



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **114986** (13) **C2**

(51) МПК (2017.01)

C22B 9/20 (2006.01)

C22B 9/18 (2006.01)

H05B 7/07 (2006.01)

B22F 3/02 (2006.01)

B22F 3/00

МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки: **а 2016 05797**

(22) Дата подання заявки: **30.05.2016**

(24) Дата, з якої є чинними
права на винахід: **28.08.2017**

(41) Публікація відомостей
про заявку: **10.11.2016, Бюл.№ 21**

(46) Публікація відомостей
про видачу патенту: **28.08.2017, Бюл.№ 16**

(72) Винахідник(и):

**Бозбей Людмила Сергіївна (UA),
Борц Борис Викторович (UA),
Ткаченко Віктор Іванович (UA)**

(73) Власник(и):

**НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР
"ХАРКІВСЬКИЙ ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИЙ
ІНСТИТУТ",**

вул. Академічна, 1, м. Харків, 61108 (UA)

(56) Перелік документів, взятих до уваги
експертизою:

UA 55 501 C2, 15.01.2002

UA 55 470 C2, 15.04.2003

UA 77 118 C2, 16.10.2006

RU 2 139 948 C1, 20.10.1999

RU 2 148 665 C1, 10.05.2000

RU 2 215 381 C1, 27.10.2003

JP S 56-33164 A, 03.04.1981

JP S 61-143528 A, 01.07.1986

JP 2012-143764 A, 02.08.2012

US 4 886 547 A, 12.12.1989

US 5 524 019 A, 04.06.1996

Борц Б.В. Исследование возможности
получения дисперсно-упрочненных
оксидами (ДУО) сталей методом вакуумно-
дугового переплава/Б.В. Борц, А.Ф. Ванжа,
И.М. Короткова, В.И. Сытин, В.И.

Ткаченко//ВАНТ, 2014, № 4(92), Серия:

Физика радиационных повреждений и
радиационное материаловедение (104).- С.
117-124 (8 стор.)

RU 2 083 326 C1, 10.07.1997

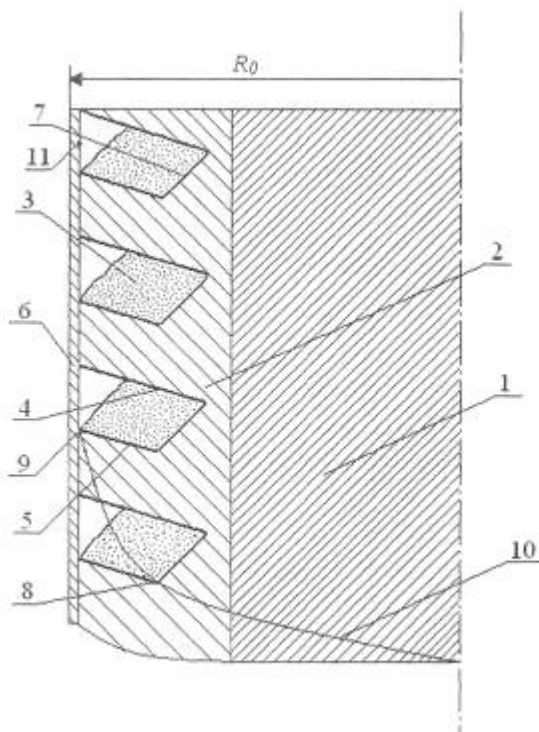
(54) КАТОДНИЙ ВИТРАЧУВАНИЙ ЕЛЕКТРОД ДЛЯ ВАКУУМНО-ДУГОВОГО ПЕРЕПЛАВУ

(57) Реферат:

Винахід належить до галузі металургії, а саме - конструкції катодного витрачуваного електрода для вакуумно-дугового переплаву високореакційних металів і сплавів і виплавки злитків з додаванням легуючих порошків для отримання конструкційних матеріалів. Електрод має вигляд вертикального циліндра з опуклим нижнім торцем з закритими порожнинами, що примикають до бічної поверхні, заповненими легуючим мікро- або нанодисперсним порошком, причому його кожна порожнина має форму кільцевої канавки, утвореної при обертанні навколо осі електрода трапеції з верхньою більшою основою і нижньою меншою основою. Верхня більша основа нахилена до дальньої від осі обертання бічної сторони трапеції, яка паралельна осі обертання,

UA 114986 C2

під гострим кутом $\pi/2 - \alpha$. Ближня до осі обертання бічна сторона трапеції нахилена до горизонтальної лінії під гострим кутом φ , який дорівнює куту природного укосу легуючого порошку. При цьому кут α менше кута φ принаймні в 3,8 разу. Винахід забезпечує підвищення рівномірності розподілу легуючого порошку в утворюваному злитку, що виплавляється за його допомогою.



Фіг. 1

Винахід належить до галузі спеціальної електрометалургії, а саме до вакуумно-дугового переплаву високореакційних металів і сплавів і виплавки злитків для отримання конструкційних матеріалів таких, що мають високу реакційну стійкість, жароміцність, низьку активацію при експлуатації, які можуть використовуватися в активній зоні атомних реакторів нового покоління.

Відомий катодний витрачуваний електрод для вакуумно-дугового переплаву [1] у вигляді вертикального циліндра. Цей електрод використовується для виплавки високореакційних металів і сплавів, зокрема для виплавки злитків з титану і його сплавів. Електрод формують в кристалізаторі печі для утворення цілісного струмопровідного елемента з постійним перерізом.

Недоліком даного електрода є те, що його конструкція не передбачає можливості добавки легуючого порошку в процесі електродугового його переплаву без використання додаткового пристрою. Це значно ускладнює процес отримання легованих сплавів.

Найбільш близьким до патентованого винаходу є катодний витрачуваний електрод для вакуумно-дугового переплаву [2]. Це сталевий циліндровий електрод з опуклим нижнім торцем. У цьому електроді перпендикулярно до його осі рівномірно по азимуту і по довжині виконані циліндрові порожнини, що примикають до бічної поверхні. Порожнини заповнені легуючими мікро- або нанодисперсними частинками оксиду цирконію і щільно закупорені виготовленими з такої ж сталі пробками.

Недоліком даного витрачаного електрода є те, що геометрія порожнин, заповнених легуючим порошком не забезпечує необхідної рівномірності розподілу легуючого порошку в об'ємі злитка, що виплавляється. Це погіршує якість злитка, зокрема, дисперсно-зміцненої оксидами сталі (ДЗО-сталі).

В основу винаходу поставлена задача удосконалити катодний витрачуваний електрод для вакуумно-дугового переплаву шляхом вибору геометричної форми та розміру порожнин, що заповнюються легуючим порошком, для більш рівномірного розподілу його по злитку, що виплавляється.

Поставлена задача вирішується у катодному витрачуваному електроді для вакуумно-дугового переплаву, що патентується. Цей електрод також, як і найближчий аналог, має вигляд вертикального циліндра з опуклим нижнім торцем. До його бічної поверхні примикають закриті порожнини, заповнені легуючим мікро- або нанодисперсним порошком.

На відміну від найближчого аналога в патентованому електроді кожна порожнина має форму кільцевої канавки, утвореної при обертанні навколо осі електрода з радіусом циліндра R_0 трапеції з верхньою більшою основою і нижньою меншою основою. При цьому більша верхня основа нахилена до дальньої від осі обертання бічної сторони трапеції, яка паралельна осі обертання, під кутом $\pi/2 - \alpha$. Довжина ℓ цієї дальньої від осі обертання сторони трапеції відповідає умові: $0,18R_0 < \ell < 0,2R_0$.

Ця нерівність враховує величини допусків при виготовленні кільцевих канавок.

Довжина більшої основи трапеції складає від $0,3R_0/\cos\alpha$ до $0,43R_0/\cos\alpha$. Близня до осі обертання бічна сторона трапеції нахилена до горизонтальної лінії під гострим кутом φ , який дорівнює куту природного укосу легуючого порошку. При цьому кут α менше кута φ принаймні в 3,8 разу. Величина кута α вибирається із умови, щоб нижня поверхня канавки не перетиналася з поверхнею опуклого нижнього торця витрачаного електрода.

Для двох нижніх сусідніх канавок у вертикальному перерізі витрачаного електрода, близня до осі вершина нижньої основи трапеції нижньої канавки і дальня від осі вершина нижньої основи трапеції верхньої канавки знаходяться на лінії, яка описується залежністю:

$$z = \frac{\beta}{R_0} r^2,$$

де: z і r , відповідно, вертикальна і горизонтальна координати точок витрачаного електрода при розташуванні початку координат на його осі в нижній точці плавлення,

β - безрозмірна константа, яка визначається експериментально і дорівнює 3,5.

Відстань між двома будь-якими сусідніми канавками дорівнює відстані між двома нижніми сусідніми канавками.

Витрачуваний електрод може бути виконаний складеним: з суцільного внутрішнього циліндра і охоплюючої його циліндрової труби, в стінці якої виконані вищезазначені кільцеві канавки, заповнені легуючим порошком. Канавки зовні закриті обичайною, що охоплює трубу.

Ці особливості параметрів витрачаного електрода забезпечують відповідний підбір вільних граничних умов на дні циліндрової конвективної комірки, що утворюється при плавленні катода, для рівномірного надходження мікро- або нанодисперсного легуючого порошку, з урахуванням його фізичних властивостей, в об'єм розплавленого металу.

Величина ℓ вибирається малою в порівнянні з радіусом R_0 для забезпечення необхідного відсотка масового вмісту легованого порошку в масі катодного електрода. Наприклад, за

регламентом виготовлення ДЗО-сталей частка масового вмісту порошку діоксиду цирконію в масі катодного електрода повинна складати 0,2 %.

В процесі вакуумно-дугового переплаву матеріал катодного витрачуваного електрода у вигляді крапель металу, що містять мікро- або наночастинки легуючого порошку, буде потрапляти в центральну область циліндрової конвективної комірки. Тут наночастинки силами Архімеда і Стокса, долаючи силу тяжіння, захоплюватимуться вгору. Поблизу верхньої межі комірки радіальним потоком наночастинки виноситимуться до стінки кристалізатора, де вже силами Стокса і тяжіння прямуватимуть до дна комірки. При перевищенні цих сил сили Архімеда мікро- або наночастинки потраплятимуть в замкнутий конвективний потік і піддаватимуться конвективному перемішуванню усередині конвективної комірки, що і забезпечить їх рівномірний розподіл за об'ємом злитка, що виплавляється.

Суть винаходу пояснюється графічними матеріалами. На Фіг. 1 показаний осьовий переріз патентованого катодного витрачуваного електрода. На Фіг. 2 показаний фрагмент осьового перерізу для однієї канавки.

Розглянемо варіант виконання витрачуваного катодного електрода, що патентується, для вакуумно-дугового переплаву сталі 08 × 18Н10Т для отримання ДЗО-сталі, легованої нанодисперсним порошком оксиду цирконію. Катодний витрачуваний електрод (див. переріз на фіг. 1) складається з вертикального циліндра 1 радіусом 0,6 см з опуклим нижнім торцем. Цей циліндр охоплений циліндровою трубою 2, в стінці якої виконані кільцеві канавки, заповнені легуючим порошком 3. Порожниною кожної канавки є тіло обертання, утворене при обертанні навколо осі витрачуваного електрода трапеції з верхньою більшою основою 4 і нижньою меншою основою 5. Канавки зовні закриті обичайкою 6, що охоплює трубу 2. Основи 4 і 5 трапеції нахилені до горизонтальної лінії під гострим кутом $\alpha=10^\circ$ (див. Фіг. 2), при умові, що кут між верхньою більшою основою 4 і дальньою від осі обертання бічною стороною 11 складає $\pi/2 - \alpha$.

Дальня від осі обертання бічна сторона трапеції 11 паралельна осі обертання і її довжина $\ell=0,21$ см. Ближня до осі обертання бічна сторона 7 трапеції нахилена до горизонтальної лінії під гострим кутом природного укусу легуючого порошку ϕ , який для оксиду цирконію дорівнює 38° . Радіус циліндра витрачуваного електрода R_0 (відстань від осі до зовнішньої поверхні обичайки 6), дорівнює 1,5 см. Значення ℓ і R_0 відповідають умові: $0,18R_0 < \ell < 0,2R_0$. Довжина електрода дорівнює 20 см, кількість канавок - 10, відстань між канавками дорівнює 2 см. При цьому для двох нижніх сусідніх канавок у вертикальному перерізі витрачуваного електрода ближча до осі вершина 8 нижньої основи трапеції нижньої канавки та дальня від осі вершина 9 нижньої основи верхньої канавки знаходяться на лінії 10, яка є твірною параболоїда обертання і

описується вищезазначеною залежністю: $z = \frac{\beta}{R_0} r^2$. В даному випадку, виходячи з вищенаведених розмірів катодного електрода і кільцевих канавок, величина $\beta=3,5$ і отримана, виходячи з умови проходження лінії 10 через вершини 8 і 9. Відстань між будь-якими канавками дорівнює відстані між двома нижніми канавками.

Розглянемо процес вакуумно-дугового переплаву для отримання ДЗО-сталі з використанням катодного електрода, що патентується. Цей електрод розміщується у вакуумній камері з мідним кристалізатором, як анодом. Між цим електродом, що складається з суцільного внутрішнього циліндра 1 (див. Фіг. 1) і охоплюючої його циліндрової труби 2 з обичайкою 6, і анодом (на Фіг. 1 не показаний) запалюється і підтримується електрична дуга. Підтримка горіння дуги здійснюється за рахунок повільного переміщення катодного електрода вгору щодо рівня розплавленого металу уздовж осі. Дуга, що горить, призводить до плавлення катодного електрода. Розплав сталі, що стікає по поверхні електрода, захоплює частинки порошку діоксиду цирконію 3 з кільцевих канавок, і утворює краплю, що утримується на нижньому виступі електрода силами поверхневого натягнення. В процесі плавлення нижній виступ електрода набуває форми параболоїда обертання з твірною 10, такою, що проходить через точки 8 і 9, яка

описується з достатнім наближенням залежністю: $z = \frac{\beta}{R_0} r^2$. На нижньому виступі електрода

утворюється крапля рідкого металу з розподіленням в ній порошком діоксиду цирконію, що рівномірно надходить в розплав, завдяки формі виконання кільцевих канавок з вищезгаданими нахилами до горизонтальної осі ліній 4, 5, 7 і 11 (див. Фіг. 1, 2). Перевищення сили тяжіння краплі над силами поверхневого натягнення призводить до її відриву і падіння на поверхню розплаву, який у вигляді рідкої ванни утворює шар розплавленого металевго композиту: метал плюс частинки діоксиду цирконію. У рідкій ванні розплавлений метал має форму циліндрової конвективної комірки, в якій метал піднімається вгору в центрі комірки, і опускається вниз на

зовнішній межі комірки. Конвективне перемішування рідкого металу забезпечує рівномірний розподіл порошку діоксиду цирконію за об'ємом ванни. Плавка ведеться у вакуумі близько 10^3 Па. Водоохолоджувані дно і внутрішня стінка мідного кристалізатора сприяють швидкій, протягом 20-30 хв, кристалізації розплаву.

5 Джерела інформації:

1. Патент РФ № 2215381.

2. Борц Б.В. Исследование возможности получения дисперсно-упрочненных оксидами (ДУО) сталей методом вакуумно-дугового переплава. / Б.В. Борц, А.Ф. Ванжа, И.М. Короткова, В.И. Сытин, В.И. Ткаченко // ВАНТ, 2014, № 4(92), Серия: Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение (104). - с. 117-124 (Наиближчий аналог).

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Катодний витрачуваний електрод для вакуумно-дугового переплаву, у вигляді вертикального циліндра з опуклим нижнім торцем із закритими порожнинами, що примикають до бічної поверхні, заповненими легуючим мікро- або нанодисперсним порошком, який **відрізняється** тим, що кожна порожнина має форму кільцевої канавки, утвореної при обертанні навколо осі електрода з радіусом циліндра R_0 трапеції з верхньою більшою основою і нижньою меншою основою, більша верхня основа має довжину від $0,3R_0/\cos\alpha$ до $0,43R_0/\cos\alpha$ і нахилена до дальньої від осі обертання бічної сторони цієї трапеції, яка паралельна осі обертання, під кутом $\pi/2 - \alpha$, довжина ℓ дальньої від осі обертання сторони трапеції відповідає умові: $0,18R_0 < \ell < 0,2R_0$,

ближня до осі обертання бічна сторона трапеції нахилена до горизонтальної лінії під гострим кутом φ , який дорівнює куту природного укосу легуючого порошку, при цьому кут α менше кута φ принаймні в 3,8 разу, для двох нижніх сусідніх канавок у вертикальному перерізі витрачуваного електрода, ближня до осі вершина нижньої основи трапеції нижньої канавки і дальня від осі вершина нижньої основи трапеції верхньої канавки знаходяться на лінії, яка описується залежністю:

$$z = \frac{\beta}{R_0} r^2,$$

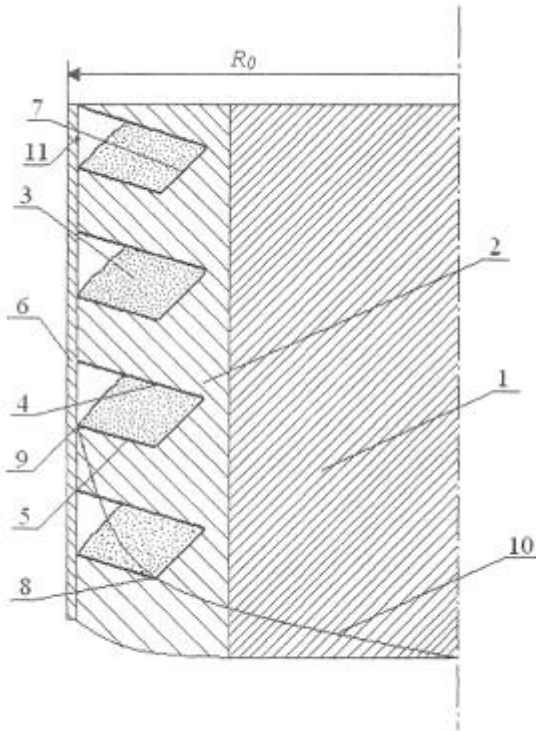
30 де

z і r , відповідно, вертикальна і горизонтальна координати точок витрачуваного електрода, при розташуванні початку координат на його осі в нижній точці плавлення,

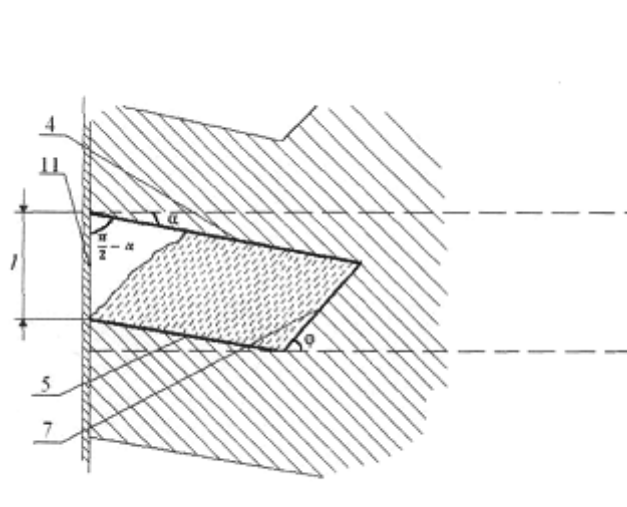
β - безрозмірна константа, яка визначається експериментально і дорівнює 3,5,

35 відстань між двома будь-якими сусідніми канавками дорівнює відстані між двома нижніми сусідніми канавками.

2. Катодний витрачуваний електрод за п. 1, який **відрізняється** тим, що він виконаний складеним: з суцільного внутрішнього циліндра і циліндрової труби, що охоплює його, в стінці якої виконані вищезазначені кільцеві канавки, щільно закриті обичайкою, що охоплює трубу.



Фиг. 1



Фиг. 2

Комп'ютерна верстка Г. Паяльніков

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

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