



УКРАЇНА

(19) UA (11) 52321 (13) U  
(51) МПК (2009)  
B22D 11/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

# ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під  
відповідальність  
власника  
патенту

## (54) СПОСІБ ОТРИМАННЯ БЕЗПЕРЕРВНОГО ЗЛИТКА

1

2

(21) u201001375

(22) 10.02.2010

(24) 25.08.2010

(46) 25.08.2010, Бюл. № 16, 2010 р.

(72) МОЧАЛОВ ОЛЕКСАНДР ОЛЕКСАНДРОВИЧ,  
ШАПОВАЛ НАТАЛІА ОЛЕКСАНДРІВНА

(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕ-  
БУДУВАННЯ ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА

(57) 1. Спосіб отримання безперервного злитка, що здійснюють заливкою металу у водоохолоджуючий кристалізатор та введенням в нього твердого металу, який **відрізняється** тим, що в кристалізатор подають твердий метал у вигляді частинок з температурою нижче точки Кюрі для даного сплаву, а уздовж осі злитка створюють неоднорідне магнітне поле.

2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що тверді частинки подають в кристалізатор в кількості, пропорційній коефіцієнту компактності  $\beta = (0,52-0,60)$  від загальної кількості металу.

3. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що градієнт магнітного поля вибирають із співвідношення

$$\frac{R^2 \left( 1 - \frac{r(1-\beta)}{\sqrt{c_v \frac{5}{9} (T_{кр} - T_o)}} \right)^2}{7,2k} \geq \sqrt{\frac{2l}{p_m \frac{dB}{dz}}},$$

де:

R - радіус частинки, м;

r - теплота фазового переходу, Дж/кг;

$\beta$  - коефіцієнт компактності;

$c_v$  - питома теплоємність частинки, Дж/кг·К;

$T_{кр}$  - температура кристалізації, К;

$T_o$  - початкова температура частинки, К;

k - коефіцієнт температуропровідності, м<sup>2</sup>/с;

l - висота рівня рідкого металу в кристалізаторі;

$p_m = 233A$  м<sup>2</sup>/кг - магнітний момент одиниці маси;

$\frac{dB}{dz}$  - градієнт магнітного поля.

Корисна модель належить до чорної металургії, а саме, до способів отримання безперервного сталевго злитка.

Відомі способи безперервного розливу сталі і отримання безперервного злитка, включають в себе заповнення рідким металом охолоджуючого кристалізатора. витягання злитка з кристалізатора і охолодження його в зоні вторинного охолодження (Сладкоштеев В.Т., Потанин Р.В., Рутес В.С. Непрерывная разливка стали на радиальных установках, М., Металлургия, 1974). Даний спосіб є громіздким, великі габарити установки, мала продуктивність, неможливість організувати об'ємну кристалізацію, що веде до неоднорідності і погіршення якості злитка і зниження продуктивності.

Відомо про спосіб отримання безперервного злитка (Корниенко А.С., Леушин Н.В., Носоченко О.В., Николаев Г.А., Емельянов В.В., Попандопуло І.К., Рыхов Ю.М., Поляков В.В., Казачков Е.А., Шукстський І.Б. Способ непрерывной разливки металла, а.с. №933196 М.кл<sup>3</sup> В22Д11/00.

07.06.1982 Бюллетень №21), згідно з яким в охолоджуючий кристалізатор заливають рідкий метал, туди ж вводять сталеві листи, витягають злиток з кристалізатора і охолоджують до повної кристалізації у вторинній зоні.

У основу корисної моделі поставлено задачу удосконалення способу отримання безперервного злитка, в якому забезпечується організація об'ємної кристалізації, що призводить до покращення якості злитка і підвищення продуктивності.

Поставлена задача вирішується тим, що в спосіб отримання безперервного злитка, який здійснюється заливкою металу у водоохолоджуючий кристалізатор, в який вводять твердий метал з температурою нижче за точку Кюрі.

При цій температурі сила, що діє на них з боку неоднорідного магнітного поля, збільшується в тисячу раз через збільшення величини магнітного моменту одиниці маси. Останнє призведе до зменшення часу перебування частинки в розплаві.

(13) U

(11) 52321

(19) UA

Згідно пропозиції частинки подають в кристалізатор в кількості, пропорційній коефіцієнту компактності  $\beta=(0.52-0.60)$  від загальної кількості металу.

Коефіцієнт компактності  $\beta$  чисельно дорівнює відношенню максимального об'єму, який можуть займати тверді частинки металу при заповненні ними об'єму  $V_T$ , до величини цього об'єму  $V$ :

$$\beta = \frac{V_T}{V}.$$

Для сферичних частинок ця величина може змінюватися від 0,52 до 0,6, якщо частинки дещо відрізняються від сферичних, необхідно брати  $\beta=0,52$ .

Уздовж осі злитка створюють неоднорідне магнітне поле, градієнт якого  $\frac{dB}{dz}$  вибирається із співвідношення

$$\frac{R^2 \left( 1 - \sqrt{\frac{r(1-\beta)}{c_v \frac{5}{9} (T_{кр} - T_o)}} \right)^2}{7,2k} \geq \sqrt{\frac{2l}{P_m \frac{dB}{dz}}},$$

де:

$R$  - радіус частинки, м;

$r$  - теплота фазового переходу, Дж/кг;

$\beta$  - коефіцієнт компактності;

$c_v$  - питома теплоємність частинки, Дж/кг·К;

$T_{кр}$  - температура кристалізації, К;

$T_o$  - початкова температура частинки, К;

$k$  - коефіцієнт температуропровідності, м<sup>2</sup>/с;

$l$  - висота рівня рідкого металу в кристалізаторі;

$P_m = 233 \text{ А} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}$  - магнітний момент одиниці маси;

$\frac{dB}{dz}$  - градієнт магнітного поля.

для того, щоб рідкий метал, що заповнює проміжки між твердими сферичними частинками, встигав віддавати свою теплоту фазового переходу для нагріву центральної частини твердих частинок до температури кристалізації  $T_{кр}$ .

Якщо частинки вводять в розплав з температурою нижче за точку Кюрі, але без наявності неоднорідного магнітного поля з градієнтом  $\frac{dB}{dz}$ ,

який визначається з вищезгаданого співвідношення, то не досягнувши дна рідкої лунки безперервного злитка, вони повністю розплавляються, не забезпечивши об'ємну кристалізацію злитка. Тоді для забезпечення працездатності установки необхідно буде ввести нову ознаку, охолодження злитка в зоні вторинного охолодження.

З боку неоднорідного магнітного поля на рідкий метал і тверді частинки металу діятиме сила, яка надасть твердим частинкам прискорення на декілька порядків більше прискорення вільного падіння, а отже, зменшить час перебування частинок в розплаві, їх прогрів і вірогідність повного ро-

зплавлення і створює передумови для об'ємної кристалізації злитка. Цю силу представимо рівнянням:

$$F = P_m \cdot m \frac{dB}{dz} = ma \quad (1)$$

де  $F$  - сила, яка діє на частинку з боку поля, Н;

$P_m$  - магнітний момент одиниці маси, А·м<sup>2</sup>/кг;

$m$  - маса частинки, кг;

$\frac{dB}{dz}$  - градієнт магнітного поля, Тл/м;

$a$  - прискорення частинки, м/с<sup>2</sup>.

Згідно, (Берклеевский курс физики, т. П.Э. Парселл, Электричество и магнетизм, М., Наука, 1975, стр.349-362) на 1г. заліза, внесеного в неоднорідне магнітне поле з градієнтом  $\frac{dB}{dz} = 17 \text{ Тл/м}$ ,

діятиме сила  $F_1 = 4 \text{ Н}$ , тоді прискорення, з яким рухатиметься частинка масою  $m_1 = 1 \text{ г}$ , буде

$$a = \frac{F_1}{m_1} = \frac{4}{10^{-3}} = 4 \cdot 10^3 \text{ м/с}^2. \quad (2)$$

У виразі (1) сила пропорційна масі частинки і величині, згідно вищесказаного, визначимо магнітний момент одиниці маси, використовуючи вирази (1) і (2)

$$P_m = \frac{a_1}{\frac{dB}{dz}} = \frac{4 \cdot 10^3}{17} = 2,38 \cdot 10^2 \text{ А} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}. \quad (3)$$

Найбільший час перебування частинки в розплаві кристалізатора визначається з умови рівності нулю початкової швидкості частинки і рівнянь кінематики

$$t_1 = \sqrt{\frac{2l}{a}} = \sqrt{\frac{2l}{P_m \frac{dB}{dz}}} \quad (4)$$

де  $l$  - висота рівня рідкого металу в кристалізаторі, м.

На холодні введені частинки буде наморозуватись тонка скориночка металу, товщина якої залежить від температури частинки і часу перебування її в розплаві, тому час перебування частинки в розплаві не повинен перевищувати часу, який необхідний для проникнення ізотерми  $T_{кр}$  углиб частинки на глибину  $\delta$ . Час, за яке ізотерма  $T_{кр}$  проникає углиб на величину  $\delta = nR$ , згідно (Проблеми теплообмена: пер с англ. / Под ред. П.Л. Кириллова М., Атомиздат, 1967, с.64-65) буде

$$t_2 = \frac{\delta^2}{k(\text{const})^2} = \frac{n^2 R^2}{k(2,68)^2}, \quad (5)$$

де  $\delta$  - глибина проникнення ізотерми, м;

$R$  - радіус частинки, м;

$k$  - коефіцієнт температуропровідності, м<sup>2</sup>/с.

$n=(0-0,7)$  - відносний коефіцієнт проникнення ізотерм.

Для здійснення способу необхідно, щоб час, одержаний з виразу (5), був більше або рівний часу, одержаному з виразу (4)

$$\frac{n^2 R^2}{k(2,68)^2} \geq \sqrt{\frac{2l}{P_m \frac{dB}{dz}}}, \quad (6)$$

З другого боку, рідкий метал, що заповнює проміжки між твердими сферичними частинками, повинен віддати свою теплоту фазового переходу для нагріву центральної частини твердих частинок до температури кристалізації  $T_{кр}$ . Тоді рівняння теплового балансу, з урахуванням коефіцієнта компактності (0,52-0,6), запишеться так

$$\frac{4}{3}\pi R^3(1-\beta) r_p = \frac{4}{3}\pi(R-\delta)^3 \rho_{св} \Delta T_{ср}, \quad (7)$$

де  $R$  - радіус частинки, м;

$\beta=(0,52-0,6)$  - коефіцієнт компактності;

$r$  - питома теплота фазового переходу, Дж/кг;

$\rho$  - густина металу, кг/м<sup>3</sup>;

$C_v$  - питома теплоємність затверділого металу, Дж/кг;

$\Delta T_{ср}$  - середньооб'ємний перепад температур між рідким і затверділим металом, К;

$\delta=nR$  - глибина проникнення ізотерми  $T_{кр}$ , м.

Звідси

$$n = 1 - \sqrt[3]{\frac{r(1-\beta)}{C_v \Delta T_{ср}}}. \quad (8)$$

Знаючи, що  $\delta=nR$ , і використовуючи вираз (6) і (8), знайдемо величину

$$\frac{dB}{dz} = \frac{k^2(2,68)^4}{P_m \delta^4} = \frac{52k^2}{P_m n^4 R^4}. \quad (9)$$

Середньооб'ємна температура затверділого металу

$$T_{ср} = T_{кр} - \frac{5}{9}(T_{кр} - T_o), \quad (10)$$

де  $T_{кр}$  - температура кристалізації, К;

$T_o$  - початкова температура твердої частинки, К.

Тоді

$$\Delta T_{ср} = T_{кр} - T_{ср} = \frac{5}{9}(T_{кр} - T_o). \quad (11)$$

Вирази (8) і (9) дають можливість знайти оптимальні відносини між технологічними параметрами, що забезпечують максимальну швидкість витягання злитка.

Наприклад, для сталі мінімальне значення комплексу величин визначається по виразу (9), де  $r=2,7 \cdot 10^5$  Дж/кг,  $C_v=700$  Дж/кг·К,  $T_{кр}=1773$  К,  $T_o=293$  К,  $P_m=2,38 \cdot 10^2$  А·м<sup>2</sup>/кг,  $k=6 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с,  $\beta=0,52$ ,  $l=0,1$  м.

Тоді  $T_{кр}=5/9 \cdot (1773-293)=795$  К,

$$n = 1 - \sqrt[3]{\frac{2,7 \cdot 10^5(1-0,52)}{700 \cdot 795}} = 1 - 0,484 = 0,516,$$

$$\frac{dB}{dz} = \frac{36 \cdot 10^{-12} \cdot 52 \cdot 0,1}{238 \cdot 0,516^4 \cdot R^4} = \frac{1,1 \cdot 10^{-11}}{R^4}.$$

Результати розрахунку для сталі також можна подати у вигляді таблиці 1, з урахуванням зміни деяких параметрів.

Таблиця 1

№, п/п	R, м	l=0,1м	l=0,5м	l=1м
		$\frac{dB}{dz}, \frac{T_l}{m}$		
1	$0,3 \cdot 10^{-3}$	1360	6800	13600
2	$0,5 \cdot 10^{-3}$	176	880	1760

3	$1,0 \cdot 10^{-3}$	11	55	110
4	$1,5 \cdot 10^{-3}$	2,16	10,8	21,6
5	$2,0 \cdot 10^{-3}$	0,69	3,45	6,9

Як бачимо з таблиці 1, градієнт магнітного поля зростає з збільшенням висоти рівня рідкого металу в кристалізаторі, і зменшується з збільшенням радіусу частинок.

Максимальне значення  $\frac{dB}{dz}$  вибирається з конструктивних міркувань. Проте для створення більшого градієнта різко зростають енерговитрати.

Мінімальне значення  $\frac{dB}{dz} = 11 \frac{T_l}{m}$  вибирається з

умови забезпечення однорідності центральної частини злитка, при зменшенні градієнта збільшується неоднорідність злитка через необхідність застосовувати більші частинки. Розрахуємо максимально можливу швидкість витягання злитка

при наступних значеннях величин  $\frac{dB}{dz} = 11 \frac{T_l}{m}$ ,

$$l=0,1\text{м}, P_m=2,39 \cdot 10^2 \text{А} \cdot \text{м}^2/\text{кг}.$$

Тоді

$$w_p = \sqrt{2la} = \sqrt{2P_m \frac{dB}{dz}} = \sqrt{2 \cdot 0,1 \cdot 2,38 \cdot 10^2 \cdot 30} = 22,9 \text{ м/с}.$$

Якщо порівняти дану швидкість витягання злитка з існуючими швидкостями витягання на сучасних установках безперервного розливу сталі (УБРС), які мають порядок  $w=w_p/w$  м/с, то продуктивність установки при даному способі розливу зростає в 1000 разів, крім того, зростає однорідність злитка і його якість. Глибина рідкої лунки в цьому випадку буде значно менше (у 10-20 разів), і немає необхідності застосовувати зону вторинного охолодження, що дозволяє зменшити габарити установки.

Корисна модель пояснюється рисунком, де зображено установку для здійснення способу.

Установка містить водоохолоджуючий кристалізатор 1, зовні якого, співісно з ним, розташовується електромагнітна котушка 2, яка створює неоднорідне магнітне поле. Над водоохолоджуючим кристалізатором розташовується бункер-накопичувач 3 з твердими частинками металу 4 і розливний ківш 5 з рідким металом 6.

Спосіб здійснюється таким чином. На установці безперервного розливу сталі у водоохолоджуючий кристалізатор 1 з розливного ковша 5 заливають рідкий метал 6, створюють за допомогою електромагнітної котушки 2 неоднорідне магнітне поле з певним градієнтом, в рідкий метал 6 з бункера-накопичувача 3 вводять тверді частинки 4 при температурі нижче за точку Кюрі, в кількості, відповідній коефіцієнту компактності  $\beta=0,52-0,60$ , висоту рівня рідкого металу в кристалізаторі 1 підтримують постійною, заливаючи в нього рідкий метал в кількості  $(1-\beta)$ .

Таким чином даний спосіб отримання безперервного злитка в порівнянні з прототипом дозволяє збільшити швидкість самого процесу кристалізації і швидкість розливу металу, зменшити вагові та габаритні характеристики машини безперервно-

го лиття заготовок, поліпшити якість злитка, відповідає необхідність зони вторинного охолодження через відсутність рідкої лунки. Збільшення швид-

кості розливу дозволить сполучити процес безперервного розливу з процесом безперервної прокатки.

