



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 118914

(13) C2

(51) МПК

B22D 27/02 (2006.01)

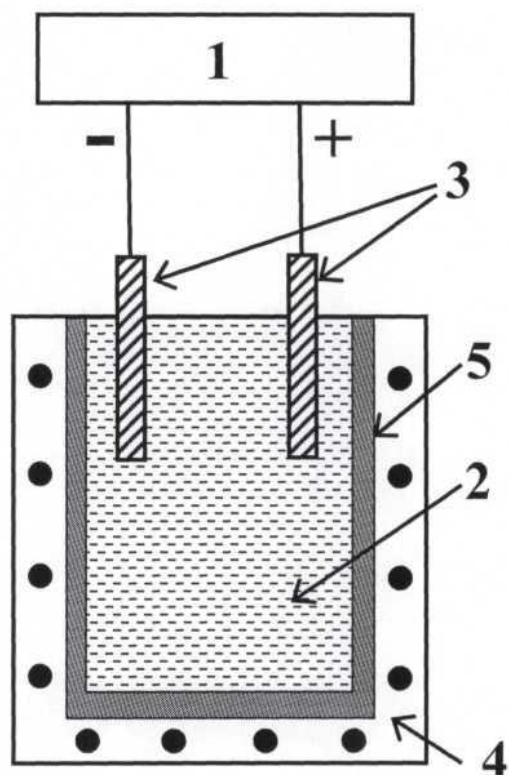
B22D 27/08 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД**(21)** Номер заявки: **а 2017 07990****(22)** Дата подання заявки: **31.07.2017****(24)** Дата, з якої є чинними права на винахід: **25.03.2019****(41)** Публікація відомостей про заявку: **11.02.2019, Бюл.№ 3****(46)** Публікація відомостей про видачу патенту: **25.03.2019, Бюл.№ 6****(72)** Винахідник(и):**Щерба Анатолій Андрійович (UA),
Іванов Артем Володимирович (UA),
Цуркін Володимир Миколайович (UA),
Череповський Сергій Сергійович (UA),
Честних Микола Володимирович (UA)****(73)** Власник(и):**ІНСТИТУТ ІМПУЛЬСНИХ ПРОЦЕСІВ І
ТЕХНОЛОГІЙ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ
НАУК УКРАЇНИ,
пр. Богоявленський, 43А, м. Миколаїв,
54018 (UA)****(56)** Перелік документів, взятих до уваги експертизою:**UA 58349 U, 11.04.2011
UA 92118 C2, 27.09.2010
SU 1186380 A, 23.10.1985
US 3908732 A, 30.09.1975
GB 1104046 A, 21.02.1968
CN 103658609 A, 26.03.2014****(54) СПОСІБ ОБРОБКИ РОЗПЛАВУ МЕТАЛУ****(57)** Реферат:

Винахід належить до металургії. У способі обробки розплаву металу шляхом пропускання через нього розрядних імпульсів струму за допомогою електродів, занурених у розплав, через розплав пропускають коливальні розрядні імпульси струму з відносним декрементом коливань α від 0,1 до 0,3, а бокову поверхню електродів, занурених у розплав, електроізолюють та вводять у розплав на глибину (h), яка складає від $5 \cdot \delta_{\text{skin}}$ до $H_0/4$, де δ_{skin} - товщина скін-шару, H_0 - висота стовпа розплаву. Технічний результат: забезпечення рівномірності подрібнення структурних складових металу в усьому об'ємі виливків та підвищення їх службових властивостей.

UA 118914 C2



Фиг. 1

Винахід належить до металургії, ливарного виробництва та машинобудування і може бути використаний при виробництві зливків і виливків з металів і сплавів.

Відомий спосіб обробки розплаву металу або сплаву (патент України № 93648, МПК (2006/01) B22D 27/08, опубл. 25.02.11, Бюл. № 4), згідно з яким розплав спочатку піддають електрогідроімпульсній обробці, а потім через розплав пропускають імпульси струму при власній частоті розрядного струму від 100 до 120 кГц та питомій енергії в імпульсі струму від 1,5 до 3,5 кДж/т.

Ознакою, яка збігається з суттєвими ознаками способу, що заявляється, є пропускання через розплав розрядних імпульсів струму.

Причини, які перешкоджають одержанню очікуваного технічного результату, такі: спосіб не визначає такі характеристики імпульсів струму, як характер імпульсу, його довжина та амплітуда, кількість періодів, а також час обробки, що не дозволяє проводити обробку струмом при оптимальних параметрах, щоб одержати максимальну кількість зародків кристалізації у об'ємі розплаву, забезпечити необхідний рівень гомогенізації розплаву та рівномірний розподіл домішок в об'ємі виливка.

Найбільш близьким за сукупністю ознак до винаходу, який заявляється, є спосіб обробки розплаву металу, що кристалізується (патент України № 58349, МПК (2006/01) B22D 27/08, опубл. 11.04.11, Бюл. №7), шляхом дії на нього високовольтними розрядними імпульсами струму, які пропускають густиною від 40 до 60 А/см², починаючи з моменту утворення твердої фази у розплав металу та закінчуючи, коли частка твердої фази складає 40-100 %. Розрядні імпульси струму пропускають за допомогою електродів, занурених у розплав.

Ознакою, яка збігається з суттєвими ознаками способу, що заявляється, є пропускання через розплав розрядних імпульсів струму за допомогою електродів, занурених у розплав.

Причини, які перешкоджають одержанню очікуваного технічного результату: спосіб не визначає характеру імпульсу струму за оптимальними його ознаками, який проходить через розплав металу, що не дозволяє генерувати більш потужний вплив на розплав, забезпечити спрямоване керування процесом такої електрострумової обробки, та, як наслідок, одержувати максимальну кількість зародків кристалізації у об'ємі розплаву, забезпечити необхідний рівень його гомогенізації та, внаслідок цього, одержати необхідний рівень однорідності структури виливка та показників якості литих виробів.

В основу винаходу поставлено задачу вдосконалення способу обробки розплаву металу шляхом визначення оптимального характеру імпульсів струму та введенням нових операцій, що дасть змогу збільшити амплітудні значення та сукупну інтегральну дію пульсуючих неоднорідних електромагнітних сил і гідродинамічних збурень на розплав і, за рахунок цього, забезпечити рівномірність подрібнення структурних складових металу в усьому об'ємі виливків, підвищити їх службові властивості.

Суть винаходу полягає в тому, що в способі обробки розплаву металу шляхом пропускання через нього розрядних імпульсів струму за допомогою електродів, занурених у розплав, згідно з винаходом, через розплав пропускають коливальні високовольтні розрядні імпульси струму з відносним декрементом коливань α від 0,1 до 0,3, а бокову поверхню електродів, занурених у розплав, електроізолюють і вводять у розплав на глибину (h), яка складає від $5 \cdot \delta_{\text{skin}}$ до $H_0/4$, де δ_{skin} - товщина скін-шару, H_0 - висота стовпа розплаву.

Розкриваючи причинно-наслідковий зв'язок між суттєвими ознаками способу, що заявляється, і технічним результатом, необхідно відзначити таке.

Ознака "через розплав пропускають коливальні розрядні імпульси струму з відносним декрементом коливань α від 0,1 до 0,3" дає змогу реалізовувати найбільш ефективну електросилову дію на оброблюваний розплав.

Амплітуда імпульсного струму, який проходить через розплав у скін-шарі, густина струму та напруженість магнітного поля суттєво залежать від характеру імпульсу струму. При однакових зарядних напругах ємнісного накопичувача імпульсних струмів, якщо розрядні імпульси мають коливальний характер, амплітуда струму приблизно у 3 рази більше, ніж при аперіодичному розряді. Урахування такого параметра розряду, як декремент коливань, дасть змогу визначити: по-перше, максимальну амплітуду струму від розряду ємнісного накопичувача, а по-друге, за рахунок збільшення кількості періодів коливань, оптимальний режим генерації інтенсивних електромагнітних та гідродинамічних збурень за один імпульс. Тому регулювання амплітудно-частотних характеристик імпульсних коливальних струмів, їх тривалості та частоти посилення дозволяє суттєво підвищити неоднорідність пульсуючих електросилових впливів, що порівняно з формуванням імпульсних аперіодичних струмів на 1-2 порядки збільшує інтенсивність силового впливу на всі структурні рівні розплаву. Збільшення амплітуди електросилової дії на розплав швидкозмінними електромагнітними полями, які збуджуються у об'єкті обробки при

проходженні розрядних імпульсів струму, відбувається тому, що амплітуда силової дії пропорційна квадрату амплітуди сили струму (I^2). Коливальний імпульс струму, який проходить через розплав, з достатньою точністю описується виразом:

$$i(t) = I \cdot \frac{e^{-\alpha \cdot \varphi}}{\sqrt{1 - \alpha^2}} \cdot \sin(\varphi \cdot \sqrt{1 - \alpha^2}),$$

- 5 де α - відносний декремент коливальних, $\alpha = \delta / \omega$; α ;
 δ - декремент коливальних розрядного контуру, с^{-1} ;
 ω - кругова частота розрядного контуру, с^{-1} ;
 φ - відносний час, $\varphi = \omega \cdot t$.

- 10 При значеннях α від 0,1 до 0,3 реалізується жорсткий коливальний режим розряду, близький до режиму короткого замикання, при якому реалізуються найбільші амплітудні значення струму в імпульсі. Таким чином, керування величиною амплітуди силової дії на розплав пропонується виконати за рахунок збільшення сили струму (I), використовуючи слабо затухаючий коливальний режим розряду, за яким амплітуда струму в імпульсі наближається по порядку значень до режиму короткого замикання, який характеризується найбільшим електричним ККД
- 15 для процесів електрострумової обробки металів. Крім того, кількість періодів коливальних струму також наближається до режиму короткого замикання, тобто - збільшується.

- Також для реалізації ефективних швидкоплинних пульсуючих гідродинамічних збурень амплітуда магнітного тиску (P_m), який виникає внаслідок дії електромагнітних сил, зростає пропорційно квадрату амплітуди сили струму (I^2), повинна перевищувати інтегральну дію
- 20 гідростатичного тиску на стовп розплаву, що описується виразом:

$$P_m > \rho \cdot g \cdot H_0,$$

де ρ - густина розплаву, кг/м^3 ;
 g - прискорення вільного падіння, м/с^2 .

- 25 Тому, якщо кількість періодів імпульсу розрядного струму з амплітудою, яка реалізує такий магнітний тиск, що перевищує гідростатичний тиск стовпа розплаву, буде якомога більшою, ефективна дія такого імпульсу на розплав також буде збільшуватись.

- Ознака "бокову поверхню електродів, занурених у розплав, електроізолюють" дає змогу локального підвищення напруженості магнітного та електричного полів, які генеруються при проходженні розрядного імпульсу струму, а це призводить до підвищення амплітуди
- 30 електромагнітних сил, які діють на розплав.

- Відомо, що імпульсний струм, що протікає крізь металевий провідник об'ємом (V), концентрується у скін-шарі. Тому об'єм розплаву, який обробляється за один імпульс (V_1), фактично дорівнює площині поверхні розплаву, яка помножена на товщину скін-шару. Електроізоляція бокової поверхні електродів, які занурюються у розплав, при будь-якому їх
- 35 розташуванні, дозволяє локально підвищити у декілька разів амплітуду електромагнітного поля біля ізольованої поверхні електродів і запобігає стіканню електричного струму з бокових поверхонь. Внаслідок цього значення електромагнітної енергії (W_e), яка локалізована в об'ємі (V_1), підвищується, що дасть змогу підвищити магнітний тиск ($P_m \approx W_e / V_1$) і інтегральну корисну дію гідродинамічних збурень.

- 40 Ознака "електроди вводять у розплав на глибину (h), яка складає від $5 \cdot \delta_{\text{skin}}$ до $H_0/4$, де δ_{skin} - товщина скін-шару, H_0 - висота стовпа розплаву" дає змогу підвищити амплітуду гідродинамічних збурень у розплаві та визначити ефективний час обробки розплаву.

- Первинна дія електричного струму, електромагнітних сил і генерація гідродинамічних збурень при обробці розплаву імпульсами струму починається в об'ємі (V_1), який обмежений товщиною скін-шару, з локальними високими показниками електромагнітної енергії (W_e). Одним з найважливіших процесів, який там відбувається - це циркуляція, тобто зміна, розплаву обробленого за один імпульс на необроблений. Завдяки цьому визначається оптимальний час, необхідний для обробки всього об'єму розплаву. При глибині занурення електродів менш ніж
- 50 $5 \cdot \delta_{\text{skin}}$ амплітуда електромагнітної енергії (W_e), а відповідно електромагнітних сил і гідродинамічних збурень, не досягає своїх оптимальних значень. При зануренні електродів на глибину більш ніж $H_0/4$ гідродинамічні збурення та течії локалізуються поблизу торцевих поверхонь електродів, що перешкоджає зміні обробленого розплаву на необроблений, активному впливу на весь об'єм розплаву, його гомогенізації та дегазації.

- Суть способу пояснюється кресленнями, де на фіг. 1 та фіг. 2 наведено функціональні схеми реалізації способу, на фіг. 3 - зображено мікроструктуру сплаву АК9 без обробки, а на
- 55 фіг. 4 - після обробки.

Функціональні схеми для реалізації способу високовольтної обробки розплаву розрядними імпульсами струму у печі (Фіг. 1) або ливарній формі (Фіг. 2) містять генератор імпульсних

струмів (ГІС) 1, розплав 2, електроди 3, тигельну плавильну піч опору 4, тигель з розплавом 5 і ливарну форму 6. Електроди 3 розташовують в тиглі 5 та формі 6 паралельно або співвісно. При обробці поза піччю також можна використовувати проміжний ківш.

Спосіб здійснюють таким чином:

- 5 Метал необхідної марки виплавляють, витримують при необхідній температурі та піддають обробці високовольтними імпульсами розрядного струму за допомогою електродів 3, поверхню яких ізолюють, які вводять у розплав 2 на глибину не менше $5 \cdot \delta_{\text{skin}}$ та не більше ніж $H_0/4$ через отвір тигельної плавильної печі опору 4, або через відкриту поверхню ливарної форми 6 або її стінки. Товщину скін-шару знаходять з виразу:

$$10 \quad 5 \cdot \delta_{\text{skin}} = 1 / (\mu_r \mu_0 \cdot f \cdot \gamma)^{-1/2},$$

де f - власна частота імпульсу струму;
 γ - електропровідність розплаву;
 μ_r - абсолютна магнітна проникність;
 μ_0 - магнітна константа.

- 15 За допомогою ГІС 1 через розплав пропускають коливальні високовольтні розрядні імпульси струму з відносним декрементом коливаний α від 0,1 до 0,3. Обробку проводять протягом заданого часу ($t_{\text{обр}}$), який визначається за формулою (див пат. України № 114908, МПК (2006.1) B22D27/02, B22D27/08, опубл. 27.03.2017, бюл. № 6):

$$t_{\text{обр}} \geq \frac{V}{f \cdot V_1},$$

- 20 де f - частота слідування імпульсів, Гц;
 V_1 - об'єм оброблюваного розплаву за один імпульс, м³;
 V - об'єм розплаву, м³.

- У разі обробки поза піччю розплав виливають у проміжний ківш або ливарну форму, електроди розташовують паралельно або співвісно та обробляють імпульсами струму протягом часу $t_{\text{обр}}$ з необхідною частотою проходження імпульсів f до температури, яка узгоджена з температурною кривою охолодження вибраного сплаву або до температури твердіння.

- Така електросилова дія на розплав у кожному з наведених випадків має ряд позитивних аспектів, які приводять до формування сприятливої структури отриманих виливків. По-перше, це збільшення амплітудних значень та сукупної інтегральної дії пульсуючих неоднорідних електромагнітних сил і гідродинамічних збурень на розплав, що дозволить забезпечити рівномірність подрібнення структурних складових металу в усьому об'ємі виливків, підвищити їх службові властивості. По-друге, при обробці розплаву потужними короткими високочастотними імпульсами струму з відносним декрементом коливаний від 0,1 до 0,3 відбувається ефективне енергетичне модифікування розплаву. Таке енергетичне модифікування приводить до утворення великої кількості додаткових зародків кристалізації, рівномірного розподілу домішок по об'єму розплаву, що дозволяє одержати дрібну структуру виливка, усунути зональну ліквідацію (хімічну неоднорідність) елементів сплаву. По-третє, при обробці розплаву в рідко-твердому стані у об'ємі розплаву утворюються нестационарні гідродинамічні збурення та реалізується періодичний вплив хвилями тиску, які виникають шляхом імпульсної електросилової дії на розплав, що приводить до подрібнення дендритів та інших структурних елементів. Періодичне захоплення подрібнених імпульсами струму часток твердої фази, що утворюється в зонах біля стінок форми та її поверхні внаслідок більш низької температури у цих зонах, також приводять до формування дрібної гомогенної структури виливка.

- Все зазначене вище дає змогу підвищити фізико-механічні та службові властивості отриманих виливків.

Приклад

- Сплав силуміну АК9 виплавляли при температурі 750 ± 10 °С. Після цього його було перелито у ливарну форму та піддано високовольтній обробці розрядними імпульсами струму з відносним декрементом коливаний $\alpha=0,1$. Імпульси підводили за допомогою електрода з ізолюваною боковою поверхнею, заглибленого на 10 мм у розплав, та електрода, вбудованого у дно форми. Товщина скін-шару у даному випадку складала 1 мм, а висота розплаву - $H_0=100$ мм. Результати випробування даного способу, застосованого для обробки у печі розплаву силуміну АК9, наведено на фіг. 3, фіг. 4 та у таблиці. Наведені фотографії свідчать про те, що в оброблюваному металі мікрозерно подрібнилось більш ніж на 35 %, має компакту та рівномірну структуру. Міцність (σ_B) обробленого металу підвищилась на 33 відсотка та одночасно з цим, це дуже важливо, підвищилось у 3 рази значення відносного подовження (δ_{elong}), що є дуже хорошим результатом для цього ливарного сплаву.

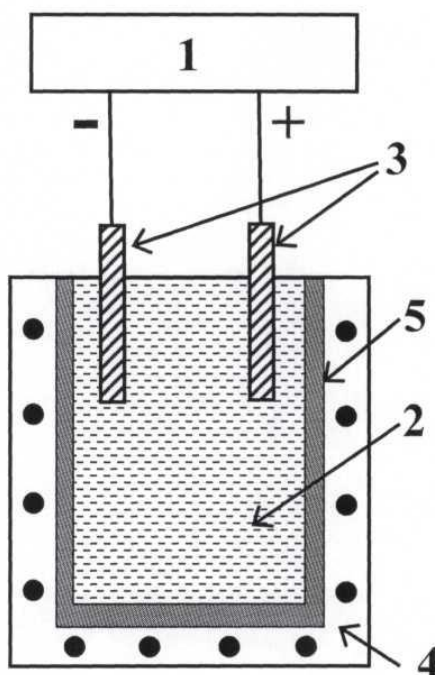
Таблиця

Характеристика	Без обробки	Після обробки
σ_B , МПа	150	190
δ_{elong} , %	2	7

Таким чином, запропонований спосіб обробки розплаву металу дає змогу збільшити амплітудні значення та сукупну інтегральну дію пульсуючих неоднорідних електромагнітних сил і гідродинамічних збурень на розплав і, за рахунок цього, забезпечити рівномірність подрібнення структурних складових металу в усьому об'ємі виливків, підвищити їх службові властивості та розширити технологічну сферу застосування даного методу у сучасних технологіях ливарного виробництва.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Спосіб обробки розплаву металу шляхом пропускання через нього розрядних імпульсів струму за допомогою електродів, занурених у розплав, який **відрізняється** тим, що через розплав пропускають коливальні розрядні імпульси струму з відносним декрементом коливань α від 0,1 до 0,3, а бокову поверхню електродів, занурених у розплав, електроізолюють та вводять у розплав на глибину (h), яка складає від $5 \cdot \delta_{skin}$ до $H_0/4$, де δ_{skin} - товщина скін-шару, H_0 - висота стовпа розплаву.



Фіг. 1

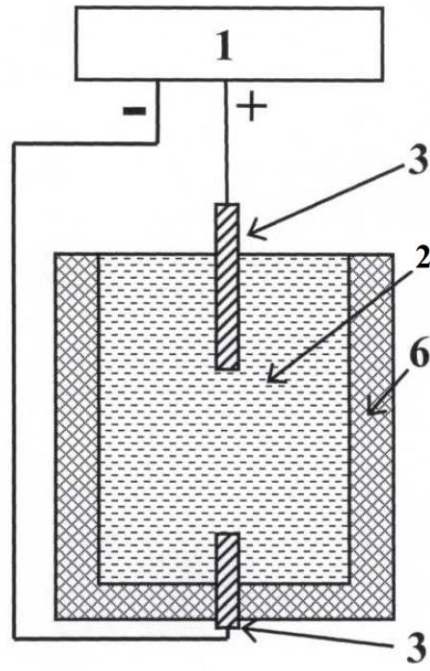


Fig. 2

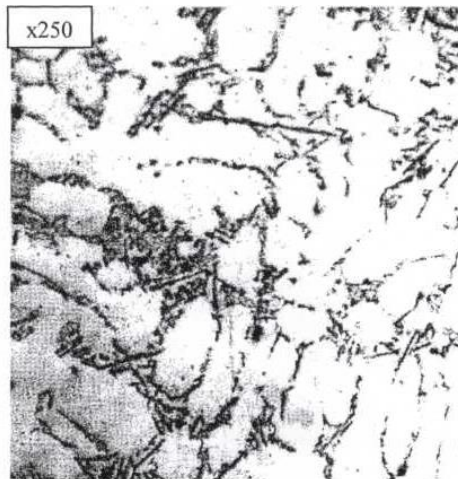
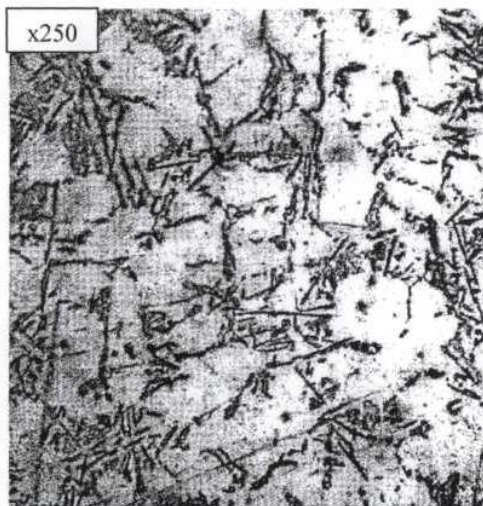


Fig. 3



Фіг. 4

Комп'ютерна верстка О. Рябко

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601