



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 107535

(13) U

(51) МПК

B22D 27/02 (2006.01)

B22D 27/08 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ****(21)** Номер заявки: **u 2015 12639****(22)** Дата подання заявки: **21.12.2015****(24)** Дата, з якої є чинними  
права на корисну  
модель: **10.06.2016****(46)** Публікація відомостей  
про видачу патенту: **10.06.2016, Бюл.№ 11****(72)** Винахідник(и):  
**Череповський Сергій Сергійович (UA),  
Іванов Артем Володимирович (UA),  
Цуркін Володимир Миколайович (UA)****(73)** Власник(и):  
**ІНСТИТУТ ІМПУЛЬСНИХ ПРОЦЕСІВ І  
ТЕХНОЛОГІЙ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ  
НАУК УКРАЇНИ,  
пр. Жовтневий, 43-А, м. Миколаїв, 54018  
(UA)****(54) СПОСІБ ОБРОБКИ РОЗПЛАВУ МЕТАЛУ****(57)** Реферат:

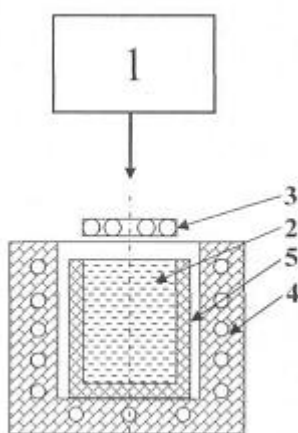
Спосіб обробки розплаву металу включає осьову дію на розплав імпульсними магнітними полями з періодом власних коливань імпульсів магнітного поля від 10 до 20 мкс протягом часу обробки, який визначають із співвідношення:

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

де  $f$  - частота слідування імпульсів, Гц;

$V_1$  - об'єм оброблюваного розплаву за один імпульс, м<sup>3</sup>;

$V$  - об'єм розплаву, м<sup>3</sup>.

**Fig. 1****UA 107535 U**



Корисна модель належить до металургії, ливарного виробництва та машинобудування і може бути використана при виробництві зливків і відливок з металів і сплавів.

Відомо спосіб дії на розплавлений метал імпульсним магнітним полем і пристрій для його здійснення (патент RU 2311989, МПК (2006.01) B22D 27/02, опубл. 10.12.2007), який включає вплив електромагнітного випромінювання на розплавлений метал і обробку розплаву на основі алюмінію за допомогою індуктора електромагнітними коливаннями шляхом створення в межах розплаву однополярних електромагнітних імпульсів струму тривалістю близько 150...180 мкс і напругою до 5 кВ.

Ознакою, що збігається з суттєвими ознаками способу, який заявляється, є дія на розплав імпульсними магнітними полями.

До причин, які перешкоджають одержанню очікуваного технічного результату, слід віднести створення в розплаві однополярних імпульсів струму, які за однакових енерговитрат на створення імпульсів необхідної амплітуди створюють на 1-2 порядки менші електродинамічні зусилля, які, відповідно, менш інтенсивно впливають на усі структурні рівні розплаву. До недоліків способу слід віднести те, що обробка проводиться за допомогою зануреного в розплав електроізолюваного індуктора, який дозволяє обробляти лише малий об'єм розплаву поблизу індуктора, крім того його підвищену електричну і електромагнітну небезпеку.

Найбільш близьким за сукупністю ознак до корисної моделі, яка заявляється, є спосіб магнітно-імпульсної обробки розплаву (Черников Д. Г. Совершенствование способов магнитно-импульсной обработки расплавов / Д.Г. Черников, В.А. Глушников, В.И. Никитин, К.В. Никитин // Изв. Самарского научного центра РАН. - 2014. - № 6.- С. 256-262), в якому розплав алюмінію обробляють імпульсним магнітним полем за допомогою осьового індуктора, розташованого над поверхнею розплаву, в якому генеруються імпульси струму у формі затухаючої синусоїди з півперіодом коливань 150 мкс, частотою слідування імпульсів 1 Гц.

Ознакою, що збігається з суттєвими ознаками способу, який заявляється, є осьова дія на розплав імпульсними магнітними полями.

Причиною, що перешкоджає одержанню очікуваного технічного результату є те, що: значний період імпульсу близько 300 мкс не дозволяє створювати економічні джерела струму для магнітно-імпульсної обробки розплавів, оскільки для отримання такого довгого імпульсу з великою амплітудою струму і магнітного поля потрібна ємність конденсаторів (С) від десятків до сотень мкФ, що вимагає великої енергії, яка запасається на один імпульс, а також обмежує частоту слідування імпульсів і не дозволяє, внаслідок цього, ефективно обробляти розплав в інтервалі кристалізації, який пов'язаний з часом застигання розплаву у формі. Ще одним обмеженням, яке не дозволяє обробляти розплав, що кристалізується, довгими імпульсами магнітного поля, є його тепловий вплив, який при охолодженні розплаву повинен мати мінімальне значення, а його інтенсивність, у свою чергу, прямо пропорційна довжині періоду і, відповідно, тривалості імпульсу. До того ж, апаратне оформлення цього способу включає наявність громіздкого електросилового устаткування.

В основу корисної моделі поставлена задача вдосконалення способу обробки розплаву металу шляхом визначення оптимальних параметрів обробки, що дозволить збільшити значення електромагнітних сил, які діють на розплав, та забезпечити рівномірність подрібнення структури по перерізу виливків, і за рахунок цього підвищити їх службові властивості. Крім цього, спосіб дозволяє зменшити енерговитрати на виконання магнітно-імпульсної обробки розплаву.

Суть корисної моделі полягає в тому, що в способі обробки розплаву металу, який включає осьову дію на розплав імпульсними магнітними полями із заданими параметрами, згідно з корисною моделлю, дію на розплав імпульсними магнітними полями здійснюють з періодом власних коливань імпульсів магнітного поля від 10 до 20 мкс протягом часу обробки, який визначають із співвідношення:

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

де  $f$  - частота слідування імпульсів, Гц;

$V_1$  - об'єм оброблюваного розплаву за один імпульс, м<sup>3</sup>;

$V$  - об'єм розплаву, м<sup>3</sup>.

Розкриваючи причинно-наслідковий зв'язок між суттєвими ознаками способу, що заявляється, і технічним результатом, необхідно відзначити таке. Ознака "період власних коливань від 10 до 20 мкс" дає змогу реалізовувати найбільш ефективну електросилову дію при мінімізації теплового впливу на оброблюваний розплав. Збільшення амплітуди магнітного поля  $H$  відбувається тому, що

$$H \sim 1/\sqrt{T},$$

де  $T$  - період власних коливань імпульсу магнітного поля,  $c^{-1}$ .

Відповідно збільшується амплітуда електросилової дії ( $F_{em}$ ) при меншій енергії, що запасається в конденсаторах, і споживаній потужності, оскільки амплітуда силової дії пропорційна  $H^2$  та має залежність  $F_{em}(T) \approx 2,8 \cdot T^{0,14}$ . Тому діапазон ефективних значень починається з періоду 20 мкс та фактично входить у режим насичення зі значенням 10 мкс. При використанні більш коротких імпульсів з меншим періодом час та періодичність впливу не дозволяють реалізовувати ефективні вторинні процеси, які виникають після формування силового поля, наприклад гідродинамічні. Крім цього, з технологічної точки зору, реалізація таких імпульсів у реальних, не лабораторних, умовах проблематична та недоцільна.

Крім цього, обробка розплавів, що кристалізуються, короткими височастотними імпульсами з періодом від 10 до 20 мкс дає змогу суттєво знизити інтенсивність теплового впливу індукованого магнітним полем електричного струму в розплаві, величина якого прямо пропорційна довжині періоду, що позитивно впливає на обробку розплаву в процесі кристалізації. Завдяки цьому можна ефективно обробляти розплав до температури його твердіння.

Ознака "протягом часу обробки", який визначають зі співвідношення:

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

дозволяє ефективно обробляти весь об'єм розплаву. При обробці розплаву імпульсним магнітним полем область первинної дії визначається скін-ефектом, при якому імпульсний струм, що індукується імпульсним магнітним полем, витісняється на поверхню провідника. Товщина скін-шару залежить від провідності розплаву і періоду струму. У випадку магнітно-імпульсної обробки з періодом імпульсу магнітного поля від 10 до 20 мкс товщина скін-шару становитиме від 1 до 2 мм. Гідродинамічні течії, що виникають при цьому, поширюються зі швидкістю порядку одиниць міліметрів у секунду. Таким чином реалізується можливість перемішування об'єму  $V$  з об'ємом  $V_1$ . Враховуючи те, що  $V_1 < V$ , для досягнення технічного результату магнітно-імпульсної обробки слід проводити з частотою слідування імпульсів  $f$ , необхідною для обробки всього об'єму металу, при цьому час обробки узгоджується з необхідним температурним інтервалом і визначають як

$$t_{обр} \geq n/f,$$

де  $n$  - кількість імпульсів.

Кількість імпульсів, у свою чергу визначають із співвідношення:

$$n \geq \frac{V}{V_1}.$$

Суть способу пояснюється кресленнями, де на фіг. 1 наведено функціональну схему реалізації способу, на фіг. 2 зображено мікроструктуру сплаву АК5М2 без обробки, на фіг. 3, фіг. 4, фіг. 5 зображено мікроструктури сплаву після обробки за умов використання різних енергетичних параметрів.

Функціональна схема для реалізації способу осьової магнітно-імпульсної обробки (фіг. 1) містить генератор імпульсних струмів (ГІС) 1, розплав 2, індуктор 3, тигельну плавильну піч опору 4 та тигель 5. Індуктор 3 розташований співвісно з тиглем 5. При обробці поза піччю використовують проміжний ківш або ливарну форму.

Спосіб здійснюють таким чином.

Метал необхідної марки виплавляють, витримують при необхідній температурі та піддають магнітно-імпульсній обробці індуктором 3, який підводять до поверхні розплаву 2 через отвір тигельної плавильної печі опору 4. З ГІС 1 подають імпульси розрядного струму. У розплаві формуються імпульси магнітного поля з періодом власних коливань від 10 до 20 мкс, протягом

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

часу, визначеного із співвідношення: з необхідною частотою слідування імпульсів  $f$  для обробки всього об'єму розплаву. Далі оброблений розплав виливають у ливарну форму. У разі обробки поза піччю розплав виливають у проміжний ківш або ливарну форму, індуктор підводять до поверхні розплаву, розташовують співвісно з ковшем або ливарною формою та

обробляють імпульсами магнітного поля протягом часу  $t_{обр}$  з необхідною частотою слідування імпульсів  $f$  до температури, яка узгоджена з температурною кривою охолодження обраного 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, при обробці в рідкому стані вплив на розплав потужними короткими високочастотними імпульсами струму з періодом власних коливань від 10 до 20 мкс дає змогу провести ефективне енергетичне модифікування розплаву. Таке 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-друге, при обробці розплаву в рідко-твердому та твердіючому станах періодичний вплив хвилями тиску, які реалізуються шляхом імпульсної електросилової дії на поверхню виливка, приводить до подрібнення дендритів та інших структурних елементів. Періодичне захоплення подрібненою твердою фазою домішок, що скупчуються в процесі кристалізації на межі рідкої та твердої фаз, також приводять до формування дрібної гомогенної структури виливка.

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

Результати випробування даного способу, застосованого для обробки у печі розплаву силуміну АК5М2, наведено на фіг. 2-5 та у таблиці (зразки 1, 2, 3). Зразки 5, 6, 7 у таблиці - дані з обробки розплаву силуміну АК6М2 з роботи (Черников Д. Г. Совершенствование способов магнитно-импульсной обработки расплавов / Д.Г. Черников, В.А. Глуценков, В.И. Никитин, К.В. Никитин // Изв. Самарского научного центра РАН. - 2014. - № 6. - С. 256-262). Сплав силуміну АК5М2 виплавляли при температурі  $750 \pm 10$  °С. Після цього його було піддано магнітно-імпульсній обробці індуктором, який підводили до поверхні розплаву через отвір печі опору. З ГІС подавали імпульси розрядного струму та формували в розплаві імпульси магнітного поля з

періодом власних коливань 10 мкс протягом часу  $t_{обр}$ , визначеного за формулою  $t_{обр} \geq \frac{V}{f \cdot V_1}$ , при співвідношенні об'ємів  $V_1/V \approx 0,03$ , частот  $f$ , які дорівнювали 2, 4, 6 Гц, та складав відповідно 120 с, 60 с та 30 с.

Таблиця

Номер зразка	Енергія, $W_0$ , Дж	Період імпульсу $T$ , мкс	Частота слідування $f$ , імпл/с	Споживна потужність $P_{спож.}$ , кВт	Розмір комірки $\alpha$ , мкм	Розмір кремнію Si, мкм
0	-	-	-	-	57	9,6
1	112,5	10	2	0,225	34	2,5
2	200	10	4	0,8	24	2,9
3	112,5	10	6	0,675	27	2,5
4	1500	300	1	1,5	27	
5	1500	300	1	1,5	31	
6	1500	300	1	1,5	29	

Дослідження довели, що розплав силуміну, оброблений імпульсами магнітного поля, згідно з параметрами, що заявляються, має зменшені показники мікроструктури (розмір комірки а більш ніж у 2 рази, розмір кремнію більш ніж у 3 рази) порівняно з контрольним. Енергетичні показники даної обробки у порівнянні з існуючими аналогами при практично однаковому металургійному ефекті мають у 2-3 рази менше значення енерговитрат на обробку. Це можливо лише у випадку інтенсивної електросилової дії, яка при менших енергіях розряду та енерговитратах на обробку, може бути підвищена за допомогою часових параметрів імпульсу магнітного поля, умов раціонального часу обробки, узгодженого з частотою слідування імпульсів.

Таким чином, запропонований спосіб обробки розплаву металу дозволить збільшити значення електромагнітних сил, що діють на розплав, та забезпечити рівномірність подрібнення структури по перетину виливків, і за рахунок цього підвищити їх службові властивості. Спосіб дає змогу ефективно енергетично модифікувати оброблений метал, одержувати дрібну та рівномірну в об'ємі структуру оброблених виливків, підвищити завдяки цьому їх механічні та експлуатаційні властивості. Також він дозволяє зменшити в декілька разів енергетичні витрати на обробку, спростити конструкцію та зробити більш дешевим обладнання для магнітно-імпульсної обробки, розширити технологічну сферу застосування даного методу на обробку розплавів не тільки в рідкому стані в печі, а й поза піччю, в ливарній формі під час кристалізації.

# ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

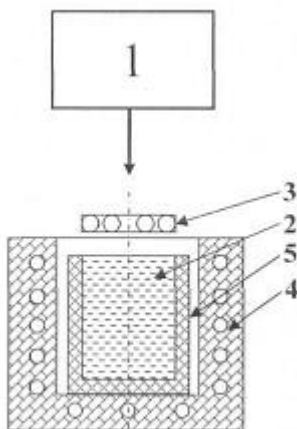
- Спосіб обробки розплаву металу, що включає осьову дію на розплав імпульсними магнітними полями із заданими параметрами, який **відрізняється** тим, що дію імпульсними магнітними полями здійснюють з періодом власних коливань імпульсів магнітного поля від 10 до 20 мкс протягом часу обробки, який визначають із співвідношення:

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

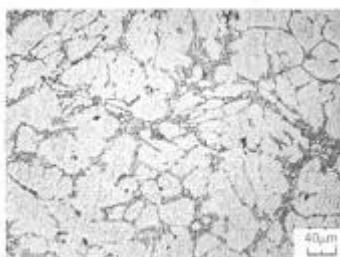
де  $f$  - частота слідування імпульсів, Гц;

$V_1$  - об'єм оброблюваного розплаву за один імпульс, м<sup>3</sup>;

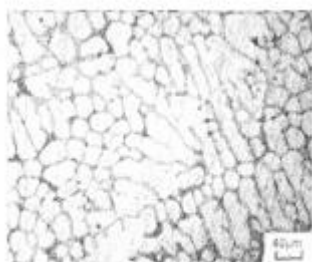
- 10  $V$  - об'єм розплаву, м<sup>3</sup>.



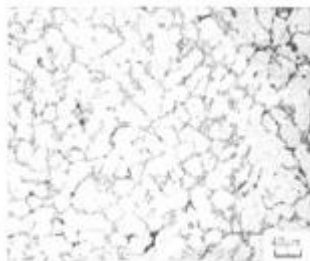
Фиг. 1



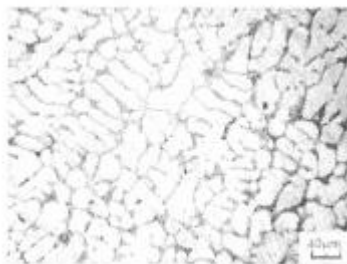
Фиг. 2



Фиг. 3



**Fig. 4**



**Fig. 5**

---

Комп'ютерна верстка Л. Бурлак

---

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

---

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