynamic flow, controlled decay of metal jet, metallic granules.

Надійшла 27.02.2013

Received 27.02.2013