



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **76460** (13) **C2**
(51) МПК (2006)
C21C 7/072
C21C 7/064
B22D 1/00
B22D 11/117 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ ПЕРЕМІШУВАННЯ СТАЛІ У КОВШІ

1

(21) 20031110601
(22) 18.04.2002
(24) 15.08.2006
(86) PCT/RU02/00180, 18.04.2002
(31) 2001110779
(32) 24.04.2001
(33) RU
(46) 15.08.2006, Бюл. № 8, 2006 р.
(72) Шумахер Евальд А., DE, Хлопонін Віктор Ніколаєвич, RU, Шумахер Едгард Е., DE, Зінковскій Іван Васильєвич, RU
(73) ТЕХКОМ ІМПОРТ-ЕКСПОРТ ГмбХ, DE
(56) SU, 557 867, А, 15.05.1977
SU, 629 889, А, 25.10.1978
SU, 1 044 638, А, 30.09.1983
SU, 1 211 304, А, 15.02.1986
Заявка UA, 94032282, А, 26.12.1995
Заявка UA, 2003108902, 15.12.2003
GB, 760 561, А, 31.10.1956
FR, 2 506 332, А, 26.11.1982
CZ, 286 188, В6, 16.02.2000
CN, 1 294 199, А, 09.05.2001
Эль-Кадах Н., Зекели Дж. Турбулентность и перемешивание в технологических процессах ковшовой металлургии//Инжекционная металлургия. Пер. с англ. под. ред. д.т.н. М.Ф. Сидоренко.- М.: Металлургия, 1986.- С.90-91, 140-145
Кузнецов Ю.М. Способ интенсификации перемешивания металла в ковше при продувке газом//Сталь.-1999.- №12. - С.17-19

2

(57) 1. Спосіб перемішування сталі у ковші, що включає продування сталі знизу газом або газопорошковою сумішшю через передбачені продувні пристрої, принаймні один з яких зміщений відносно вертикальної осі ковша в напрямку його стінки, який **відрізняється** тим, що одночасно з продуванням здійснюють обертання ковша відносно його вертикальної осі, при цьому напрямок обертання періодично змінюють на протилежний.
2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що обертання ковша здійснюють на кут α , не менший 360° , при цьому продування здійснюють через продувні пристрої, що розташовані на радіусі дна ковша.
3. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що обертання ковша здійснюють на кут α , не менший 180° , при цьому продування здійснюють через продувні пристрої, що розташовані на діаметрі дна ковша.
4. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що обертання ковша здійснюють на кут α , не менший 90° , при цьому продування здійснюють через продувні пристрої, що розташовані на взаємно перпендикулярних діаметрах дна ковша.
5. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що обертання ковша здійснюють на кут, не менший ніж 360° - α , при цьому продування здійснюють через продувні пристрої, що розташовані в секторі ковша з центральним кутом α .

Винахід відноситься до обробки сталі у ковші в чорній металургії.

Ковшова металургія в останні роки отримала широке розповсюдження при виробництві сталі, особливо, якщо вона включає безперервне розлиття. В більшості способів ковшової металургії

здійснюється перемішування сталі у ковші інертним чи нейтральним газом чи подають газопорошкові суміші. Подачу газу чи газопорошкової суміші здійснюють через фурми чи пористі пробки у дні ковша, котрі розміщують в центрі ковшу чи зміщеними до його стінки. Кількість фурм пористих про-

(13) **C2**
(11) **76460**
(19) **UA**

бок зазвичай приймають рівну двом. В той же час, відомі установки, на яких вдмухування аргону здійснюють через 16 горизонтальних фурм.

Процес перемішування сталі, прискорення цього процесу, охоплення процесом перемішування більшої частини об'єму сталі у ковші відіграють визначальну роль у досягненні цілей ковшової металургії: гомогенізації розплаву, прискорення процесів розкислення, видалення неметалургійних включень, а також десульфурзації і дефосфорації сталі (останнє - шляхом інжектування у сталь газопорошкових матеріалів).

Відомий спосіб перемішування сталі, що включає введення до сталі розчинного газу, який при вакуумуванні виділяється в сталі у вигляді дрібних пухирців, які спливають на поверхню сталі [см., наприклад, "Сталеплавильне виробництво на порозі третього тисячоріччя", додаток №7 до журналу "Новини чорної металургії за кордоном", 2000, стор.25].

Головним недоліком способу є відносно високі витрати, що необхідні для його здійснення, в зв'язку з тим, що реалізація способу передбачає використання циркуляційного вакуумування (процес NK-PERM фірми "Nippon Kokan").

Відомий спосіб перемішування сталі у ковші, який включає перемішування сталі електромагнітними силами [см., наприклад, "Інжекційна металургія". Пер. з англ., під ред. Сидоренко М. В. М.: Металургія, 1986р., с.90].

Основним недоліком способу є висока вартість обладнання, що при цьому використовується, яка не завжди виправдовує отриманий при цьому позитивний ефект від перемішування сталі.

Відомий спосіб перемішування сталі у ковші при продуванні газом, який включає підвід газу у метал через продувні пристрої у вигляді занурюємих в метал фурм з диском [см., наприклад, Сталь, №12, 1999р., с.17-19].

Основний недолік способу полягає у неможливості при його реалізації охопити весь об'єм металу у ковші, що знижує ефективність перемішування металу.

Відомий спосіб перемішування сталі у ковші, що включає продувку сталі знизу газом чи газопорошковою сумішшю через передбачені продувні пристрої, як мінімум одно з яких зміщено від центру ковша [см., наприклад, вказане джерело "Інжекційна металургія", с.142-143 і рис.12]. При реалізації відомого способу газ підводять у нижню частину ковшу через пористі пробки у його дні чи крізь занурюєму фурму (газопорошкову суміш).

За суттєвими ознаками цей відомий спосіб перемішування сталі у ковші є найбільш близьким до того, що пропонується, тому прийнятий за прототип.

Одною з важливих якостей цього відомого способу у порівнянні з розглянутими раніше, є його відносна дешевина і простота у реалізації. Однак, способу властивий суттєвий недолік, який полягає в тому, що в процесі продування газом (газопорошковою сумішшю) сталь не в однаковій мірі перемішується по об'єму ковша. Інтенсивне перемішування має місце тільки у стовпі сталі (що розбігається по мірі наближення до поверхні), який розташований над ділянкою подачі газу (газопо-

рошкової суміші) у ківш. Інші ділянки об'єму сталі у ковші перемішуються в меншій мірі і ступінь перемішування знижується тим більш суттєво, чим далі знаходиться цей об'єм сталі від зазначеної ділянки подачі газу у ківш. При цьому, практично цілком не охоплюються перемішуванням придонні ділянки сталі. Звичайно, зазначене знижує ефективність застосування вказаного перемішування сталі у досягненні вже встановлених цілей ковшової металургії.

Спосіб перемішування, що пропонується, не має вказаних недоліків. В ньому забезпечена подача газу (газопорошкової суміші) з охопленням всього об'єму сталі у ковші, таким чином здійснюється максимальне перемішування сталі у ковші, можливе при застосуванні подачі газу (газопорошкової суміші) у ківш в ролі інструмента перемішування сталі. При цьому в якості газу використовується інертний чи нейтральний газ, склад порошкової суміші визначається даним технічним завданням по доведенню сталі до необхідних характеристик.

Перераховані технічні результати досягаються завдяки тому, що у способі перемішування сталі у ковші, котрий включає продування сталі знизу газом чи газопорошковою сумішшю через передбачені продувні пристрої, по меншій мірі одно з яких зміщено відносно вертикальної вісі ковшу в напрямку його стінки, відповідно винаходу одночасно з продуванням здійснюють обертання ковшу відносно його вертикальної вісі, при цьому напрямки обертання періодично змінюють на протилежний. При обертанні ковшу на кут $360^\circ - \alpha$ продування здійснюють через продувні пристрої, які розташовані на радіусі дна ковшу чи через продувні пристрої, що розміщені у секторі ковшу з центральним кутом α ; при обертанні ковшу на кут не менш 180° продування здійснюють через продувні пристрої, що розташовані на діаметрі дна ковшу; при обертанні ковшу на кут не менш 90° , продування здійснюють через продувні пристрої, що розташовані на взаємно-перпендикулярних діаметрах дна ковша.

Спосіб перемішування сталі у ковші, що пропонується, пояснений схематичними кресленнями.

На Фіг.1 приведено схему реалізації способу перемішування сталі у ковші при підводі газу чи газопорошкової суміші через багатопористі продувні пристрої, що розміщені у дні ковша.

На Фіг.2 - аналогічна Фіг.1 схема приведена для випадку підвода газу чи газопорошкової суміші через введену у сталь фурму.

На Фіг.3 - вид по стрілці А на ківш на Фіг.1.

На Фіг.4 - вид по стрілці Б на ківш на Фіг.2.

На Фіг.5 - вид по стрілці А на ківш на Фіг.1 у випадку розташування продувних пристроїв по радіусу ковша та їх переміщення відносно сталі шляхом обертання ковшу на один оборот.

На Фіг.6 - вид по стрілці А на ківш на Фіг.1 у випадку розташування продувних пристроїв по діаметру дна ковша та їх переміщення відносно сталі шляхом обертання ковшу на пів обороту.

На Фіг.7 - вид по стрілці А на ківш на Фіг.1 у випадку розташування продувних пристроїв на взаємно-перпендикулярних діаметрах дна ковша та їх переміщення відносно сталі шляхом обер-

тання ковшу на четвертину обороту.

На Фіг.8 - вид по стрілці А на Фіг.1 у випадку розташування продувних пристроїв в секторі з центральним кутом α та їх переміщення відносно сталі шляхом обертання ковшу на кут $360^\circ - \alpha$.

На Фіг.9 - вид аналогічний Фіг.8, але для сектора з центральним кутом $\alpha = 90^\circ$.

На Фіг.10 - вид по стрілці А на Фіг.1 у випадку іншого варіанту розташування у дні ковшу передбаченого продувного пристрою і його переміщення відносно сталі шляхом реверсивного обертання ковшу на цілий оборот.

На Фіг.11 приведено розміщення продувних пристроїв у дні ковшу на холодній моделі, що реалізує запропонований спосіб.

Періодичне зміна напрямку обертання ковша - на Фіг.3-10 показана стрілками з безперервними лініями в одному напрямку і з пунктирними лініями - для реверса.

Сталерозливний ківш 1 (Фіг.1) виконаний у вигляді тіла обертання із стінками 2 та дном 3. Вертикальна вісь ковшу 4. У ковші в рідкому стані знаходиться сталь 5. Знизу зі сталлю контактує продувний пристрій 6 через який у сталь подають інертний чи нейтральний газ, чи газопорошкову суміш необхідного складу 7. Ківш встановлений на обертальному столі 8 з приводом обертання 9. Продувний пристрій може бути також виконаний у вигляді опущеної в метал теплоізолюваної фурми 10 (Фіг.2), що надійно прикріплена до стінки ковшу за допомогою кріпильних пристроїв 11. Продувний пристрій 6 може бути виконаний у вигляді пористої вогнетривкої вставки чи вогнетривкої пробки з рядом порожнин (на Фіг.3, 5-10 вихід порожнин умовно позначений у вигляді хрестиків). При цьому така вставка (пробка) може бути одна (Фіг.3), чи їх може бути декілька (Фіг.5-10). У цьому випадку вставки (пробки) можуть бути розташовані на радіусі дна ковшу (Фіг.5); на діаметрі дна ковшу (Фіг.6); на взаємно-перпендикулярних діаметрах дна ковшу (Фіг.7); охоплювати сектор дна ковшу з центральним кутом α (Фіг.8), в тому числі з $\alpha = 90^\circ$ (Фіг.9); або бути довільно розташованими (якщо це обґрунтовано) на дні ковшу (Фіг.10). Пористі вставки чи вогнетривкі пробки можуть реалізовувати скрите і відкрите продування сталі. Суворо кажучи їх форма не обов'язково повинна бути круглою. Все зазначене не змінює сутності запропонованого способу перемішування сталі.

На Фіг.3-10 пунктиром показана ділянка сталі у ковші, яка охоплена дією продувних пристроїв при стаціонарному положенні ковшу, заштрихована ділянка сталі у ковші знизу і доверху охоплена дією продувних пристроїв при реалізації цього способу. Сама по собі дія продувних пристроїв може бути інтенсивною, наприклад, на початку оброблення сталі у ковші, і не інтенсивною (пузирковою, "м'якою"), наприклад, наприкінці оброблення сталі у ковші. Реалізація вказаних режимів роботи продувних пристроїв не зачіпає суті запропонованого способу перемішування сталі у ковші.

Спосіб перемішування сталі у ковші реалізується наступним шляхом.

Сталерозливний ківш 1 (Фіг.1) після наповнення рідкою сталлю 5 подають для позаагрегатного

оброблення сталі, яке може полягати у продуванні металу інертними газами, в десульфурзації і модифікуванні сталі шляхом продування сталі у ковші газопорошковою сумішшю відповідного складу. Ківш 1 встановлюють на обертальний стіл 8, до продувних пристроїв 6 підводять газ 7 (чи газопорошкову суміш) і шляхом його подачі в сталь здійснюють позаагрегатне оброблення сталі, основа якого полягає у використанні ефекту перемішування сталі у ковші.

З моменту подачі газу (газопорошкової суміші) в сталь приводом 9 здійснюють обертання ковшу 1 відносно його вертикальної вісі 4. Величина кута обертання ковша залежить від конкретного виконання передбачених продувних пристроїв 6, точніше від охоплення їх дією ділянки сталі у нижній частині (у дна 3) ковша 1 при його стаціонарному положенні.

При обертанні ковша 1 відносно його вертикальної вісі 4 сталь 5 завдяки інерційним силам практично залишається на місці, у той час як стінки 2 дна 3 ковша 1 переміщуються. Обертання дна 3, в якому розташовані продувні пристрої 6, при положенні сталі 5, яке практично не змінюється, рівноцінне переміщенню відносно сталі 5 продувних пристроїв 6 у горизонтальній площині. В свою чергу переміщення відносно сталі 5 продувних пристроїв 6 у горизонтальній площині змінює всю картину перемішування сталі у ковші: від локального, в районі дії продувного пристрою 6, (у випадку стаціонарного положення ковшу), до розповсюдження дії продувного пристрою 6 на сталь 5 по всьому її об'єму на шляху переміщення продувних пристроїв відносно сталі у горизонтальній площині. Зазначене складає загальну сутність способу перемішування сталі у ковші, що пропонується.

При реалізації даного способу перемішування сталі у ковші відсутня необхідність у великих швидкостях обертання ковша, а достатньо 3...15 оборотів на хвилину ($\omega = 0,3...1,5 \text{ с}^{-1}$), у зв'язку з тим, що при обертанні ковшу об'єм сталі в ньому можуть захопити тільки сили рідинного тертя між шарами сталі у дна 3 та стінок 2 ковшу, які, як відомо, є незначними.

При реалізації даного способу перемішування сталі у ковші відсутня необхідність у постійному обертанні ковшу, в зв'язку з тим, що по-перше, постійне обертання ковшу 1 поступово призведе до обертання сталі 5, по-друге, постійне обертання ковша призведе до необхідності вирішення складної технічної задачі по підведенню газу (газопорошкової суміші) до продувного пристрою 6.

При реалізації даного способу перемішування сталі у ковші відсутня необхідність у реалізації обертання ковшу на величину, більшу його одного обороту (360°), в зв'язку з тим, що при обертанні ковшу на один оборот продувний пристрій 6, навіть виконаний у вигляді тільки однієї вставки (пробки) на Фіг.1 і 3, а тим більше у вигляді сукупності вставок (пробок), що розташовані по радіусу дна ковша (Фіг.5), і займають своє початкове положення, тобто охоплюють своєю дією весь об'єм сталі у ковші. Стає очевидною необхідність повернення продувних пристроїв 6 у початкове положення відносно сталі, тобто реверс обертання ковшу. Відмова від такого технічного рішення (тоб-

то від зміни напрямку обертання на протилежний) означає необґрунтоване ускладнення технічної задачі подачі газу (газопорошкової суміші) до продувних пристроїв без підвищення ефекту перемішування сталі. Зазначене обумовлює у даному способі реалізацію зміни напрямку обертання на протилежний.

Це обертання із зміною напрямку обертання ковшу 1 може бути реалізовано електромеханічним приводом (Фіг.1 і 2), гідромеханічними (за допомогою гідроциліндрів і рейкового механізму) механізмами, кривошипно-шатунними та іншими механізмами. У кожного з цих варіантів приводів є переваги й недоліки, які тут не аналізуються, в зв'язку з тим, що реалізація приводу не змінює суті запропонованого способу перемішування сталі у ковші.

Виходячи з того, що переміщення відносно сталі 5 передбачених продувних пристроїв 6 в горизонтальній площині здійснюють шляхом реверсивного обертання ковшу відносно його подовжньої вісі 4, при реалізації даного способу по меншій мірі один продувний пристрій повинен бути зміщений від подовжньої вісі 4 (це відоме з практики оброблення сталі у ковші технічне рішення).

При реалізації даного способу перемішування сталі у ковші перевагу віддають розміщенню продувних пристроїв у дні ковшу (Фіг.1). В той же час можуть бути застосовані продувні фурми 10 (Фіг.2 і 4), що опускаються в ківш, які в даному випадку повинні бути надійно прикріплені до стінок ковшу за допомогою пристроїв кріплення 11 (Фіг.2). Застосування продувних фурм у даному випадку менш бажане за двома причинами: по-перше, їх наявність зменшує інерційні сили сталі, що утримують її від обертання при обертанні ковшу, по-друге, кріплення фурм до стінок ковшу відноситься до достатньо складних технічних завдань.

Матеріали Фіг.1 і 3 розкривають сутність даного способу перемішування сталі у ковші на прикладі переміщення відносно сталі одного продувного пристрою 6 у вигляді пробки, що розміщена у дні ковша зі зміщенням від подовжньої вісі 4 ковшу 1. Приклади реалізації на Фіг.5-10 не змінюють сутності даного способу, але на них продемонстрована можливість підсилення ефекту перемішування сталі у ковші за рахунок інших варіантів виконання передбачених продувних пристроїв.

При подачі газу (газопорошкової суміші) 7 через продувний пристрій 6 газ підіймається вгору, трохи розширюючи сферу охоплення сталі по мірі наближення до її верхнього рівня (на Фіг.1-10 пунктиром відмічена область перемішування сталі у ковші при стаціонарному положенні продувного пристрою 6). При обертанні ковшу 1 на один оборот продувний пристрій 6 послідовно займає положення а-г і в положенні д повертається у початкове положення а, після чого обертання реверсують і пристрій 6 проходить ці положення в зворотній послідовності.

У зв'язку з тим, що сталь 5 в процесі обертання ковшу 1 практично зберігає своє положення через сили інерції, послідовний перехід продувного пристрою 6 з положення а через зазначені положення б-д змінює картину проходження газом (газопорошковою сумішшю) сталі, що показано на

Фіг.1 і 2 у вигляді кривих б, в, г і д з пазирками, відповідних положенням б, в, г, і д продувного пристрою 6 на Фіг.3 і 4. При реверсі обертання ковшу криві б, в, г і д на Фіг.1 будуть мати відхилення в зворотному напрямку. Таким чином протягом циклу реверсивного обертання ковшу у нашому випадку струмінь газу (газопорошкової суміші) 7 охоплює знизу і догори область сталі 5 у ковші 1, що заштрихована на Фіг.2-10. З простого співставлення пунктирів (кругів) на Фіг.3-10, що окреслюють область безпосередньої дії продувного пристрою 6 по перемішуванню сталі 5 у відомому способі, і заштрихованої області на Фіг.3-10 охоплення продуванням газом сталі у ковші при реалізації даного способу видно суттєве розширення перемішування сталі у ковші в нашому випадку.

Варіанти виконання передбачених продувних пристроїв на Фіг.5-10 розширюють можливості перемішування сталі у ковші завдяки горизонтальному переміщенню декількох продувних пристроїв відносно сталі.

У варіанті на Фіг.5 передбачені продувні пристрої розташовані на радіусі дна 3 ковшу 1 і при реверсивному обертанні на один оборот продувні пристрої 6, переміщуючись відносно сталі 5, подають газ по всьому об'єму сталі 5 у ковші 1 (на Фіг.5 область охоплення сталі 5 дією газу 7 заштрихована).

У варіанті на Фіг.6 передбачені продувні пристрої 6 розташовані на діаметрі дна 3 ковшу 1 і при реверсивному обертанні ковшу на величину, не менше половини обороту, продувні пристрої 6, переміщуючись відносно сталі 5, подають газ по всьому об'єму сталі 5 у ковші 1 (на Фіг.6 область охоплення 5 дією газу 7 заштрихована). Реалізація варіанту розташування продувних пристроїв на Фіг.6 не виключає реверсивного обертання ковшу 1 на один оборот чи на проміжні значення між половиною обороту і повним оборотом. Зазначене додатково підсилює перемішування сталі газом, але необхідність у такому обертанні ковшу не завжди може бути виправданою.

У варіанті на Фіг.7 передбачені продувні пристрої 6 розташовані на взаємно-перпендикулярних діаметрах дна ковшу і для ефективного перемішування сталі в цьому випадку достатньо ковшу надати реверсивне обертання не менш, ніж на чверть обороту і таким чином охопити дією газу весь об'єм газу у ковші. Так само, як і у випадку на Фіг.6 при цьому варіанті виконання продувних пристроїв не виключене переміщення продувних пристроїв на кут обертання ковшу, більший чверті обороту, але не більше одного обороту.

У варіанті на Фіг.8 передбачені продувні пристрої розташовані в секторі з центральним кутом α і для охоплення всього об'єму сталі у ковші дією газу у цьому випадку достатньо реверсивного обертання ковшу не менш, ніж на кут $360^\circ - \alpha$ (і більш, до одного обороту ковша). Центральний кут α сектору може бути змінений у більший чи менший бік, відповідно у менший чи більший бік змінюють кут обертання ковшу.

У варіантах на Фіг.9 і 10 показані інші можливі випадки розташування передбачених продувних пристроїв на дні ковшу, відповідні їм кути обертання ковшу і область сталі у ковші, охоплена дією

продувного газу (газопорошкової суміші).

Представленими на Фіг.3-10 не охоплюються всі можливі варіанти розташування передбачених у дні ковшу продувних пристроїв, але в будь-якому випадку їх розташування не менш одного продувного пристрою розташовують зі зміщенням від подовжній вісі ковшу до його стінок, тому, що тільки у цьому випадку шляхом обертання ковша зі сталлю відносно його вертикальної вісі здійснюють переміщення відносно сталі продувних пристроїв у горизонтальній площині.

Приклад 1

Холодну модель сталерозливного ковша, виконаного з прозорого оргскла із внутрішнім діаметром 550 мм, наповнювали водою при температурі 20°C на висоту 450мм. Поверх води поміщали шар підфарбованої соняшникової олії товщиною 7мм. Вода імітувала рідку сталь, масло - шлак.

У дні моделі на взаємно-перпендикулярних діаметрах розташовували 9-ть продувних пристроїв, один з яких розташовували в центрі моделі. Крім того, один продувний пристрій розташовували в одному з секторів, що утворений вказаними діаметрами (Фіг.11). Кожний з продувних пристроїв виконаний у вигляді порожнини з 13 отворами діаметру 1,5 мм і відстанню один від одного 15мм, до якого підводили повітря. Кожний продувний пристрій має персональний підвід повітря з можливістю повного відключення і регулювання інтенсивності подачі повітря. Реалізовували режими продування води повітрям при тиску менш 10КПа.

Модель ковшу встановлювати на стіл, забезпечений приводом обертання.

Здійснювали пузиркове продування води через один продувний пристрій, розташований у секторі. В воду, в її верхню частину, в середину об'єму і у дна вводили чорнило і заміряли час його розчинення. Чорнило вводили під стінкою ковшу, діаметрально протилежної продувному пристрою, через який у воду подавали повітря, на трьох рівнях: у поверхневі шари води (~¼ висоти від шлаку), в середину і у дна ванни.

При стаціонарному положенні ковшу у верхній частині води чорнило розчинювалось протягом: близько 25сек., у середній частині - приблизно протягом 25сек., у дна - приблизно протягом 40сек., при цьому на самому дні утворювалась застійна зона: розчинення чорнила через 40сек. не закінчувалось. Відмічалася наявність протипотоків води у стінки, де вводили чорнила, але соняшникова олія не змішувалась з водою.

При реверсивному обертанні ковшу на один оборот із середньою кутовою швидкістю біля 1,25сек.⁻¹ розчинення чорнила на всіх рівнях відбувалось протягом приблизно 10сек., тобто до кінця першого повороту продувного пристрою в початкове положення. При цьому застійна зона була цілком відсутня. По суті не спостерігається чітко виражених протипотоків води. Перемішування охоплювало весь об'єм води. Соняшникова олія не змішувалась з водою.

Таким чином переміщення відносно сталі (води) продувного пристрою у горизонтальній площині, здійснене шляхом реверсивного обертання ковша (моделі) відносно його подовжній вісі, суттєво інтенсифікувало процес перемішування, особливо

у придонних шарах ковшу.

Приклад 2

При умовах, наведених у прикладі 1, продування води повітрям здійснювали через два продувних пристрої, розташовані по радіусу дна ковшу (при відключеному центральному продувному пристрої). Чорнило вводили тільки у донну частину ванни поблизу протилежної від продувних пристроїв стінки ковша, розташованої на продовженні радіуса, тобто на цьому ж діаметрі.

При стаціонарному положенні ковшу розчинення чорнила відбувалось приблизно через 60сек. з утворенням на самому дні застійної зони, де чорнило зберігалось після зазначених 60сек. Відмічається чітка наявність протипотоків у стінки, де вводилось чорнило. Соняшникова олія не змішувалась з водою.

При реверсивному обертанні ковшу на один оборот із середньою кутовою швидкістю біля 1,25сек.⁻¹ має місце повне розчинення чорнила через 15сек., в тому числі й на самому дні моделі. Перемішуванням охоплений весь об'єм води. Соняшникова олія не змішувалась з водою.

Приклад 3

При умовах, вказаних у прикладі 1, продування води повітрям здійснювали через 5-ть продувних пристроїв, розташованих по діаметру дна ковшу. Чорнило вводили у воду на трьох рівнях: у поверхневі шари води (~¼ висоти від шлаку), в середину поблизу дна ванни. Каплі чорнила вводили біля діаметрально протилежної частини стінки ковшу (тобто на максимальному віддаленні від продувних пристроїв).

При стаціонарному положенні ковшу у верхній частині води чорнило розчинялося протягом приблизно 10сек., в середині - протягом приблизно 10сек. і поблизу дна моделі - протягом приблизно 20сек. з утворенням застійної зони безпосередньо на дні ковшу. Відмічається наявність протипотоків води біля стінки, де вводилось чорнило. Соняшникова олія не змішувалась з водою.

При реверсивному обертанні ковшу на половину обороту з кутовою швидкістю біля 0,8сек.⁻¹ чорнило у верхній частині води розчинялося протягом приблизно 10сек., в середині - протягом приблизно 10сек. у поблизу дна протягом приблизно 7сек., в тому числі на самому дні моделі. Перемішуванням охоплений весь об'єм води. Соняшникова олія не змішувалась з водою.

Таким чином переміщення відносно сталі (води) продувних пристроїв у горизонтальній площині, здійснене шляхом реверсивного обертання ковша (моделі) відносно його подовжній вісі в даному випадку суттєво інтенсифікує перемішування сталі і особливо у нижній частині об'єму ковша.

Приклад 4

При умовах, наведених у прикладі 1, здійснювали інтенсивне продування води повітрям через один продувний пристрій, розташований в секторі.

При стаціонарному положенні ковшу має місце помітне перемішування олії і води. При цьому над продувним пристроєм на поверхні ванни формується зона, вільна від олії. Основна частина олії зміщується до протилежної від продувного пристрою стінки ковша, де у вигляді крупних фракцій

захоплюється протипотоками води і притягується на глибину, приблизно рівну $2/3$ висоти ванни води, потім зміщується до висхідних потоків води над продувним пристроєм і підіймається вгору.

При реверсивному обертанні ковша відносно його подовжньої вісі на один оборот з кутовою швидкістю біля $1,25 \text{сек.}^{-1}$ руйнується зазначений масив олії, що концентрується у протилежній від продувного пристрою стінки ковша. Олія більш рівномірно захоплюється потоками води і у вигляді більш малих фракцій опускається практично на всю глибину води, підіймаючись потім до поверхні в місцях, де по мірі обертання ковша формуються висхідні потоки. Весь об'єм ванни охоплений перемішуванням.

Приклад 5

При умовах, зазначених у прикладі 4, інтенсивне продування води повітрям здійснювали через два продувних пристрої, розташовані на радіусі дна ковша (при відключеному центральному продувному пристрої).

Викладені у прикладі 4 явища перемішування води і олії при стаціонарному положенні ковша помітно посилюються. При реверсивному обертанні ковша відносно його подовжньої вісі на один оборот має місце суттєве збільшення перемішування води і олії по всьому об'єму ванни з помітним додатковим здрібненням фракцій олії, перемішених з водою.

Приклад 6

При умовах, зазначених у прикладі 4, інтенсивне продування води повітрям здійснювали через шість продувних пристроїв, що охоплюють сектор дна ковша з центральним кутом $\alpha=90^\circ$ (працював центральний продувний пристрій, по два продувних пристрої на взаємно перпендикулярних радіусах і продувний пристрій, розташований між цими радіусами) розташовані на радіусі дна ковша (при відключеному центральному продувному пристрої). Явища, описані у прикладах 4 і 5, додатково посилюються як при стаціонарно розташованому ковші, а особливо при його реверсивному по-

повороті на кут 270° . В останньому випадку має місце повне перемішування води і олії по всьому об'єму з помітними елементами диспергування часток олії. Однак при припиненні подачі повітря відмічається швидке розділення води і олії у ванні на дві складові: вода - внизу, олія - зверху.

Таким чином у способі перемішування сталі у сталерозливному ковші, що пропонується, завдяки переміщенню відносно сталі передбачених продувних пристроїв в горизонтальній площині реалізується охоплення перемішуванням всього об'єму металу. При застосуванні інтенсивного продування сталі інертним чи нейтральним газом (чи газопорошковою сумішшю) суттєво прискорюється вирішення задачі отримання необхідних характеристик сталі. Наступне неінтенсивне продування сталі інертним чи нейтральним газом (пузиркове "м'яке" продування) дозволяє охопити "м'яким" продуванням весь об'єм металу, тим самим забезпечує високоякісне очищення сталі від дрібних включень, що залишились в об'ємі сталі після інтенсивного продування.

Важливою особливістю способу перемішування сталі у ковші, що пропонується, є відносна простота його технічної реалізації: переміщення продувних пристроїв у горизонтальній площині відносно сталі для охоплення продуванням всього об'єму обертанням ковша із сталлю відносно його вертикальної вісі при періодичній зміні напрямку обертання на протилежний.

Відносна простота технічної реалізації способу перемішування сталі у ковші дозволяє розглядати можливість його застосування також в процесі розливу сталі у проміжний ківш. При цьому перемішування сталі дозволяє додатково здійснювати рафінування металу за рахунок поглинання на границях позирки-метал неметалевих фаз, а також проводити додаткову дегазацію металу від азоту і водню. Реалізація запропонованого способу перемішування сталі в цьому випадку передбачає застосування сталерозливних ковшів з центральним розливним стаканом.

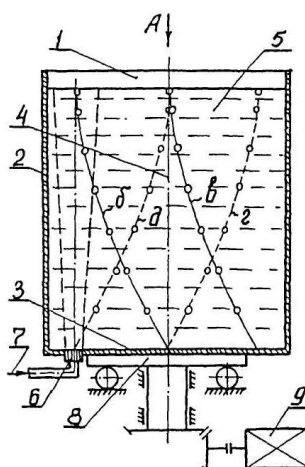


Fig. 1

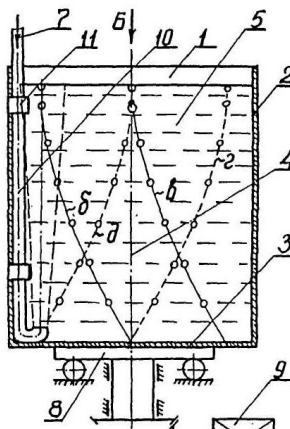


Fig. 2

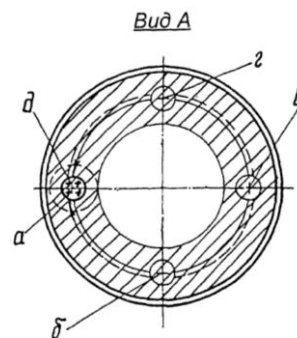


Fig. 3

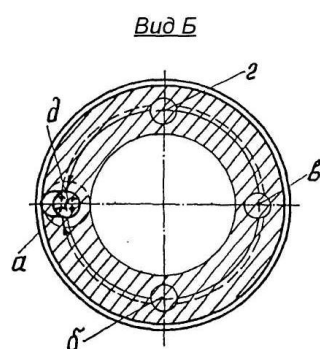


Fig. 4

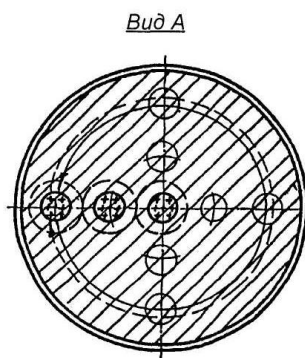


Fig. 5

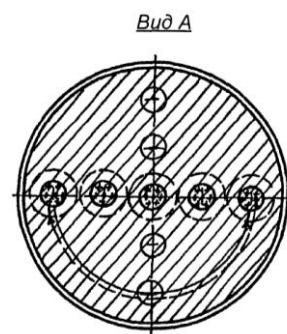


Fig. 6

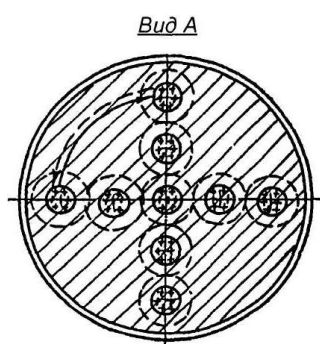


Fig. 7

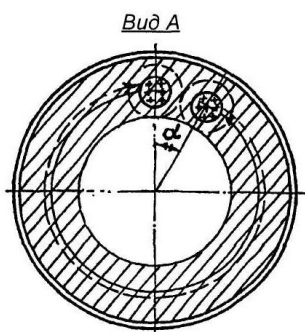


Fig. 8

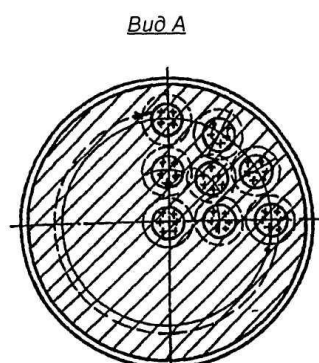


Fig. 9

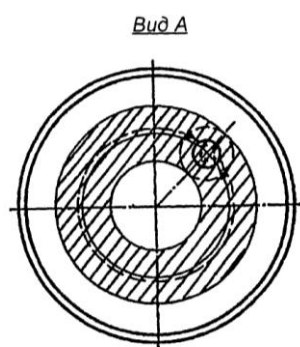


Fig. 10

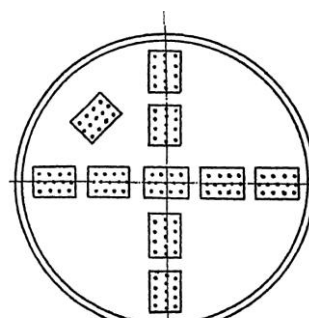


Fig. 11