



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 55560

(13) C2

(51) 7 C22B9/18

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

## (54) СПОСІБ МАГНІТОКЕРОВАНОЇ ЕЛЕКТРОШЛАКОВОЇ ПЛАВКИ ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ

1

2

(21) 2001031895

(22) 21 03 2001

(24) 15 04 2003

(46) 15 04 2003, Бюл. № 4, 2003 р.

(72) Компан Ярослав Юрійович, Протоковілов Ігор  
Вікторович(73) Компан Ярослав Юрійович, Протоковілов Ігор  
Вікторович

(56) US 5032177 A, 16 07 1991

US 4578794 A, 25 03 1986

EP 0386556 A, 12 09 1990

(57) Спосіб магнітокерованої електрошлакової  
плавки титанових сплавів, який включає плавку  
витратного електроду і кристалізацію зливка в  
кристалізаторі з використанням зовнішнього

поздовжньо-радіального магнітного поля, який відрізняється тим, що в нижніх шарах шлакової ванни, по її периферії, утворюють зону для осадження шкідливих включень, а зовнішнє поздовжньо-радіальне магнітне поле концентрують в верхніх шарах шлакової ванни та забезпечують обертальний рух розплаву, що призводить до направленої переміщення рідкого електродного металу в зону осадження, а також - до її заповнення та наступного осадження шкідливих включень в цій зоні, при цьому металеву ванну формують із рідкого металу, що перетікає в неї при переповненні зони осадження, верхній рівень якої знаходиться вище дзеркала металеві ванни

Винахід належить до області металургії, а саме до магнітокерованої електрошлакової плавки, і може знайти застосування в виробництві титанових сплавів

Відомий спосіб магнітокерованої електрошлакової плавки титану і сплавів на його основі, який включає в себе плавку витратного електроду і кристалізацію зливка в кристалізаторі під впливом зовнішнього радіального магнітного поля (патент США №6113666, 9/2000). Цей спосіб дозволяє отримувати титанові зливки з високою хімічною і фізичною однорідністю і дрібнозернистою кристалічною структурою металу. Він також дозволяє ефективно розчиняти і виводити в гарнісажну скоринку оксинтриди титану - дефекти типу LDI (Low Density Inclusions).

Однак, одним з недоліків цього способу є низька ефективність видалення тугоплавких шкідливих включень високої щільності - так званих дефектів типу HDI (High Density Inclusions). Ці дефекти являють собою включення на основі WC, MoS та ін., які потрапляють в металургійну ванну з шихтовими компонентами. Наявність таких дефектів в металі значно погіршує його ресурсні характеристики.

В основу винаходу покладене завдання, створити такий спосіб магнітокерованої електрошлакової плавки титанових сплавів, який

завдяки особливостям течій металургійного розплаву та наявності зони осадження дозволить би видаляти HDI включення з металу зливка і за рахунок цього покращити його експлуатаційні показники.

Поставлене завдання вирішується тим, що у способі магнітокерованої електрошлакової плавки титанових сплавів, який включає плавку витратного електроду та кристалізацію зливка в кристалізаторі з використанням зовнішнього поздовжньо-радіального магнітного поля, відповідно винаходу в нижніх шарах шлакової ванни, по її периферії, створюють зону для осадження шкідливих включень, а зовнішнє поздовжньо-радіальне магнітне поле концентрують в верхніх шарах шлакової ванни та забезпечують обертальний рух розплаву, що призводить до направленої переміщення рідкого електродного металу в зону осадження, а також - до її заповнення та наступного осадження шкідливих включень в цій зоні, при цьому, металеву ванну формують із рідкого металу, що перетікає в неї при переповненні зони осадження, верхній рівень якої знаходиться вище дзеркала металеві ванни.

Використання зовнішнього поздовжньо-радіального магнітного поля, яке зосереджене в верхніх шарах шлакової ванни, дозволяє створити

(13) C2

(11) 55560

(19) UA

в шлаковій ванні електровихрові течії, які виносять електродні краплини на периферію шлакової ванни і потім в зону осадження, де HDI включення осідають у вигляді металевого гарнісажу

Спосіб магнітокерованої електрошлакової плавки титанових сплавів пояснюється фігурами 1 і 2

На фіг 1 схематично зображений пристрій для здійснення способу згідно винаходу, а на фіг 2 - схематичне зображення характеру обертання шлакового розплаву при магнітокерованій електрошлаковій плавці

Сутність способу заключається в наступному: Електричний струм пропускають через витратний електрод 1 (фіг 1), шлакову ванну 2, металеву ванну 3 і метал зливка 4. В результаті проходження скрізь шлакову ванну електричного струму, в ній виділяється основне тепло, так як питомий опір рідкого шлаку на 2-3 порядки більше опору твердого і розплавленого металу. Витратний електрод розплавляється в шлаковій ванні з утворенням металеві ванни і подальшим формуванням зливка

Процес плавлення металу здійснюється під впливом зовнішнього магнітного поля, створеного електромагнітним пристроєм 5. Зона плавлення металу та розігрітий до високої температури електрод ізольовані від атмосфери вакуумною камерою 6, і герметично з'єднаним з нею Т-образним кристалізатором 7. Перед плавкою плавильна камера піддається вакуумуванню, а потім заповнюється інертним газом

В процесі плавки електричний струм, який має щільність  $J$ , взаємодіє з зовнішнім, створеним електромагнітною системою, магнітним полем  $\vec{B}$ , утворюючи електромагнітні сили  $\vec{F}_e$  в розплаві:

$$\vec{F}_e = \vec{j} \times \vec{B}$$

Так як в циліндричних координатах  $z, r, \phi$  електричний струм має складові  $(j_z, j_r, 0)$ , а зовнішнє магнітне поле -  $(B_z, B_r, 0)$ , то

електромагнітна сила  $\vec{F}_e = \vec{j} \times \vec{B}$  буде мати

складові  $\vec{F}_e = (0, 0, j_z B_r - j_r B_z)$ . Тобто зовнішнє магнітне поле 8 (фіг 2) при взаємодії зі струмом плавки створює азимутальну електромагнітну силу, яка призводить до обертання розплаву навколо вісі симетрії як це показано стрілкою 9. При цьому, складові електромагнітної сили  $j_z B_r$  і  $j_r B_z$  діють в одному напрямку

Якщо, зовнішнє поздовжньо-радіальне поле зосередити в верхніх шарах шлакової ванни, то це поле там буде мати найбільше значення індукції, і відповідно обертання розплаву у верхніх шарах ванни буде максимальним. Розплав шлаку буде відкидатися від вісі ванни з більшою силою в верхніх шарах ванни і з меншою - в нижніх. Під дією розподіленою таким чином відцентрової сили, яка умовно зображена позицією 10, розплав приходить до руху, показаного стрілкою 11, в площині  $z-r$

Наявність такого руху в шлаковій ванні призводить до того, що краплини розплавленого металу та нерозчинені включення під дією відцентрових сил та течій шлаку, потрапляють спочатку в зону осадження 12, яка може бути виконана у вигляді канавки, а потім через прорізи перетікають в металеву ванну. При цьому, шкідливі HDI включення осідають в канавці у вигляді металевого гарнісажу 13

Оптимальне значення індукції зовнішнього магнітного поля визначається окремо, для кожного конкретного випадку, виходячи з типорозміру електроду, зливка, складу флюсу та електроду, та конструктивних особливостей кристалізатора

Приклад 3 використання запропонованого способу і способу прототипу було виплавлено 6 зливок титанового сплаву BT22

Витратні електроди були виконані в вигляді прутків діаметром 105мм, в центральну частину яких навмисно вводили включення WC

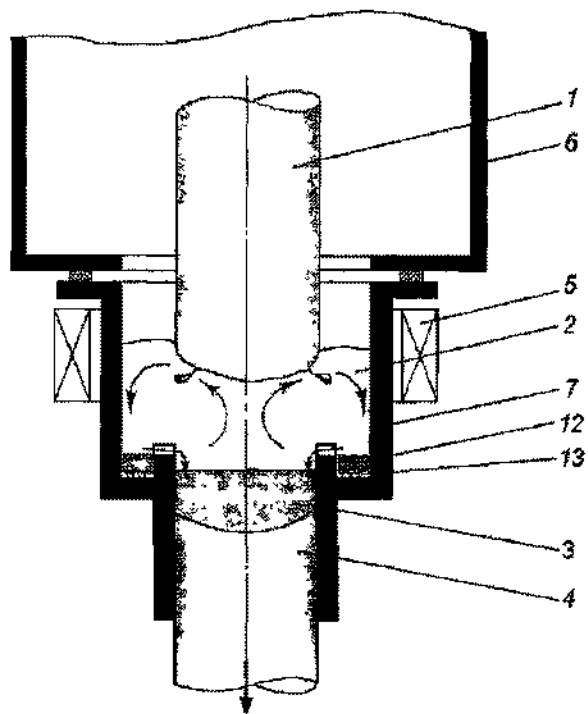
В таблиці наведені режими плавок і результати досліджень наявності в зливках включень WC

Таблиця

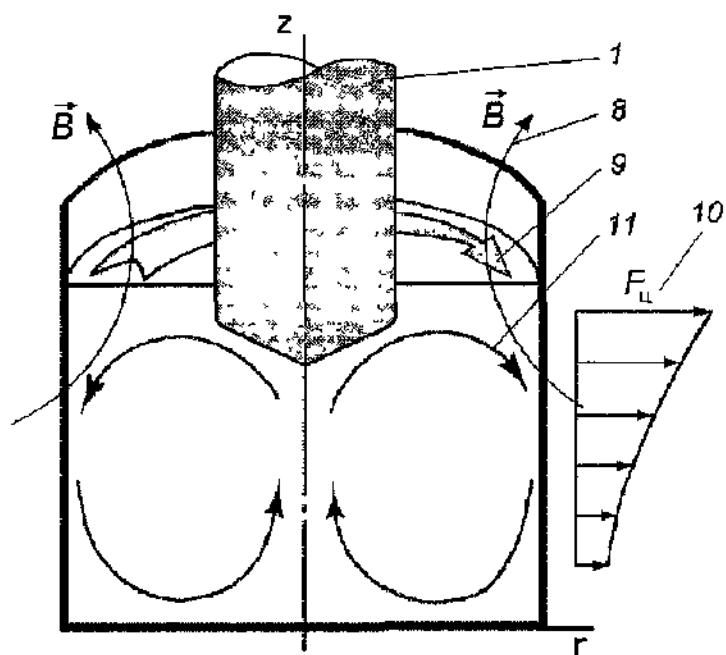
№ п/п	Спосіб плавки	Сила струму плавки, А	Індукція магнітного поля, Тл	Кількість включень в електроді	Кількість включень в зливку	Характеристика процесу
1	Спосіб	7000	0,6	6	5	Сталий
2	Прототип	6500	0,8	6	5	Сталий
3	Запропонований	7000	0,4	6	3	Сталий
4	Спосіб	7000	0,6	6	2	сталий
5		6500	0,8	6	1	сталий
6		6500	1,0	6	1	несталий

Як видно із Таблиці, використання запропонованого способу плавки на оптимальних

режимах, дозволило виділити приблизно 80% шкідливих HDI включень, в той час, як спосіб прототип тільки 15%



Фиг.1



Фиг.2