

СИЛОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ІНДУКЦІЙНОЇ КАНАЛЬНОЇ ПЕЧІ З ОБЕРТАЛЬНИМ РУХОМ РІДКОГО МЕТАЛУ

Ю.М. Гориславець¹, докт. техн. наук, О.І. Глухенький², канд. техн. наук

1, 2 – Ін-т електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна

На основі розробленої математичної моделі індукційної каналної печі з обертальним рухом рідкого металу виконано аналіз силових параметрів печі, в якості яких розглядалися електромагнітні сили і обертальний момент, що виникають в металі, параметри руху розплаву, а також сили, що діють на неметалеві домішки в каналі печі. Бібл. 5, рис. 8.

Ключові слова: індукційна канална піч, обертання рідкого металу, електромагнітні сили, електромагнітний момент, неметалеві частинки.

Вступ. Індукційні каналні печі широко використовуються для плавки як чорних, так і кольорових металів. Такі печі живляться напругою промислової частоти, не потребуючи спеціальних джерел живлення, і мають досить високий ККД. Відомі конструктивні рішення індукційних каналних печей, у яких електромагнітними засобами створюється обертальний рух рідкого металу в каналах. Наявність такого руху дає змогу вирішити певну низку важливих технологічних задач, а саме: інтенсифікувати тепломасообмін між індукційними каналами й ванною печі, знизити “заростання” каналів окислами, реалізувати безпосередньо в печі очищення (рафінування) розплаву від газових і твердих неметалевих домішок.

У наукових працях [1, 3] описано конструкції печей з обертальним рухом металу, в різних постановках досліджено електромагнітні та гідродинамічні явища, що в них протікають.

Метою цієї роботи є узагальнення результатів досліджень, де проаналізовано силові характеристики печей з обертальним рухом, якими є електромагнітні сили і моменти, що виникають в рідкому металі печі, параметри руху розплаву, а також сили, що діють на неметалеві домішки в такому потоці.

Дослідження зазначених характеристик проводилися на прикладі індукційної каналної печі для плавлення і приготування алюмінієвих сплавів, конструкцію якої представлено в роботі [1]. Вона складається з ванни, до якої пристиковано каналну частину з електромагнітною системою (так звану індукційну одиницю). Канальна частина печі з електромагнітної точки зору – це короткозамкнутий виток, в якому індукційним способом наводиться електричний струм. Вона складається з двох циліндричних каналів круглого поперечного перерізу, які сполучені між собою двома з’єднувальними каналами. Наведення електричного струму в рідкому металі каналної частини печі здійснюється за допомогою індуктора з замкнутим магнітопроводом (осердям) П- або Ш-подібного виду.

Обертальний рух металу в циліндричних каналах печі створюється електромагнітною системою, яка включає в себе штатний індуктор печі і допоміжну котушку. Остання може виконуватися у вигляді двох намотаних поверх індуктора секцій, зустрічно з’єднаних між собою. У цій котушці протікає електричний струм, фазовий кут зсуву якого по відношенню до струму індуктора складає 90 ел. град. За рахунок цього в області обох циліндричних каналів магнітне поле індуктора (поле розсіювання) і магнітне поле допоміжної котушки зсунуті між собою у просторі і в часі на 90 ел. град., що призводить до виникнення в каналах тангенціальних сил, а отже, і появи обертального електромагнітного моменту.

Математична модель печі. Для індукційної каналної печі з обертальним рухом рідкого металу в циліндричних каналах розроблено квазітривимірні математичні моделі для розрахунку електромагнітного поля печі. В роботі [1] таку модель представлено при заданих струмах в індукторі і допоміжній котушці, а в роботі [3] – при заданих напругах на обох ко-

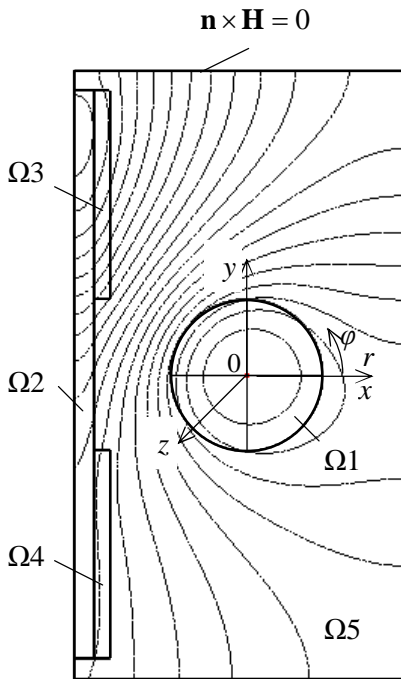


Рис. 1

тушках з врахуванням схеми під'єднання їх до живильної мережі (пічного трансформатора). Для спрощення поставленої задачі скористаємось першою з них, тобто моделлю, що використовує в якості вихідних даних ампер-витки в обох котушках. Крім того, будемо розглядати піч, магнітопровід якої має Ш-подібну форму.

На рис. 1 представлено розрахункову область печі, точніше системи “індуктор з допоміжною котушкою – рідкометалевий виток”. Оскільки така система симетрична відносно осі індуктора (броньовий Ш-подібний магнітопровід охоплює обидва циліндричні канали), поле розглядається в одній її половині. Крім цього вважається, що магнітна проникність феромагнітного матеріалу магнітопроводу нескінченно велика і тому він також не розглядається. Таким чином, розрахункова область на рис. 1 обмежена контуром, що проходить по внутрішній поверхні однієї половини феромагнітного осердя, на якому задана гранична умова $\mathbf{n} \times \mathbf{H} = 0$. Ця область включає в себе підобласті циліндричного каналу Ω_1 , індуктора Ω_2 , допоміжної котушки Ω_3 і Ω_4 , а також підобласть футерувального матеріалу та навколишнього середовища Ω_5 .

Електромагнітне поле в такій системі у випадку живлення індуктора та допоміжної котушки від джерел змінного струму \dot{I}_i і \dot{I}_k за наявності руху рідкого металу зі швидкістю $\mathbf{u} = \{u_x; u_y\}$ можна описати системою інтегродиференціальних рівнянь для єдиного компонента векторного магнітного потенціалу \dot{A}_z (далі \dot{A}) і рівняння балансу напруги для рідкометалевого витка відносно таких невідомих: потенціалу \dot{A} і струму в рідкометалевому витку (струму в каналі) \dot{I}_b .

Рівняння для векторного потенціалу:

$$\mu_0^{-1}(\nabla \times \nabla \times \dot{A}) + j\omega\sigma\dot{A} - \sigma\mathbf{u} \times (\nabla \times \dot{A}) = \left(\dot{I}_b + j\omega\sigma \int_{\Omega_1} \dot{A} ds - \sigma \int_{\Omega_1} (\mathbf{u} \times (\nabla \times \dot{A})) ds \right) S_{\text{цк}}^{-1} \quad \text{в області } \Omega_1; \quad (1)$$

$$\mu_0^{-1}(\nabla \times \nabla \times \dot{A}) = -\dot{I}_i w_i / S_i \quad \text{в області } \Omega_2; \quad (2)$$

$$\mu_0^{-1}(\nabla \times \nabla \times \dot{A}) = \begin{cases} -\dot{I}_k w_k / S_k & \text{в області } \Omega_3; \\ +\dot{I}_k w_k / S_k & \text{в області } \Omega_4; \end{cases} \quad (3)$$

$$\mu_0^{-1}(\nabla \times \nabla \times \dot{A}) = 0 \quad \text{в області } \Omega_5. \quad (4)$$

Рівняння балансу напруги для рідкометалевого витка:

$$0 = \dot{I}_b (2R_{\text{цк}} + Z_{\text{зк}}) + 2j\omega l_{\text{цк}} S_{\text{цк}}^{-1} \int_{\Omega_1} \dot{A} ds - 2l_{\text{цк}} S_{\text{цк}}^{-1} \int_{\Omega_1} (\mathbf{u} \times (\nabla \times \dot{A})) ds. \quad (5)$$

У цих рівняннях $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м; σ – питома електропровідність рідкого металу; ω – кутова частота; w_i і w_k – число витків індуктора і допоміжної котушки (однієї секції); $l_{\text{цк}}$ і $S_{\text{цк}}$ – довжина і площа поперечного перерізу циліндричного каналу; S_i і S_k – площі перерізів індуктора і секції додаткової котушки; $R_{\text{цк}} = l_{\text{цк}} / (\sigma S_{\text{цк}})$ – опір циліндричного каналу постійному струму; $Z_{\text{зк}}$ – сумарний повний опір обох з'єднувальних каналів, які знаходились поперечно на основі розв'язання додаткових польових задач у відповідності з роботою [2].

Виразивши з рівняння (5) струм \dot{I}_b і підставивши його в (1), отримаємо наступний вираз для правої частини рівняння (1), що має розмірність густини струму:

$$\mathbf{J}_1 = \sigma \frac{Z_{зк}}{2R_{цк} + Z_{зк}} S_{\Omega 1}^{-1} \left(j\omega \int_{\Omega 1} \dot{A} ds - \int_{\Omega 1} (\mathbf{u} \times (\nabla \times \dot{A})) ds \right). \quad (6)$$

Розв'язання рівнянь (1)...(4) з врахуванням виразу (6) при відомій швидкості \mathbf{u} дає змогу отримати розподіл параметрів електромагнітного поля (індукції магнітного поля $\dot{\mathbf{B}}$, густини струму $\dot{\mathbf{J}}$ та ін.) в циліндричному каналі печі (в області $\Omega 1$), що дає можливість розрахувати питомі електромагнітні сили, які виникають у рідкому металі:

$$\mathbf{f} = 0,5 \operatorname{Re} (\dot{\mathbf{J}} \times \dot{\mathbf{B}}^*), \quad (7)$$

де $\dot{\mathbf{B}}^*$ – спряжений комплекс індукції магнітного поля.

Для визначення швидкості рідкого металу \mathbf{u} залучалися рівняння гідродинаміки у вигляді рівнянь Нав'є-Стокса з k - ε моделлю турбулентності:

$$\rho(\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = -\nabla p + \rho \nabla \cdot [(\nu + \nu_t) \nabla \mathbf{u}] + \mathbf{f}; \quad (8)$$

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

де ρ – густина рідкого металу; p – тиск; ν і ν_t – коефіцієнти кінематичної і турбулентної в'язкості металу відповідно.

Згідно з k - ε моделлю турбулентності коефіцієнт турбулентної в'язкості визначається як

$$\nu_t = C_\mu k^2 / \varepsilon, \quad (10)$$

де C_μ – емпірична константа; k – густина кінетичної турбулентної енергії; ε – швидкість її дисипації. Останні параметри зв'язані між собою та швидкістю \mathbf{u} двома диференціальними рівняннями [5], які розв'язуються разом з рівняннями (8) і (9).

Гідродинамічна задача розглядалася для області $\Omega 1$ (див. рис. 1), тобто розраховувалася швидкість руху рідкого металу в поперечному перерізі циліндричного каналу. Гранична умова на стінці каналу при цьому задавалася у вигляді логарифмічного профілю швидкості для пограничного шару.

Далі розглядалися сили, що діють на неметалеві частинки, які знаходяться в рідкому металі цієї печі. Такими частинками можуть бути різноманітні оксидні домішки або їх об'єднання з газовими включеннями. У більшості випадків їх питома електропровідність і густина суттєво відрізняються від аналогічних параметрів розплавленого металу. За рахунок цього на них будуть діяти сили, відмінні від сил, що діють на рідкий метал.

Припускалося, що зазначені неметалеві частинки мають сферичну форму. Перебуваючи в полі електромагнітних сил \mathbf{f} , на кожну таку частинку буде діяти електрична сила [4]

$$\mathbf{F}_e = \frac{\pi}{4} d^3 \frac{\sigma_s - \sigma}{\sigma_s + 2\sigma} \mathbf{f}, \quad (11)$$

де d – діаметр частинки; σ_s – питома електропровідність матеріалу частинки.

Під дією обертального руху рідкого металу в циліндричному каналі на цю частинку буде діяти також механічна сила (сума доцентрової і відцентрової сил)

$$\mathbf{F}_m = \frac{\pi}{6} d^3 \hat{\omega}^2 (\rho_s - \rho) \mathbf{r}, \quad (12)$$

де $\hat{\omega} = u_\phi / r$ – кутова швидкість рідкого металу в поперечному перерізі каналу; r – поточний радіус обертального руху; $u_\phi = -u_x \sin \phi + u_y \cos \phi$ – тангенціальна швидкість рідкого металу; ρ_s – густина матеріалу частинки.

Знаходячись в обертальному потоці розплаву, неметалева частинка під дією сумарної сили $\mathbf{F}_s = \mathbf{F}_e + \mathbf{F}_m$ буде переміщатися відносно потоку металу. В залежності від величини і співвідношення складових цієї сили неметалева частинка, рухаючись по спіральній траєкторії, буде мігрувати або до стінки каналу, або до його осі. Якщо частинка рухається в напрямку циліндричної стінки, то вона, зрештою, осідає на ній, що й призводить до такого негативного факту, як “заростання” каналу. У випадку зворотного руху ця частинка, зіштовхуючись

і коагулюючи з іншими подібними частинками, створює оксидний конгломерат, який знаходиться в каналі у постійному обертальному русі. Після вимкнення печі від живильної напруги такий конгломерат (їх може бути декілька) виринає на поверхню металу. Таким чином, у другому випадку зменшується ефект “заростання” каналу окислами, а також відбувається очищення розплаву від неметалевих домішок, що покращує якість металевих сплавів.

Результати комп'ютерного моделювання. Чисельні розрахунки виконувалися методом скінчених елементів як в безіндукційному наближенні [без врахування наведених за рахунок руху рідкого металу електрорушійних сил (ЕРС)], так і в повній магнітогідродинамічній постановці. У першому випадку розрахунки електромагнітної задачі [рівняння (1)–(4)] і гідродинамічної задачі [рівняння (8)–(9)] проводили окремо, при цьому при розв’язанні електромагнітної задачі рухом рідкого металу нехтували. У другому випадку задачі розв’язувалися сумісно, що давало змогу враховувати ЕРС руху рідкого металу.

Розрахунки проводилися для індукційної каналної печі при наступних вихідних даних: рідкий метал – алюміній ($\sigma = 4,6 \cdot 10^6 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$, $\rho = 2,4 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$, $\nu = 10^{-6} \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$); $\omega = 2\pi \cdot 50 \text{ с}^{-1}$; діаметр циліндричного каналу – 0,19 м; довжина $l_{\text{цк}} = 1,125 \text{ м}$. Повний сумарний опір обох з’єднувальних каналів, отриманий в результаті розв’язання додаткових польових задач у відповідності з роботою [2], для цієї печі склав

$$Z_{\text{зк}} = (0,35 + j1,25) \cdot 10^{-4} \text{ Ом.}$$

В якості незалежних змінних виступали ампер-витки індуктора I_{iW_i} і ампер-витки додаткової котушки I_{kW_k} при фіксованому значенні фазового кута зсуву між струмами \dot{I}_i і \dot{I}_k , який складав 90 ел. град.

Спочатку зупинимось на результатах розрахунку силових параметрів печі, отриманих в безіндукційному наближенні. На рис. 1 наведено картину електромагнітного поля у вигляді ізоліній абсолютних значень векторного магнітного потенціалу в розрахунковій області для $I_{iW_i} = 60 \text{ кА}$ і $I_{kW_k} = 40 \text{ кА}$. Ампер-витки допоміжної котушки в індукційній каналній печі вносять несиметрію в розподіл поля відносно осі x , що позначається також на електромагнітних силах, які розвиваються в рідкому металі.

Векторні поля електромагнітних сил \mathbf{f} у поперечному перерізі циліндричного каналу показано на рис. 2. Рис. 2 а належить до випадку, коли $I_{kW_k} = 0$, а рис. 2 б – коли $I_{kW_k} = 40 \text{ кА}$. У відсутності додаткової котушки ($I_{kW_k} = 0$) розподіл електромагнітних сил в каналі відносно осі x є симетричним. Всі вони спрямовані приблизно в напрямку осі каналу, тобто, по суті, є радіальними, тангенціальна ж компонента практично відсутня. При вмиканні додаткової котушки симетрія розподілу сил порушується, з’являються тангенціальні сили f_ϕ . Якщо проінтегрувати останні за поперечним перерізом каналу, можна отримати питомий (на одиницю довжини каналу) електромагнітний обертальний момент

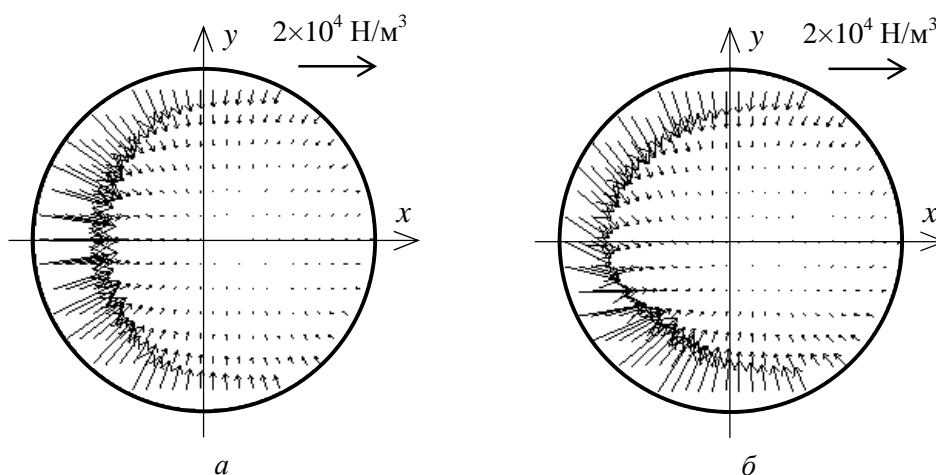


Рис. 2

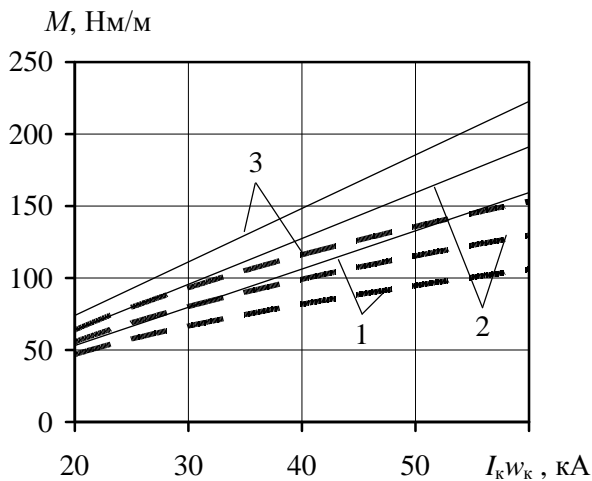


Рис. 3

$$M = \int_{\Omega_1} f_{\varphi} r ds. \quad (13)$$

На рис. 3 представлено цей параметр (суцільні лінії) в залежності від ампер-витків додаткової котушки для різних значень ампер-витків індуктора (1 – $I_i W_i = 50$ кА; 2 – $I_i W_i = 60$ кА; 3 – $I_i W_i = 70$ кА). Як впливає з цього рисунка, електромагнітний момент M лінійно залежить як від ампер-витків додаткової котушки, так і від ампер-витків індуктора.

Під дією електромагнітних сил \mathbf{f} в каналі печі виникає рух рідкого металу, параметри якого визначаються шляхом розв'язання диференціальних рівнянь (8) і (9). У випадку, коли струм у допоміжній котушці відсутній ($I_k W_k = 0$), у поперечному перерізі циліндричного каналу виникає симетрична двоконтурна вихрова течія (рис. 4 а).

З появою струму в допоміжній котушці симетрія цієї течії порушується. Зі збільшенням ампер-витків котушки інтенсивність одного вихору зростає, а іншого зменшується (рис. 4 б). Це продовжується доти, поки двоконтурна течія не перетвориться в одноконтурний (обертальний) рух (рис. 4 в). Границя такого переходу у вигляді прямої лінії показана на рис. 5, яка залежить від співвідношення ампер-витків індуктора і додаткової котушки. На цьому рисунку область значень ампер-витків, яка знаходиться нижче наведеної лінії, відноситься до двоконтурної течії. Вище неї знаходяться значення ампер-витків, які забезпечують обертальний рух металу.

Потрібно відзначити, що як видно з рис. 4 в, створений таким чином обертальний рух рідкого металу не є строго осесиметричним, оскільки центр його обертання не збігається з віссю циліндричного каналу. Зі збільшенням ампер-витків додаткової котушки відстань між центром обертання і віссю каналу спочатку дещо зменшується, а далі залишається майже незмінною.

Ефективність системи електромагнітного обертання розплаву в циліндричних каналах печі, окрім електромагнітного моменту M , може бути оцінено також усередненою за поперечним перерізом каналу кутовою швидкістю

$$\Omega = \frac{1}{S_{\text{цк}}} \int_{\Omega_1} \frac{u_{\varphi}}{r} ds. \quad (14)$$

На рис. 6 наведено залежності цієї швидкості (суцільні лінії) від ампер-витків додаткової котушки для тих же, що і на рис. 3, трьох значень ампер-витків індуктора (1 – $I_i W_i = 50$ кА;

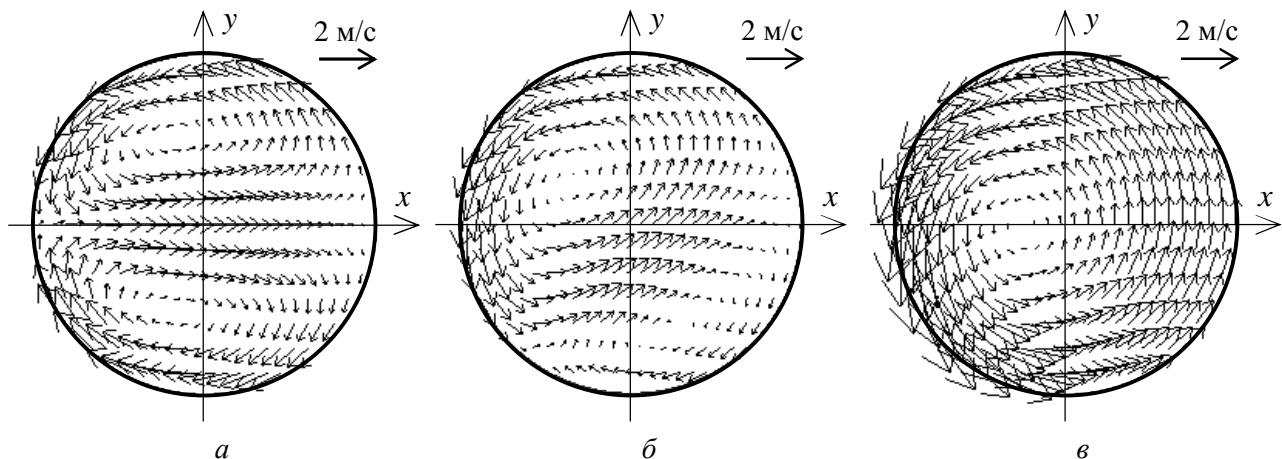


Рис. 4

2 – $I_{i\omega_i} = 60$ кА; 3 – $I_{i\omega_i} = 70$ кА). Ці залежності мають ступеневий вигляд з показником ступеня 1/2.

Як було зазначено, описані вище результати отримані в безіндукційному наближенні, тобто розрахунки виконувалися без врахування швидкості \mathbf{u} в рівняннях (1), (5) і (6). Електромагнітна і гідродинамічна задачі в цьому випадку розв'язувалися окремо (поєдбовно). Спільне розв'язання цих задач дає змогу врахувати наведену за рахунок руху рідкого металу ЕРС і уточнити таким чином отримані результати. Такі дані для електромагнітного моменту та усередненої кутової швидкості показано на рис. 3 і 6 пунктирними кривими. Видно, що розв'язання цих задач в магнітогідродинамічній постановці дає дещо менші значення моменту і кутової швидкості металу: електромагнітний момент зменшується приблизно на 30 %, а швидкість – на 15 %.

І, нарешті, зупинимось на результатах розрахунку сил, що діють на неметалеві частинки, які знаходяться в циліндричному каналі індукційної печі. Розглядалися неелектропровідні оксидні частинки шароподібної форми, що знаходяться в розплаві алюмінію. За рахунок адгезії на своїй поверхні газу (водню) та коагуляції такі частинки мають різні розміри, а їх густина ρ_s , як правило, менша густини рідкого металу. Співвідношення між електричними і механічними силами, що діють на неметалеві частинки в каналі печі, проілюструємо на прикладі частинок діаметром $d_s = 0,001$ м з густиною і питомою електропровідністю відповідно $\rho_s = 0,7 \rho$ і $\sigma_s = 0$.

На рис. 7 представлено електричні F_e (рис. 7 а) і механічні F_m (рис. 7 б) сили, що діють на такі частинки, в різних точках поперечного перерізу каналу.

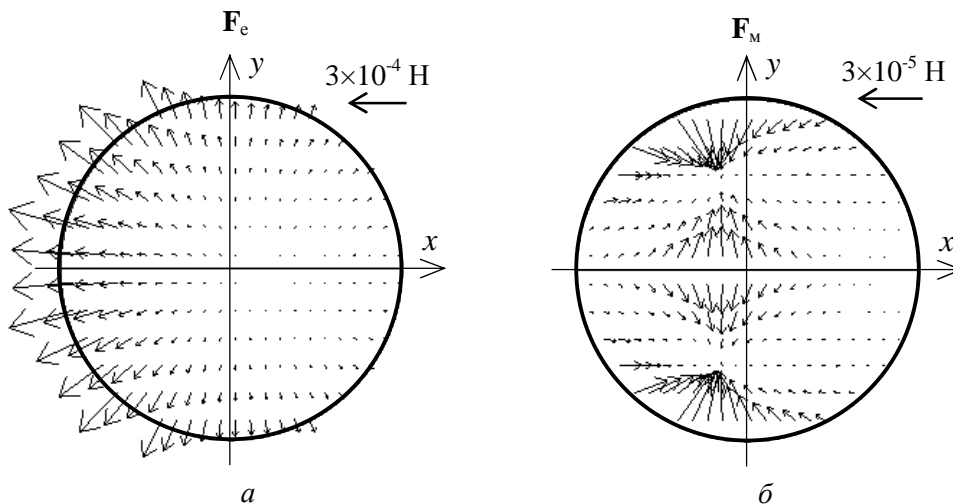


Рис. 7

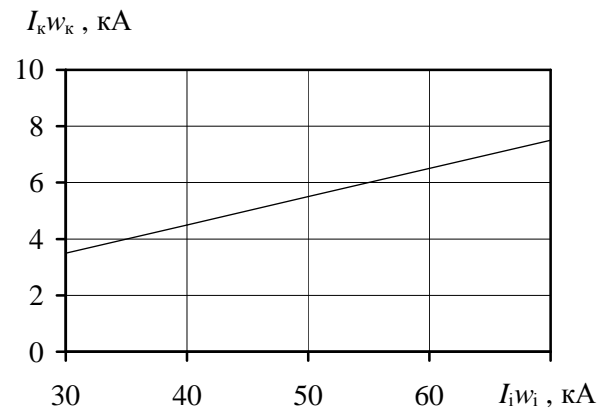


Рис. 5

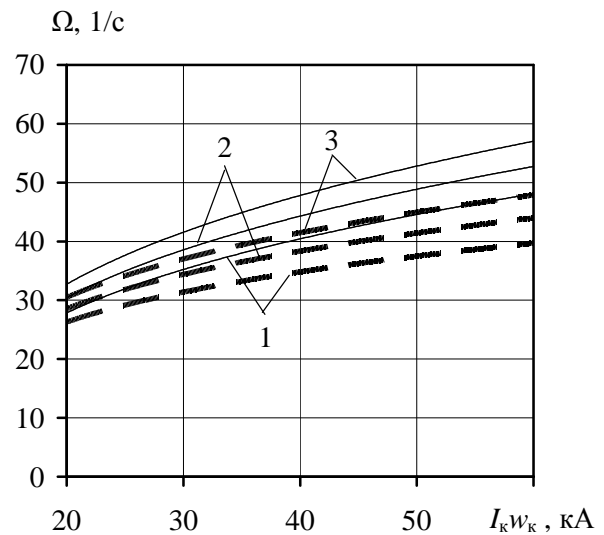


Рис. 6

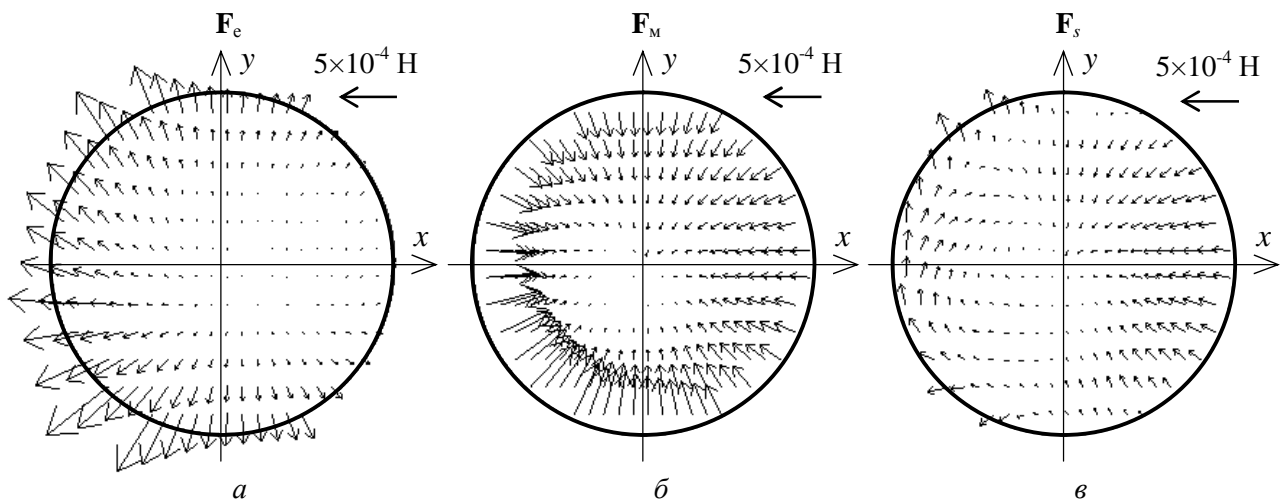


Рис. 8

речного перерізу каналу для традиційної печі (без обертального руху рідкого металу). Ці дані отримано при $I_1W_1 = 60$ кА і $I_{кWк} = 0$. З рисунка випливає, що оскільки в цьому випадку електричні сили майже на порядок перевищують механічні, результуючі сили F_s , що діють на неметалеві частинки в каналі такої печі, будуть повторювати сили F_e , тобто будуть спрямовані в напрямку циліндричної стінки каналу. В результаті такої дії ці частинки рухаються до стінки каналу, на якій вони і осідають. Це підтверджується візуальним аналізом картини “заростання” поперечного перерізу каналу в процесі експлуатації печі для плавлення алюмінію. Вид настільно, що утворюється на стінці каналу печі, приблизно повторює розподіл електричних сил по координаті φ . Максимальна товщина його спостерігається з боку індуктора печі, тобто там, де сили F_e досягають максимальних значень.

Створення обертального руху рідкого металу в циліндричному каналі печі призводить до виникнення механічних сил F_m , які спрямовані приблизно до осі каналу, тобто вони діють проти електричних сил F_e . На рис. 8 представлено сили, що діють на неметалеві частинки в каналі печі з обертальним рухом металу, отримані при $I_1W_1 = 60$ кА і $I_{кWк} = 40$ кА. З рис. 8 в видно, що на значній площі поперечного перерізу циліндричного каналу результуючі сили F_s змінили свій напрямок на зворотний. Проте залишаються дві зони в поперечному перерізі каналу, в яких ці сили залишаються спрямованими до стінки каналу. Зі збільшенням ампер-витків додаткової котушки $I_{кWк}$ зазначені зони зменшуються, але повністю їх ліквідувати не вдається. Можна стверджувати, що частина неметалевих частинок, що знаходяться в рідкому металі, у цьому випадку буде спрямована до осі каналу, а інша частина – до стінки. Таким чином, наявність обертального руху розплаву в печі має зменшити кількість частинок, що рухаються в напрямку стінки каналу, знижуючи при цьому ефект “заростання” каналів окислами.

Висновки. Для індукційної каналної печі з обертальним рухом рідкого металу в каналах розраховано електромагнітні сили і електромагнітний момент, що виникають в розплаві. Визначено параметри руху металу у випадку окремого та сумісного розв’язання електромагнітної та гідродинамічної задач. Знайдено співвідношення ампер-витків індуктора і додаткової котушки печі, що забезпечують перехід від двоконтурної вихрової течії до одноконтурного (обертального) руху в поперечному перерізі циліндричного каналу. Розраховано сили, які діють на неметалеві частинки, що знаходяться в рідкому металі, в умовах обертального потоку.

1. Гориславець Ю.М. Комп’ютерне моделювання індукційної каналної печі з обертальним рухом рідкого металу // Техн. електродинаміка. Темат. вип. “Проблеми сучасної електротехніки”. – 2008. – Ч.6. – С. 92–95.
2. Гориславець Ю.М. Математичне моделювання електромагнітних процесів в індукційних каналних печах // Вісн. нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2007. – № 597. – С. 61–65.
3. Гориславець Ю.М., Глухенький А.И. Электродинамические параметры системы вращательного движения жидкого металла индукционной каналной печи // Техн. електродинаміка. – 2009. – № 3. – С. 35–40.

4. Повх И.Л., Чекин Б.В. Магнитогидродинамическая сепарация. – К.: Наук. думка, 1978. – 148 с.
5. Wilcox D.C. Turbulence Modeling for CFD // DCW Industries Inc. – 1998.

УДК 621.365.51:537.8

Ю.М. Гориславец¹, докт. техн. наук, **А.И. Глухенький²**, канд. техн. наук

1, 2 – Ин-т электродинамики НАН Украины,
пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина

Силовые характеристики индукционной канальной печи с вращательным движением жидкого металла

На основе разработанной математической модели индукционной канальной печи с вращательным движением жидкого металла выполнен анализ силовых параметров печи, в качестве которых рассматривались электромагнитные силы и вращательный момент, возникающие в металле, параметры движения расплава, а также силы, которые действуют на немаetalлические примеси в канале печи. Библи. 5, рис. 8.

Ключевые слова: индукционная канальная печь, вращение жидкого металла, электромагнитные силы, электромагнитный момент, немаetalлические частички.

Yu.M. Goryslavets¹, O.I. Glukhen'kyi²

1, 2 – Institute of Electrodynamics National Academy of Science of Ukraine,
Peremogy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine

Power parameters of induction channel furnace with rotational motion of liquid metal

On the basis of the developed mathematical model of induction channel furnace with rotational motion of liquid metal the analysis of power parameters of furnace is executed. As these parameters were considered electromagnetic forces and torque, resulting in the metal, the motion parameters of the melt, as well as the forces that act on non-metallic impurities in the channel of furnace. References 5, figures 8.

Key words: induction channel furnace, rotation of liquid metal, electromagnetic forces, electromagnetic torque, non-metallic particles.

Надійшла 10.06.2011

Received 10.06.2011