



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **77104** (13) **C2**
(51) **МПК (2006)**
B22D 11/115 (2006.01)
B22D 27/02
H02K 3/28

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ СТВОРЕННЯ ПОЛІВИХРОВИХ ТЕЧІЙ ТА ІНДУКЦІЙНИЙ ПЕРЕМІШУВАЧ РІДКОГО МЕТАЛУ

1

(21) а200502458

(22) 18.03.2005

(24) 16.10.2006

(46) 16.10.2006, Бюл. № 10, 2006 р.

(72) Ращепкін Анатолій Павлович, Кондратенко Ігор Петрович, Дубодєлов Віктор Іванович, Євдокимов Віктор Федорович, Кучаєв Олександр Андрійович, Петрушенко Євген Іванович, Якобше Рішард Якубович

(73) ФІЗИКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ МЕТАЛІВ ТА СПЛАВІВ НАціональної академії Наук УКРАЇНИ

(56) SU 1449156 A1, 07.01.1989

SU 1452650 A1, 23.01.1989

WO 0200374 A1, 03.01.2002

US 5025852 A, 25.06.1991

JP 2001334352 A, 04.12.2001

JP 2002239695 A, 27.08.2002

DE 3527387 A1, 26.02.1987

(57) 1. Спосіб створення полівихрових течій рідкого металу, який включає накладення обертових магнітних полів, що спрямовані назустріч та створені змінними струмами однакової частоти, який

2

відрізняється тим, що накладають обертові магнітні поля такої інтенсивності, при якій амплітуда змінної складової радіальних зусиль більша за амплітуду постійної складової цих зусиль.

2. Індукційний перемішувач рідкого металу, що містить в собі шихтований магнітопровід з двома трифазними обмотками, який **відрізняється** тим, що обмотки виконані з різним числом пар полюсів і протилежним напрямком слідування фазних зон.

3. Індукційний перемішувач за п.2, який **відрізняється** тим, що сума числа пар полюсів обох обмоток дорівнює кількості створених полівихрових течій.

4. Індукційний перемішувач за п.2, який **відрізняється** тим, що виконаний з можливістю регулювання просторового розподілу вихрових течій в рідкому металі шляхом зсуву на просторовий кут комплексних амплітуд фазних струмів різних обмоток.

5. Індукційний перемішувач за п.2, який **відрізняється** тим, що його обмотки з'єднані послідовно.

Винахід відноситься до магнітної гідродинаміки та електричних машин з провідним немагнітним масивним ротором, зокрема, до застосування магнітної гідродинаміки в металургії, в тому числі при індукційному перемішуванні рідкого металу в машинах безперервного лиття заготовок (МБЛЗ).

Відомо спосіб перемішування рідкого металу в МБЛЗ з допомогою змінного магнітного поля, що дозволяє контролювати величину занурення мениска металу [заявка РСТ 94/15739, МПК5 B22D11/10]. В залежності від цієї величини збільшують або зменшують інтенсивність перемішування, що здійснюється індукційним перемішувачем (ІП), який розміщено навколо нижньої частини кри-

сталізатора МБЛЗ. Над цим ІП, в області мениска і зовні кристалізатора, розміщено другий ІП меншої потужності, який створює обертовий рух металу в протилежному напрямку відносно основної течії провідної рідини, що ініційована з допомогою нижнього перемішувача. В результаті такого впливу магнітних полів дещо заспокоюється мениск металу при дії магнітних полів, що спрямовані назустріч. Недоліком даного способу є те, що обертові магнітні поля створюються кількома трифазними системами струмів різних частот.

Відомо спосіб та пристрій для управління індукційним перемішуванням при безперервному розливанні рідкого металу [Патент США №5699850,

C2
(13)

77104
(11)

UA
(19)

МПК6 В22D11/04]. Даний спосіб включає застосування зустрічних або однаково направлених обертових магнітних полів, створених з допомогою двох ІП, що розміщені вздовж осі кристалізатора МБЛЗ. Магнітне поле ІП, що знаходиться у верхній частині кристалізатора, дозволяє управляти течією в області меніска шляхом гальмування або підсилення руху металу, що ініційований обертовим магнітним полем головного перемішувача, який розміщений в нижній частині кристалізатора. Недоліком даного способу є використання двох ІП для створення азимутального руху розплаву в кристалізаторі та для управління течією на вільній поверхні металу. При цьому збільшуються витрати електроенергії та ускладнюється обслуговування кількох перемішувачів.

Прототипом запропонованого способу індукційного перемішування рідкого металу та пристрою для його реалізації є спосіб і пристрій перемішування різноспрямованими обертовими магнітними полями. Даний спосіб здійснюється з допомогою двообмоткового ІП, який живиться трифазними системами струмів різних частот [O. Pesteanu and K. Schwerdtfeger // ISIJ Int. - Vol. 4(2001), №1. - P.98-99]. Таке технічне рішення дозволяє усунути виникнення небажаного воронкоподібного профілю меніска в кристалізаторі з рідким металом. Недоліком цього способу є те, що такий електромагнітний вплив обумовлює нестійкий рух розплавленого металу, який виникає в зв'язку з відхиленням струмового навантаження однієї з складових частоти та значними втратами потужності високочастотної складової поля (250...400Гц) в мідних стінках кристалізатора та в кінці сталевого зливку, а також вимагає створення спеціальних джерел живлення ІП.

В основу винаходу поставлена задача - створити спосіб індукційного перемішування та ІП для його реалізації, який забезпечує вибір оптимальної частоти електричних струмів та амплітуди результуючих електродинамічних зусиль (ЕДЗ) системи з двох обертових магнітних полів, що дозволяє реалізувати азимутальний рух розплаву в центральній та в периферійній зонах рідкого металу у різних напрямках.

Поставлена мета досягається тим, що в способі перемішування рідкого металу, який включає накладення обертових магнітних полів, що спрямовані назустріч та створені змінними струмами однакової частоти, згідно з винаходом накладають обертові магнітні поля такої інтенсивності, які забезпечують виникнення системи вихорових течій в об'ємі металу при умові, що амплітуда змінної складової радіальних зусиль більше за амплітуду постійної складової цих зусиль. Якщо таке співвідношення не виконується, то система вихорів не утворюється. Крім того, це дозволяє реалізувати мінімальний азимутальний рух розплаву в центральній зоні рідкого металу та максимальний - в периферійній.

Даний спосіб реалізується з допомогою ІП, що містить в собі шихтований магнітопровід з двома трифазними обмотками і, згідно з винаходом, обмотки виконані з різним числом пар полюсів і протилежним направленням слідування фазних зон. При цьому кількість виникаючих полівихорових

течій дорівнює сумі числа пар полюсів обох обмоток. Просторове положення вихорових течій в рідкому металі регулюється зсувом на просторовий кут комплексних амплітуд фазних струмів різних обмоток. Крім того, обмотки ІП з'єднані послідовно.

Для прикладу на Фіг.1 представлена схема, що пояснює реалізацію способу індукційного перемішування рідкого металу під впливом двох обертових магнітних полів та запропонований двообмотковий ІП рідкого металу, з допомогою якого реалізується вищезгаданий спосіб, наприклад, в кристалізаторі МБЛЗ. На кресленні показана система ІП - кристалізатор. Двообмотковий ІП складається з феромагнітного магнітопроводу 1 та двох трифазних обмоток 2 і 3. Перемішувач розміщено зовні і соосно з кристалізатором 4, з допомогою якого формується кірка 5 рідкометалевої фази безперервнолитої заготовки 6. Зверху вздовж осі кристалізатора розміщено занурений сталерозливний стакан 7, який створює вихорові течії 8. Двообмотковий ІП ініціює в рідкій сталі течії 9 та 10.

Спосіб реалізується наступним чином.

Одночасно з початком роботи МБЛЗ подають напругу від джерела живлення на обмотки 2 та 3 ІП. Перша обмотка ІП виконана як асинхронний двигун з однією парою полюсів і збуджує обертове магнітне поле. Друга обмотка, що виконана з двома або більше парами полюсів, живиться від тієї ж трифазної мережі напруги, але збуджує магнітне поле, яке обертається назустріч. Обмотки з'єднані послідовно. Крім того, обертові магнітні поля, що спрямовані назустріч, створені змінними струмами однакової частоти.

Комплексні амплітуди фазних струмів першої обмотки ІП 2 рівні:

$$I_{11} = I_{M1},$$

$$I_{12} = I_{M1} e^{-j\frac{2\pi}{3}} = I_{M1} \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right),$$

$$I_{13} = I_{M1} e^{j\frac{2\pi}{3}} = I_{M1} \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right).$$

Комплексні амплітуди фазних струмів у другій обмотці ІП 3 рівні:

$$I_{21} = I_{M2},$$

$$I_{22} = I_{M2} e^{j\frac{2\pi}{3}} = I_{M2} \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right),$$

$$I_{23} = I_{M2} e^{-j\frac{2\pi}{3}} = I_{M2} \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right),$$

де I_{M1} , I_{M2} - амплітуди фазних струмів в котушках першої і другої обмоток відповідно.

При такому виконанні ІП частота змінного струму, який живить його обмотки вибирається в інтервалі 3...15Гц. При цьому досягається необхідний силовий вплив на метал при незначних джоулевих втратах в стінках кристалізатора. Підбором низької частоти живлення і амплітуди струмового навантаження реалізуються режими руху розплавленого металу з практично нульовою швидкістю на осі кристалізатора і необхідної по технологічним вимогам швидкості руху біля фронту кристалізації. Розрахунки вказують на стійкий характер

руху рідкого металу, який обумовлюється течіями розплаву, що спрямовані назустріч. Таким чином вибирається оптимальна низька частота живлення і забезпечується регулювання швидкості рідкого металу за рахунок зміни співвідношення між ампер-витками першої та другої обмоток ІП. Перемішувач розміщений навкруги кристалізатора 4, на внутрішній поверхні якого формується кірка 5 з рідкого металу 6, що поступає через занурений стакан 7 і витікає з нього течіями 8. Під впливом магнітних полів, що спрямовані назустріч здійснюється азимутальний рух розплаву за траєкторіями з різним направленням в центральній 9 і в периферійній зонах 10 зливу, що обумовлені впливами ЕДЗ від першої та другої обмоток ІП. При цьому в периферійній зоні зливу виникають полівихорові течії, кількість яких дорівнює сумі числа пар полюсів обох обмоток при умові, що амплітуда змінної складової радіальних зусиль більше за амплітуду постійної складової цих зусиль. Просторове положення вихорових течій залежить від зсуву на кут φ комплексних амплітуд фазних струмів різних обмоток. Тобто, комплексні амплітуди фазних струмів першої обмотки 2 рівні:

$$I_{11} = I_{M1}, \quad I_{12} = I_{11} e^{-j\frac{2\pi}{3}}, \quad I_{13} = I_{11} e^{j\frac{2\pi}{3}}.$$

Комплексні амплітуди фазних струмів у другій обмотці 3 рівні:

$$I_{21} = I_{M2} e^{j\varphi}, \quad I_{22} = I_{21} e^{j\frac{2\pi}{3}}, \quad I_{23} = I_{21} e^{-j\frac{2\pi}{3}}.$$

Приклад 1

Обчислено розподіл ЕДЗ в перерізі круглої заготовки в дослідному зразку системи кристалізатор-ІП МБЛЗ. Електромагнітні характеристики матеріалів наступні: провідність заготовки $\gamma_s = 0,7 \cdot 10^6 \text{ } \frac{1}{\text{Ом} \cdot \text{м}}$, провідність гільзи $\gamma_s = 5,7 \cdot 10^7 \text{ } \frac{1}{\text{Ом} \cdot \text{м}}$, відносна магнітна проникність магнітопроводу $\mu=1000$. Напрямок обертання магнітних полів, що створені обмотками ІП, є зустрічний. На Фіг.2 приведений розподіл вектора густини сил у круглій заготовці, що створені замінім струмом двополюсної та чотирьохполюсної обмоток величиною 10А і частотою 10Гц. При кількості витків першої обмотки $W1=18$ і другої - $W2=45$ вплив магнітних полів на рідкий метал, створених першою і другою обмотками, порівняний за величиною ЕДЗ. При цьому видно, що в центральній частині заготовки сили спрямовані в одному напрямку, а в приповерхневій частині - в протилежному напрямку. При даному числі витків першої і другої обмоток мають місце максимальні ЕДЗ в периферійній зоні, тобто суттєво інтенсифікується теплообмінний процес на межі рідкий метал - стінка кристалізатора МБЛЗ, що прискорює формування кірки безперервнолитої заготовки. Крім того, в периферійній зоні зливу створюються

три вихорові течії, кількість яких дорівнює сумі числа пар полюсів двох обмоток. Азимутальна складова кожного з цих вихорів направлена так, що виносить гарячий метал до водоохолодженої стінки кристалізатора, а охолоджені шари металу переміщуються від стінки кристалізатора до гарячої внутрішньої області зливу. Таким чином інтенсифікуються теплообмінні процеси на межі розподілу середовищ, що прискорює процес формування твердуючої кірки. При цьому у приповерхневій зоні рідкого металу не виникає небажаний воронкоподібний профіль меніску.

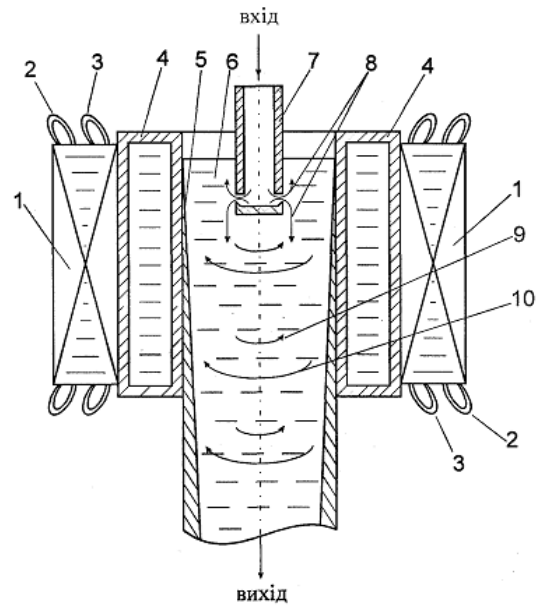
Приклад 2

Досліджувався розподіл ЕДЗ в перерізі квадратної заготовки в дослідному зразку системи кристалізатор-ІП. Електромагнітні характеристики матеріалів наступні: провідність заготовки $\gamma_s = 0,7 \cdot 10^6 \text{ } \frac{1}{\text{Ом} \cdot \text{м}}$, провідність гільзи $\gamma_s = 5,7 \cdot 10^7 \text{ } \frac{1}{\text{Ом} \cdot \text{м}}$, відносна магнітна проникність магнітопроводу $\mu=1000$. Обмотки ІП створюють обертові магнітні поля, що спрямовані назустріч. На Фіг. 3 приведено розподіл вектора густини сил у перерізі квадратної заготовки ($F, \text{Н/м}^2$) при витках $W1=18$ і $W2=60$, що створені замінім струмом величиною 10 А і частотою 10 Гц. В результаті чого у центральній частині заготовки сили спрямовані по стрілці, а в приповерхньому шарі заготовки - проти годинникової стрілки. Як видно з Фіг. 3, в периферійній зоні зливу виникають три вихорові течії, які створюються під дією струмів двох обмоток з одною і двома парами полюсів. Це сприяє інтенсифікації теплообмінних процесів на межі розподілу середовищ (тверда стінка кристалізатора, що охолоджується водою та рідка сталь), що прискорює процес формування твердуючої кірки. В той же час вільна поверхня рідкого металу в кристалізаторі залишається спокійною.

Таким чином, запропонований спосіб забезпечує управління азимутальним рухом рідкого металу в центральній та в периферійній зонах безперервно-литого зливу. Це досягається за рахунок накладення на рідкий метал обертових магнітних полів різної інтенсивності, що спрямовані назустріч, які створені трифазними електричними струмами однакової частоти та які забезпечують виникнення системи вихорових течій в об'ємі металу при умові, що амплітуда змінної складової радіальних зусиль більше за амплітуду постійної складової цих зусиль.

Література:

1. Заявка РСТ (WO), 94/15739, МПК5 B22D11/04.
2. Патент США №5699850, МПК6 B22D11/04).
3. O. Pesteanu and K. Schwerdtfeger // ISIJ Int. - Vol. 4(2001), №1. - P.98-99.



Фіг. 1

