

Міністерство освіти України
Дніпродзержинський державний технічний університет

На правах рукопису

РУБІН ЛЕОНІД ВІКТОРОВИЧ

**РОЗРОБКА ТЕОРЕТИЧНИХ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ОСНОВ КОМПЛЕКСНОЇ ДОВОДКИ СТАЛІ В КОВШІ
З ПУЛЬСАЦІЙНИМ ПЕРЕМІШУВАННЯМ**



Спеціальність 05. 16. 02. - Металургія чорних
металів

А в т о р е ф е р а т
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпродзержинськ - 1996 р.



00739551 (U)

Дисертація
Робота виконана
державному технічному університеті

Науковий керівник:
кандидат технічних наук, доцент

ШИШ
Юрій Іванович

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор

ЯКОВЛЕВ
Юрій Миколайович

кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник

СТОРОЖЕНКО
Анатолій Сергійович

Провідне підприємство - Криворізький металургійний комбінат,
"Криворіжсталь", м. Кривий Ріг

Захист відбудеться " 7 " 05 1996 р. на засіданні
спеціалізованої вченої ради Д 37.01.01 Дніпродзержинського
технічного університету за адресою: 322618, м. Дніпродзержинськ,
вул. Дніпробудівська, 2

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Дніпродзержинського державного технічного університету

Автореферат надіслано " 5 " 04 1996 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
доктор технічних наук, професор

ЧЕРНОВ М.М.

ЛННБ ім. В. Стефаника
АН України

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи.

Головна роль в підвищенні якості металопродукції, ресурсо- та енергозбереження при виробництві сталі в наш час віддається позалінійній обробці сталі, забезпечуючій досягнення заданого складу металу, виведення з нього шкідливих домішок та підготовку до розливки. Однак широко розповсюджені при виробництві сталі масового призначення для досягнення цієї мети засоби, основані на перемішуванні металу нейтральними газами, характеризуються відносно низьким заощадженням використовуємих рафінуючих матеріалів, особливо з високою пружністю пару, великими витратами на їх підготовку у вигляді дроту чи порошку, повторним окисленням та емульгуванням металу у шлак, низькою інтенсивністю перемішування металу в донній частині ковша.

Вказанні недоліки практично повністю знехтуються при пульсаційній обробці металу в сталерозливному ковші, включаючій періодичне витиснення металу у ківш із заглибного вогнетривкого патрубку за рахунок змінення тиску нейтрального газу над металом у патрубку при одночасному уведенні в нього різних матеріалів. Разом з тим широке розповсюдження цього засобу в теперішній час у сталеплавильному виробництві утримується відсутністю по ряду питань інформації, характеризуючої теоретичні та технологічні основи пульсаційної обробки металу у сталерозливному ковші.

Мета роботи.

Дослідження процесу пульсаційної обробки металу в сталерозливному ковші. Розробка теоретичних та технологічних її основ, визначення параметрів пульсаційної установки та технології.

Наукова новина:

- вивчено механізм гідродинамічних процесів, протікаючих у патрубку та ковші при пульсаційній обробці в ньому металу. Встановлено, що рух металу у патрубу супроводжується виникненням хвиль та сплесків, інтенсивно перемішуючих метал та уведений в нього матеріали в межах патрубка. Уперше визначені гідродинамічні умови витиснювання матеріалів та газу із патрубка в ківш. Встановлено, що при опусканні металу у патрубок виникають кільцеві вихори, які затягують та переносять до

дна ковша витиснені із патрубку матеріали та газ. Дана кількісна оцінка початкових параметрів кільцевого вихора в залежності від умов витиснення металу із патрубка, а також розроблена методика розрахунків динаміки параметрів вихора на різних ділянках його руху в ковші;

- визначено режим руху металу у патрубку, який обумовлює мінімальний розвиток процесу настилеутворювання. Встановлено максимальне число обробляемих плавок не визиваючих перегрівання металевого каркасу патрубка, розроблені рішення по його охолодженню;

- уперше розроблена математична модель витання кускових матеріалів в межах кільцевого вихора, на базі якої за допомогою відомих методик розв'язана задача плавлення цих матеріалів, на основі чого визначені режими їх уведення в патрубок при дискретній та безперервній подачі;

- розроблені технологічні параметри пульсаційної обробки в режимах перемішування, дегазації та уведення в метал матеріалів з низькою та високою пружністю пару, у тому числі кускового силікокальція;

- утворена математична модель роботи пульсаційної установки з урахуванням сил, витрачаємих на вихроутворення та нагрівання газу. На базі цієї моделі запропонована методика оцінки енергії та потужності пульсаційного перемішування металу в ковші, визначені параметри системи впуску та випуску газу для всіх передбачених технологічних режимів пульсаційної обробки, розроблені методики управління роботою установки при ступінчатому та повільному зміні об'єму внутрішньої її порожнини, забезпечуючий утримку заданих параметрів коливань металу у патрубку;

- розроблені основи технології комплексної доводки металу в сталерозливному ковші з використанням пульсаційного перемішування.

Практична цінність:

- запропоновані режимні параметри коливань металу у патрубку, раціональні значення фракції, порції та видатку задаваних в нього матеріалів, необхідних для виконання заданих технологічних операцій пульсаційної обробки, що дозволило розробити доповнення до ТЛЗ 5.5-14-288-88 на "Технологію пульсаційної обробки металу у 250-т сталерозливному ковші".

На засоби, забезпечуючі уведення матеріалів з низькою та високою пружністю пару у сталерозаливний ківш через патрубок пульсаційної установки одержано а.с. СССР N 1447874 та позитивне рішення по заявці N 4437607/31-02. від 30.03.88;

- розроблена конструкція патрубка з охолоджуємим порожнистим каркасом, яка дозволяє значно підвищити температуру нагрівання футеровки патрубка без перегрівання його металевого каркасу. Вона захищена а.о. N 1578207;

- складена принципіальна схема системи подачі робочого газу у пульсаційну установку. Підготовано та видано технічне завдання (доповнення до ТЛЗ 5.5-14-288-88) на проектування цієї системи стосовно до пульсаційної установки, яка розробляється для конвертерного цеха Дніпровського металургійного комбіната (ДМК);

- підготовано та видано доповнення до ТЛЗ 5.5-14-288-88 на "Алгоритм управління технологічними процесами установки пульсаційної обробки металу в 250-т сталерозаливному ковші", які будуть використані під час проектування та здійснення автоматизованої системи управління роботою даної установки.

На захист вносяться наступні положення та результати.

Механізм гідродинамічних процесів, протікаючих у патрубку та ковші при пульсаційній обробці в ньому металу, їх кількісне описання. Методика визначення параметрів присадок кускових матеріалів у патрубок пульсаційної установки. Параметри установки та технології пульсаційної обробки металу в режимах перемішування, дегазації та уведення кускових матеріалів у патрубок з низькою та високою пружністю пара. Експериментальні дані теплової роботи патрубка по динаміці настилеутворення на його внутрішній стінці та температурним полям в продольному її січенні. Вирішення по конструкції патрубка з охолоджуємим порожнистим каркасом. Математична модель роботи пульсаційної установки та результати чисельних розрахунків по ній в заданих технологічних режимах. Методики управління коливаннями металу у патрубку. Основи технології пульсаційної обробки сталі в 250-т ковші стосовно до умов конвертерного цеху ДМК.

Реалізація роботи в промисловості.

Відповідно з результатами досліджень, відображених в даній роботі, Укрїпрометом та другими організаціями у тому

числі і Тржинецьким металургійним комбінатом а.о. (Чехія) розроблено техноробочий проект установки пульсаційної обробки металу у 250-т сталерозливних ковшах для діючого конвертерного цеха ДМК та Укргіпрометом разом з ПО "Азовмаш" технічний проект для будуємого конвертерного цеха металургійного комбіната "Запоріжсталь".

Апробація роботи.

Основні результати та положення роботи докладались та обговорювались на п'ятьох всесоюзних, одній республіканській та двох міжнародних науково-технічних конференціях.

Особистий внесок автора.

Розроблена методика фізичного моделювання пульсаційної обробки металу в сталерозливному ковші, методика розрахунку параметрів гідродинамічних процесів у патрубку та ковші, математичні моделі руху кусків матеріалів в об'ємі кільцевого вихора та роботи пульсаційної установки. Одержані параметри роботи установки в режимах перемішування, дегазації, уведення в метал матеріалів з низкою та високою пружністю пара. Запропоновано алгоритм управління роботою установки в цих режимах.

Публікації.

Відносно теми дисертації у співавторстві опубліковано 17 робіт, список яких приводиться в кінці автореферату.

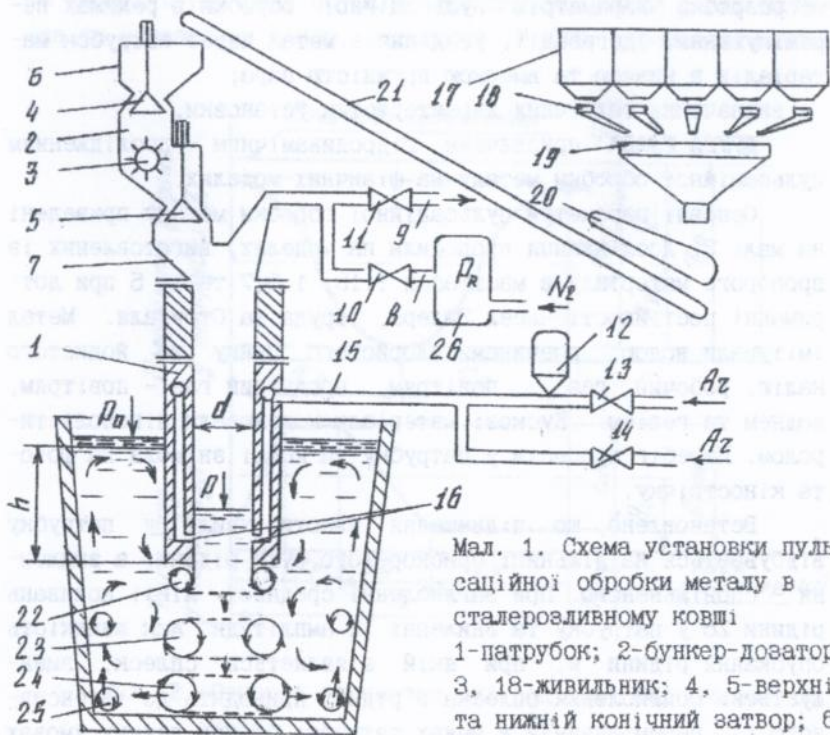
Структура та обсяг роботи.

Дисертація складається із вступу, п'яти глав, заключення, списку літератури із 180 назв. Робота викладена на 150 сторінках машинописного тексту, має 8 таблиць, 73 малюнка та додатків на 8 сторінках.

Зміст роботи.

В ПЕРШІЙ ГЛАВІ освітлені особливості та проблеми сучасних засобів позапичної обробки сталі. Приводиться аналіз основних цих засобів у відношенні перемішування металу та уведення в нього різних розкислюючих та легуючих матеріалів. Показано, що найбільш благотворно операції по доведенню металу в ковші можуть бути реалізовані при пульсаційній обробці, яка здійснюється в разі періодичного витиснювання металу та уведених в нього матеріалів із патрубка в ківш шляхом змінення тиску нейтрального газу над металом у патрубку. Ураховуючи позитивний досвід експлуатації процесу РМ, а та-

кож випробувань такого засобу без використання вакуума на ДМК та Донецькому металургійному заводі, правління ДМК прийняло рішення застосувати пульсаційний засіб обробки металу у в 250-т сталерозливних ковшах конвертерного цеху. Використовуючи результати лабораторних та спробно-промислових досліджень, а також зарубіжний досвід експлуатації пульсаційних установок ДДТУ разом з ЦНДІЧМ розробили технологічне завдання (ТЛЗ-5,5-14-288-86) на технологію комплексної доводки плавки в 250-т сталерозливному ковші з використанням установки пульсаційного перемішування металу (УПОМ-250), яке було затверджене МЧМ СРСР. Ця установка (мал. 1) повинна працювати в режимах перемішування металу, його дегазації аргоном, подаваним в нижню частину патрубку, введення в метал кускових матеріалів з низькою та високою пружністю пара та порошкових у потоку аргону.



Мал. 1. Схема установки пульсаційної обробки металу в сталерозливному ковші

1-патрубок; 2-бункер-дозатор; 3, 18-живильник; 4, 5-верхній та нижній конічний затвор; 6-приймальна воронка; 7-течія;

8, 9-впускна та випускна магістраль; 10, 11-впускний та ви-

пускний клапани; 12 - пневмокамерний насос; 13, 14-клапани системи подачі аргону у патрубок; 15-аргонопровод; 16-сопла для подачі аргону в метал; 17-витратні бункера; 19-віси; 20-дозатор; 21-передаточний конвеєр; 22, 23, 24 та 25-кільцевий вихор на етапах відносно формування, руху, досягання дна та стін ковша; 26-ресивер.

Однак тривалі на час створення ТЛЗ відомості про гідродинамічні та теплофізичні процеси в системі патрубків-ківш не дозволювали розробити технологію пульсаційної обробки металу в обсязі, необхідному для практичної її реалізації. Це примусило до проведення додаткових досліджень, задачами яких являються:

- вивчення гідродинамічних процесів в патрубку та ковші;
- дослідження теплової роботи патрубка та режимів присадки в нього матеріалів;
- розробка параметрів пульсаційної обробки в режимах перемішування, дегазації, уведення в метал через патрубок матеріалів з низкою та високою пружністю пара;
- визначення технічних характеристик установки.

ДРУГА ГЛАВА присвячена гідродинамічним дослідженням пульсаційної обробки металу на фізичних моделях.

Основні параметри пульсаційної обробки металу приведені на мал. 2. Дослідження проводили на моделях, виготовлених із прозорого матеріалу в масштабах 1:10, 1:6,7 та 1:5 при дотриманні постійності Чисел Зейлера, Фруда та Струхалія. Метал імітували водою, розчинами хлористого цинку та йодистого калію, робочий газ - повітрям, продувний газ - повітрям, воднем та гелієм. Кускові матеріали моделювали пінополістиролом. Перебіг процесів у патрубку та ковші знімали на фото-та кінострічку.

Встановлено, що підвищення висоти хвилі у патрубку відбувається на ділянці прискореного руху рідини, а зниження - сповільненого. При заглибленні середньої лінії коливальності рідини Z_c у патрубку та зниженні їх амплітуди Азк швидкість опускання рідини w , при якій з'являється сплеск, зменшується. Поглиблення сплеска в рідину приводить до інтенсивного її перемішування в межах патрубка та при деяких умовах - до аерації.

Найдені рівняння, описуючі :

- швидкість опускання рідини у патрубку, яка обумовлює викинення сплеска

$$\omega = 0,37 \sqrt{gd} (A_{zk}/h)^{0,3} (Z_c/h)^{-0,59} \quad (1)$$

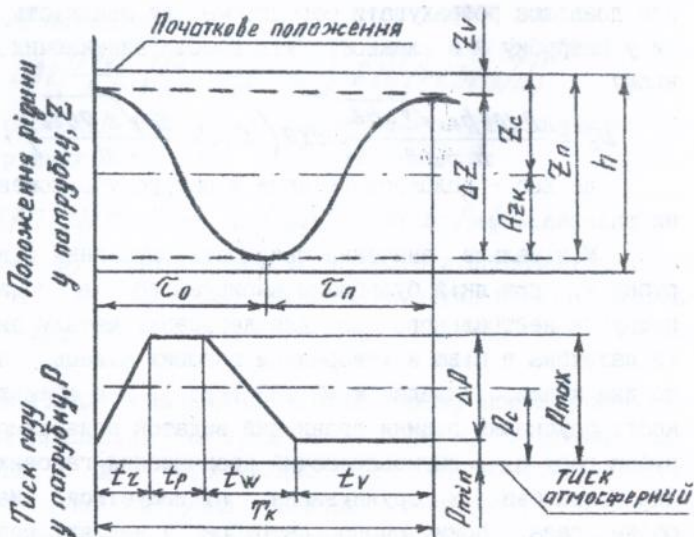
- висоту сплеска

$$h_{вс} = 0,21 \omega^2 - 0,54 d \quad (2)$$

- швидкість опускання рідини у патрубку, при якій виникає її аерація в ньому

$$\omega = 6,27 d - 0,27, \quad (3)$$

де d - внутрішній діаметр патрубку, м; g - прискорення сили тяжіння, m/s^2 ; h - глибина занурення патрубку, м. Витиснення рідини із патрубку супроводжується утворенням кільцевого вихора (див. мал. 1), який рухається до дна ковша, при доторканні з ним вихор розтікається по дну, досягає стінок ковша та вадовж їх рухається вгору. Далі він попадає в циркуляційну зону потоків, розташовану нижче рівня патрубку та зливається з нею, посилюючи її рух. Переміщення вихора



Мал. 2. Основні параметри пульсаційної обробки металу у ковші.

τ_o , τ_n - термін відносно опускання та піднімання металу у патрубку. Інші позначення в тексті.

до дна ковша проникає при незначному збільшенні зовнішнього діаметра та падінням швидкості поступаючого та обертового руху. Одержана кількісна оцінка ядра та параметрів вихора в процесі його руху в ковші. Завдяки зниженому тиску у вихорі на стадії формування в нього затягуються витиснені із патрубків газу та матеріали, питома вага яких менше ніж рідини та разом із вихором рухаються до дна ковша. При цьому вони потрапляють у центр вихора і розташовуються там у вигляді кільця. В зоні циркуляційних потоків, розміщених нижче патрубка, куди потрапляє вихор, матеріали в основному виходять із нього. В цій зоні матеріали витають достатньо тривалий час, після чого покидають її та піднімаються до поверхні рідини в ковші.

Встановлено, що швидкість потоків в зоні циркуляційного руху, розташованого нижче патрубка складає 15-25 % від швидкості витиснення рідини із патрубка. У периферійній зоні цієї частини ковша швидкість потоків дорівнює 5-10 %, а в зоні вище патрубка - 2-7 % від вказаної. Найдено рівняння, яке дозволяє розрахувати середньомасову швидкість руху рідини у патрубку v_c в залежності від висоти виникаючих сплесків в ньому

$$v_c = \frac{0,105 h_{zc} \sqrt{2gh_{zc}}}{h - 2z_c} \exp\left(-0,001 \frac{z \sqrt{2gh_{zc}}}{d}\right), \quad (4)$$

де z_c - положення рідини у патрубку в момент занурення сплеска, м.

Мінімальне значення швидкості опускання рідини у патрубок w , при якій бульбашки азируемого та подаваемого у патрубок нейтрального газу для дегазації металу витиснюються із патрубка в ківш з утворенням газових кілець, проникаючих до дна ковша, складає $w = 0,183 (\sqrt{gd})$. При збільшенні швидкості опускання рідини граничний видаток подаваемого у патрубок газу q , обумовлюючий проникнення газових кілець до дна ковша без їх зруйнування, підвищується. Максимальний об'єм газу, покидаючого патрубок у вигляді незруйнованих кілець, складає близько половини об'єма газу, поступаючого у патрубок. Кількісний взаємозв'язок між q та w визначається рівнянням:

$$q = \frac{\sqrt{\rho_{oc} g d^5}}{\sqrt{\rho_r}} \left(1,85 \frac{w}{\sqrt{gd}} + 1,13\right) \cdot 10^{-3} \frac{T_r}{T_n} \quad (5)$$

де T_g, T_m - температура газу, відповідно до попадання в метал і в металі, K ; $\rho_{ж}, \rho_p$ - питома вага рідкого металу та барботажного газу, $кг/м^3$.

Задаваємо у патрубках кускові матеріали перемішуються в ньому з металом лише при швидкості його опускання, визиваючій виникнення сплесків.

Найдені рівняння, дозволяючи розрахувати:

- швидкості опускання металу у патрубок, при якій кускові матеріали витиснюються із нього в ківш

$$\omega \sqrt{gd} = 0.71 (A_{2k}/h)^{0.067} \cdot (Z_c/h)^{-0.38} \cdot (1 + \rho_m/\rho_{ж})^{-1.4} (A_{2k}/h)^{0.113} \cdot (Z_c/h)^{-0.78} \cdot (1 + \rho_m/d)^{10.1} (A_{2k}/h)^{0.35} \cdot (Z_c/h)^{-0.714} \quad (6)$$

- кількість циклів пульсації, необхідних для повного витиснення порції матеріалів із патрубка

$$n_B = \left[0.95 (1 + \rho_m/\rho_{ж})^{-2.67} \cdot (1 + \rho_m/d)^{15.1} (\omega \sqrt{gd})^{-1.07} \right]^{1.2} \left(100 \frac{m_p}{m_n} \right)^{0.8} + 2 \quad (7)$$

- швидкість опускання, обумовлююча витиснення рідких матеріалів із патрубка

$$\omega = \sqrt{gd} \cdot 0.82 \left(\frac{A_{2k}}{h} \right)^{0.38} \left(\frac{Z_c}{h} \right)^{-0.83} \left(\left(1 + \frac{\rho_p}{\rho_{ж}} \right)^{-1.1} \left(1 + 1.0 \sqrt{1.3/d} \right) \right)^{0.5} \quad (8)$$

- число періодів пульсації, необхідних для повного витиснення рідких матеріалів із патрубка в ківш

$$n_{жс} = 9.85 \left(100 \frac{m_p}{m_n} \right)^{0.5} (\omega \sqrt{gd})^{-0.7} \cdot \exp(-1 - \rho_p/\rho_{жс}) \quad (9)$$

де ρ_m, ρ_p - питома вага матеріалів відповідно твердого та рідкого, $кг/м^3$; m_p, m_n - маса відповідно порції матеріала та металу, витиснюемого із патрубка за один період пульсації, $кг$.

ТРЕТЯ ГЛАВА присвячена математичному моделюванню теплофізичних процесів, протікаючих у патрубок та сталерозливному ковші, до яких відносяться настилеутворення на внутрішній стінці патрубка, розподіл температури в ній та плавлення матеріалів. Для описання цих процесів використали двомірне рівняння конвективного теплопереносу

$$c_p \frac{\partial T}{\partial t} = -c_p v (T \vec{V}_{жс}) + v (\lambda \nabla T) + \rho Q \frac{\partial \Psi}{\partial z} \quad (10)$$

де $T(r, z, t)$ - абсолютна температура, K ; $c(r, z, T)$ - питома теплоємність, $Дж/(кг K)$;

ρ (r, z) - питома вага, кг/м^3 ; $\vec{V}_{\text{жс}}$ - швидкість руху металу, м/с ; ψ - доля затвердівшого металу, кг ; Q - теплота фазового переходу в межах температури солідус-ліквідус Дж/кг .

На основі чисельних досліджень встановлено, що:

- наростання металевого настиля на внутрішній поверхні патрубку в нижній його частині продовжується до 0,3-0,7 хв, а у верхній - 2,3-3,0 хв, після чого починається його плавлення і приблизно до 4,5-5,2 хв від початку обробки настіль повністю розплавляється;

- при зменшенні періода T_k , амплітуди A_{zk} та заглиблення середньої лінії коливань металу Z_c у патрубку товщина металевого настиля на внутрішній поверхні патрубку знижується. При коливаннях металу у патрубку в межах нижче вихідного рівня з періодом не більше 2 с та початкової температури футеровки патрубку 500 С найбільша товщина укаваного настиля не перевищує 0,01 м;

- верхня границя температури каркасу патрубку 800 °С, обумовлююча зниження його тривалості, при початковій - 500 С досягається після обробки трьох плавок протягом 15 хв та 45 хв витримки на повітрі після кожної плавки. В умовах охолодження патрубку азотом чи повітрям, подаваних через впускний клапан в період витримки патрубку, кількість плавок, при якій каркас патрубку не нагрівається вище 800 °С, дорівнює шести, або вдвоє більше, ніж без продувки патрубку цими газами;

- для зниження температури каркасу патрубку пропонується виготовити його порожнистим з подачею в цю порожнину технологічного азоту, який іде на пульсацію, чи повітря;

Відносну швидкість руху кусків матеріалів V_m в патрубку, кільцевому вихорі та в ковші після виходу їх із вихора визначали із слідуючого рівняння руху куску матеріалу в рідині

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{(1-K_m)}{(\rho_m + K_m \rho_{\text{жс}})} \rho_{\text{жс}} \omega_z^2 z_c \vec{n} - \frac{\rho_m - \rho_{\text{жс}}}{\rho_m + K_m \rho_{\text{жс}}} g - C_f \frac{3}{2} \frac{\rho_{\text{жс}} V_m V_{\text{жс}}}{z_c (\rho_m + K_m \rho_{\text{жс}})} \vec{v} \quad (11)$$

де K_m - коефіцієнт приєднаної маси рідини; z_c - відстань куску матеріалу від центра обертання вихора, м; \vec{n} - радіус вектор; C_f - коефіцієнт опору руху куску; r_k - радіус куску, м

Адекватність розрахункових даних траєкторії руху кусків матеріалу в рідині, встановлена по даним фізичного моделю-

вання, досягається при K_m і C_p , рівних відносно 0,5 та 0,43.

При моделюванні плавлення матеріалів у патрубку урахували змінення температури металу T_m в залежності від теплотівода до матеріалів, перемішування сплесками та підводу свіжих порцій металу в зону його взаємодії з матеріалами із середньомасовою швидкістю, визначаємії рівнянням (4).

Встановили, що фракція матеріалів, при якій вони встигають розплавитись за час витання в патрубок та ковші до попадання в шлак складає 20-45 мм, причому при збільшенні порцій цих матеріалів їх фракція зменшується. Оптимальна величина фракції матеріалів становить 20-30 мм;

Обробка результатів досліджень дозволила знайти рівняння для розрахунків:

- граничних порції m_p та видатку матеріалів q_m , задаваних у патрубках, при яких не визивається заметалення внутрішньої його порожнини

$$m_p = 9,3 \cdot 10^{-3} m_n (1 + 2,09 \cdot 10^4 \rho_m / \lambda_m)^{0,25} \cdot \omega^{0,68} \sqrt{\frac{T_m - T_s}{100}} \quad (12)$$

$$q_m = 2,035 (2,09 \cdot 10^4 \rho_m / \lambda_m)^{0,18} \cdot \omega \cdot \Delta Z \sqrt{\frac{T_m - T_s}{100}} \quad (13)$$

- мінімального числа періодів пульсації n_n , необхідних для розплавлення порції силікокальція у патрубок.

$$n_n = 2,7 + \frac{0,7 \exp(0,05 m_p / \Delta Z) (1 + 1,67 \rho_m)^{15}}{(0,5 + 0,05 m_p / \Delta Z) \omega} \quad (14)$$

де λ_m - теплопровідність матеріалу, Вт/(м К).

В **ЧЕТВЕРТІЙ ГЛАВІ** розроблені параметри пульсаційної обробки металу в заданих технологічних режимах, приведена математична модель та результати чисельних досліджень роботи пульсаційної установки з урахуванням витрат енергії металу на вихроутворювання та нагрівання газу, на основі чого одержані параметри установки, необхідні для реалізації запланованих режимів обробки.

Найбільша інтенсивність пульсаційного перемішування відповідно даним фізичного моделювання забезпечується при максимальних значеннях довжини ділянки прискореного руху металу у патрубок Z_p та швидкості опускання в ньому металу w , які досягаються в умовах коливань металу у патрубок з максимальним діапазоном ΔZ . Граничні значення цих параметрів

з підвищенням глибини занурення патрубка h та діапазона коливань в ньому метала ΔZ зростають. Однак, як показали результати моделювання теплової роботи патрубка, діапазон коливань металу з метою мінімального розвитку процесу настилювання на внутрішній стінці патрубка необхідно підтримувати в межах глибини його заглиблення в метал. З урахуванням цього верхній рівень металу у патрубку Z_v слід розташувати на 0-0,2 м нижче початкового. Нижнє положення металу Z_n , при якому виключається прорив газу з патрубка в ківш, забезпечується, коли метал в патрубку не опускається нижче 80-90 % від глибини занурення патрубка, яка для 250-т ковша знаходиться у межах 1-2,1 м.

Період пульсації T_k в даних режимах обробки раціонально підтримувати в межах 1,5-3,5 с, час впуску газу $t_r = (0,125-0,25) T_k$, паузи $t_p = (0,125-0,25) T_k$, випуска $t_w = (0,375-0,75) T_k$ та витримки $t_v = (0-0,125) T_k$.

Мінімальну швидкість опускання металу в патрубку для всіх режимів обробки з метою покращення теплової роботи патрубка слід прийняти рівною або вище значення, обумовлюемого виникнення в патрубку сплесків, визначаємих рівнянням (1), які інтенсивно перемішують матеріали та метал в об'ємі патрубка. Верхня межа швидкості опускання металу у патрубку не повинна перевищувати величину, обумовлюєму утворення сплесків, висотою більше ніж довжина вільної порожнини патрубка. В результаті для створюємої установки швидкість опускання металу у патрубку внутрішнім діаметром 0,6 м дорівнює 0,75-3,1 м/с.

В зв'язку з даними роботи процесу РМ в розробляємій швидкість росту тиску газу в установці $\Delta P/t_r$ та його добуток на крок змінення тиску газу $\Delta P/t_r$, при яких повинно забезпечуватися вуглецеве розкислювання металу в кільцевих вихорах за рахунок утворюємого в них розрідження, слід прийняти не менше відповідно 250 кПа/с та $1,9 \cdot 10^4$ кПа²/с.

Видаток нейтрального газу, подаємого в патрубок в режимі дегазації, бажано вибирати в залежності від швидкості опускання металу у патрубку максимальним, обумовлюючим проникнення газу до дна ковша в формі незруйнованих газових кілець. Значення цього видатку газу відповідно з формулою (5) складає 50-110 м³/час.

Матеріали з низькою пружністю пара, до яких відносяться феромарганець, феросиліцій, силікомарганець, алюміній та др., при атмосферному тиску та температурі рідкого металу 1600 С не скіпають, тому вони можуть задаватися у патрубку при різних глибинах його занурення в метал в діапазоні $h=1-2,1$ м та швидкостях опускання металу в патрубку, обумовлюючих, витиснення цих матеріалів із патрубка в ківш. Нижня межа даної швидкості визначається для різних параметрів коливань металу в патрубку із рівняння (1). Верхня межа швидкості опускання металу обмежується тими ж умовами, що і в режимах його перемішування та дегазації, т.т., висотою сплесків, яка з метою виключення заметалювання конструкцій установки, розміщених над патрубком, не повинна перевищувати висоту його вільної порожнини.

При вказаних швидкостях опускання металу у патрубку кускові матеріали фракцією 20-30 мм можуть задаватися в патрубок як в дискретному, так і безперервному режимах. Граничне значення окремої маси порції матеріалів m та їх видаток q з метою уникнення заметалювання патрубка не повинні перевищувати їх значень, визначаємих формулами (12) та (13). В умовах дискретного вводу число пропускаємих циклів пульсації n не повинно бути нижче, розраховуємого по рівнянню (7).

Уведення в патрубок матеріалів мілкої фракції $l_m=1-6$ мм необхідно проводити при швидкостях опускання в ньому металу, визиваючих його аерацію. Нижня межа такої швидкості визначається рівнянням (3), а верхній, як вказувалось вище, висотою сплесків в патрубку, виключаючих заметалювання внутрішніх конструкцій установки, розміщених над патрубком. Дане технічне рішення по уведенню порошкових матеріалів захищене а.с. СССР N 1447874.

Матеріали з високою пружністю пара, до яких належать більшість лужноземельних металів (кальцій, барій, стронцій, магній) та їх сплави, при температурі обробляємого в ковші металу та атмосферному тиску після розплавлення скіпають, внаслідок чого значна їх частина неzasвоюється металом. Найбільш широко із указаних матеріалів використовується силікокальцій, тому основні параметри установки, розроблюємої для ДМК, були підібрані іменно для умов уведення цьо-

го матеріалу.

Щоб виключити скіпання розплавленого силікокальція мінімальний тиск робочого газу в установці повинен перевищувати пружність пара чистого кальція в 1,01-1,03 рази, що забезпечується при рівні метала у патрубку нижче початкового не менше 1,3 м. Верхня межа тиску визначається із умов змінення рівня метала в діапазоні, при якому забезпечується перемішування метала з силікокальцієм та витиснення його із патрубка в об'єм ковша. Це можливо при нижньому рівні метала $Z_n=1,7-1,9$ м, який відповідає заглибленню патрубка на максимальну глибину ($h=2,1$ м).

Якщо необхідно задавати силікокальцій в об'єм метала в ковші в твердому стані, то подачу даного матеріалу в патрубок потрібно проводити в безперервному режимі, передбачаючи перемішування кусків цього матеріалу в патрубку та витиснення їх на кожному циклі пульсації в ковші. Це забезпечується при швидкостях опускання метала у патрубку, визначасій із рівняння (6).

Для обробки метала рідким силікокальцієм його треба задавати в патрубок окремими порціями через визначене число періодів пульсації, необхідних для плавлення даного матеріалу в патрубку n та витиснення їх із нього в ківш n , які розраховуються із рівнянь відповідно (14) и (9). На даний засіб обробки метала силікокальцієм була подана заявка N 4437607/31-02 на винахід, по якій одержано позитивне рішення ВНДІГПЗ.

З використанням одержаних методик були знайдені граничні значення видатку та маси окремих порцій матеріалів для безперервного та дискретного режимів роботи УПОМ при передбачених глибинах занурення патрубка h та змінення рівня метала в ньому. Наприклад, при використанні феросиліція ФС-45 маса граничної його порції для $h=1-2,1$ м складає 30-100 кг, а видаток 7,2-11,8 кг/с.

Дослідження роботи пульсаційної установи в заданих технологічних режимах здійснювалось на основі чисельних розрахунків по розробленій математичній моделі. При цьому для описання коливань метала у системі патрубок-ківш використали рівняння Лагранжа, доповнив його витратами енергії рідини на вихроутворення F_v , обумовленим силою лобового опору. Тиск

газу в установці визначили з рівняння стану газу з урахуванням його нагрівання конвекцією. В результаті математична модель роботи пульсаційної установки прийняла слідуєчий вигляд:

$$\frac{\partial^2 Z}{\partial t^2} \left(Z \left(1 - \frac{S}{S_K} \right) + h \right) S \rho_{ж} \left(1 + \frac{S}{S_K} \right) + Z \left(\frac{\partial Z}{\partial t} \right)^2 S \rho_{ж} \left(1 - \left(\frac{S}{S_K} \right)^2 \right) + 2g S \rho_{ж} \left(1 + \frac{S}{S_K} \right) - (P - P_0) S - \left[\lambda_r \sigma \frac{Z + h \rho_{ж} d \left(\frac{\partial Z}{\partial t} \right)^2}{\theta} + \xi \frac{\pi}{8} \rho_{ж} d \left(\frac{\partial Z}{\partial t} \right)^2 + F_B \right] \operatorname{sign} \frac{\partial Z}{\partial t} \quad (15)$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \frac{R}{\mu} \left(m_r \frac{\partial T}{\partial t} + T_r \frac{\partial m}{\partial t} \right) - P \frac{\partial V}{\partial t} \quad (16)$$

$$F_B = K_B S Z \rho_{ж} \frac{\partial^2 Z}{\partial t^2} \quad (17)$$

$$K_B > 0 \quad \text{при} \quad \operatorname{sign} \frac{\partial^2 Z}{\partial t^2} < 0 \quad \text{и} \quad \operatorname{sign} \frac{\partial Z}{\partial t} < 0$$

$$K_B = 0 \quad \text{при} \quad \operatorname{sign} \frac{\partial^2 Z}{\partial t^2} > 0 \quad \text{и} \quad \operatorname{sign} \frac{\partial Z}{\partial t} > 0$$

$$\frac{\partial T_r}{\partial t} = \frac{\alpha_r}{c m_r} \left((T_m - T_r)(S + F_{фм}) + F_{фп}(T_{фп} - T_r) \right) - \Delta T_{rR} \quad (18)$$

$$\Delta T_{rR} = 0 \quad \text{при} \quad \frac{\partial m_r}{\partial t} \leq 0$$

$$\Delta T_{rR} = \frac{c m_r (T - 273) + C_R \Delta T_R (T_R - 273)}{c m_r + C_R \Delta T_R} \quad \text{при} \quad \frac{\partial m_r}{\partial t} > 0 \quad (19)$$

де S , S_K - площа поверхні металу у патрубку та ковші, м^2 ; λ_r , ξ - коефіцієнти тертя та опору металу на вході у патрубок та виходу з нього; T_r - температура газу в ресивері, K ; V - об'єм внутрішньої порожнини установки, м^3 ; K_B - коефіцієнт приєднаної маси рідини, витисняємій із патрубка; α_r - коефіцієнт тепловіддачі газу, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$; C , C_R - теплоємність газу в установці та ресивері, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$; $F_{фм}$, $F_{фп}$ - площа поверхні футеровки внутрішніх стін патрубка змочуємих та не змочуємих металом, м^2 ; ΔT_{rR} - змінення температури газу в установці за захонок поступання із ресивера в неї свіжих порцій газу масою m_r , K .

Адекватність математичної моделі перевірялась на основі зіставлення розрахункових даних з експериментальними, отриманими на холодній та гарячій фізичних моделях з використан-

ням рідкого чавуну. Встановлено, що вона досягається при коефіцієнті $K_v=5$.

На основі даної моделі отримано рівняння для визначення доли енергії газу, яка витрачається на вихроутворювання

$$E_B = S (P_{c1} \cdot Z_{p1} - Z_{p2} P_{c2}), \quad (20)$$

та формула, дозволяюча оцінити питому потужність пульсаційного перемішування металу

$$N = \tau E_B / (T_k^2 \cdot M_k), \quad (21)$$

де P_{c1} , P_{c2} - середньоінтегральні значення тиску газу в установці, знайдені при коефіцієнтах K_v , рівних відносно 5 та 0, Па; Z_{p1} и Z_{p2} - довжина дільниць прискореного руху металу у патрубку в розглядаємих умовах; τ - час обробки, с; M_k - маса металу в ковші, т.

Для обробки металу з періодом пульсації $T_k=2,3$ с та глибини занурення патрубка $h=2,1$ м питома потужність пульсаційного перемішування становить 12,1 Вт/т, що в 1,5-2 рази вище, ніж при подачі металу в ківш нейтрального газу ($q=30$ м³/ч) та порціонному вакуумуванні.

Математичним моделюванням роботи пульсаційної установки визначено, що задані технологічні режими пульсаційної обробки металу у 250-т сталерозливному ковші забезпечуються при тиску газу в ресивері 0,4-0,8 МПа, видатку газу на одну пульсацію 0,36-6,5 м³, періоді пульсації 0,7-3,5 с, тривалості впуску газу 0,125-0,375, паузи 0,125-0,25, випуску 0,25-0,75 та видержки 0-0,6 від періода пульсації, діаметрі умовного проходу впускного клапана 20-150 та випускного 40-150 мм та часу їх переключення до 0,15 с. Максимальна температура газу в установці при її роботі без подачі барботажного газу не перевищує 150°C. В разі його подачі у патрубок температура газу в установці може піднятися до 600°C.

На основі чисельних досліджень по вказаній моделі розроблено алгоритм управління установкою в заданих технологічних режимах. Він передбачає зменшення залежності на хід пульсації при значному та плавному змінненні об'єма внутрішньої порожнини установки, що має місце в умовах дискретного та безперервного режимів уведення матеріалів. Це здійснюється шляхом коректування ступені відкриття регулюю-

щих впускного та випускного клапанів на основі поточної інформації про положення металу у патрубку, враховуємого по фактичному змінненні тиску газу в установці з використанням розробленої математичної моделі.

Розроблені циклограми роботи установки в заданих технологічних режимах та узагальнені технічні характеристики установки пульсаційної обробки металу в 250-т сталерозливному ковші.

У П'ЯТІЙ ГЛАВІ відображені рекомендації по промисловій реалізації установки та технології пульсаційної обробки металу в сталерозливному ковші.

На основі узагальнення даних чисельних досліджень роботи пульсаційної установки в заданих технологічних режимах, а також результатів фізичного моделювання цього процесу розроблені принципіальна схема подачі робочого газу в установку. Управління її роботою відповідно з цією схемою пропонується здійснювати по розробленому алгоритму, включаючому досягнення заданого діапазону та швидкості руху металу у патрубку за рахунок корекції ступені відкриття регулюючих клапанів та періода пульсації при постійних відносних значеннях його характеристик.

По запропонованій схемі подачі азота в пульсаційну установку розроблено два доповнення до к ТЛЗ 5.5-14-288-86 відносно на систему подачі азота та алгоритм управління технологічними режимами роботи пульсаційної установки, зворюємій для конвертерного цеха ДМК.

Щоб запобігти перегріву металевго каркасу патрубка та намерзання на його внутрішній стінці металевих настилів каркаса патрубка бажано виготовити порожнистим з можливою подачею в нього в якості охолоджувача азота, який іде на пульсацію, або повітря вєздуха. Це дозволить охолоджувати каркас патрубка не тільки під час сробки, а й при нагріванні футеровки патрубка в печі. В результаті початкову температуру футеровки патрубка можна значно підвищити, що зменшить розвиток процесу настилеутворення та виключить перегрів металевго каркасу патрубка.

Оскільки продуктивність установки в режимі вводу в метал матеріалів достатньо висока, то з метою економії цих ма-

теріалів установку доцільно використовувати не лише для коректування складу металу, а ще й для попереднього його розкислення та науглерожування. В цьому зв'язку при розробці технології пульсаційної обробки металу прийнято рішення задавати в сталерозливний ківш при зливі металу із конвертера лише мінімальну частину матеріалів, які необхідні для попередження вскіпання металу в ковші. Після зливання металу із конвертера ківш на сталевозі подають під установку пульсаційної обробки, де проводиться комплексна доводка сталі, включаючи виконання слідуєчих операцій: усереднення металу по складу та температурі, його дегазація, попереднє розкислення та науглерожування, змірення температури металу та взяття його проби на аналіз, уведення в метал ТШС та матеріалів, рекомендованих ГОСТ, в тому числі і силікокальція, а також кінцева корективка складу металу після одержання результатів його аналіза та змірення температури металу.

Визначено термін указаних операцій та всієї доводки, яка при роботі з дегазацією металу та без неї не перевищує відносно 15 та 20 хв.

По результатах досліджень було розроблене доповнення до ТЛЗ 5,5-14-288-86 на технологію комплексної доводки плавки в сталерозливному ківші при пульсаційному перемішуванні металу. На основі цього та вказаних вище доповнень до ТЛЗ виконані техноробоча документація на вісоживильну систему, механічну її частину та клапанний блок установки та її розміщення в конвертерному цехі ДМК, а також технічний проект аналогічної установки для умов споруджуемого конвертерного цеху комбіната "Запоріжсталь".

Очікуемый гарантований економічний ефект від впровадження технології пульсаційної обробки металу тільки за рахунок зниження вигару розкислювачів на 5-40 % при виплавці низьколегованого та спокійного металу в кількості 500000 т за рік по коштам 1991 р. складає 264000 крб.

В И С Н О В К И

1. Гідродинамічними дослідженнями пульсаційної обробки металу на фізичних моделях встановлені закономірності виникнення хвиль та сплесків у патрубку пульсаційної установки, найдена кількісна оцінка середньомасової швидкості в ньому металу, вивчено процес формування та визначені параметри

кільцевого вихора, виникаючого нижче зрізу патрубку при витиснюванні з нього металу. Встановлені швидкості потоків металу в ковші в залежності від швидкості витиснювання металу із патрубка. Найдено рівняння, дозволяюче розрахувати середньомасову швидкість руху рідини у патрубку в залежності від висоти виникаючих в ньому сплесків.

2. Визначені умови уведення у патрубок нейтрального газу, забезпечуючі проникання його в кільцеві вихори, які переносять газ до дна ковша у формі незруйнованих кілець. Встановлені гідродинамічні умови уведення кускових матеріалів в патрубок пульсаційної установки. Одержані формули, дозволяючі розрахувати межі швидкості опускання металу у патрубку та мінімальне число пульсацій, при яких матеріали замішуються з металом у патрубку та витиснюються в об'єм ковша.

3. Математичним моделюванням теплофізичних процесів, протікаючих у патрубку встановлено, що мінімальний розвиток процесу настилеутворювання на внутрішніх стінах патрубка забезпечується при коливаннях металу у патрубку в діапазоні, який не перевищує глибину його занурення. Визначено кількість плавок, обробляемих на пульсаційній установці, при яких виключається нагрівання каркасу патрубка до температури, зумовлюючій пониження його міцновластивостей. Запропоновані пропозиції дозволяючі підвищити кількість оброблюємих плавок.

4. Розроблена конструкція порожнистого каркасу патрубка, охолоджуема технологічним азотом, який подається на пульсацію, або повітрям, дозволяюча зменшити настилеутворювання на внутрішніх стінах патрубка та проводити комплексну доводку без обмеження кількості оброблюємих плавок.

5. Чисельними дослідженнями витання та плавлення кускових матеріалів, задаваних в патрубок пульсаційної установки відзначено, що оптимальна їх фракція повинна складати 20-30 мм. На основі результатів цих досліджень розроблено режими присадок матеріалів у патрубок, створені методики розрахунку граничних порції та видатка задаваних у патрубок матеріалів в дискретному та безперервному режимах в залежності від теплофізичних властивостей матеріалів та швидкості опускання металу у патрубку, при яких виключається заметалення його внутрішньої порожнини.

6. На основі узагальнення результатів гідродинамічних та теплофізичних досліджень пульсаційної обробки металу в сталерозливному ковші розроблені граничні та раціональні значення параметрів, характеризуючих режими перемішування та дегазації металу, уведення в патрубок матеріалів з низькою та високою пружністю пару.

7. Розроблена математична модель роботи пульсаційної установки з урахуванням температури нагрівання газу в ній та сил, ідучих на вихроутворення. Досягнута адекватність математичної моделі реальному процесу змінення тиску та рівня металу у патрубку пульсаційної установки. Запропонована методика визначення доли енергії газу, яка витрачається на вихроутворення, та дана оцінка потужності пульсаційного перемішування, котра в середньому становить 12 Вт/т, що ві,5-2 рази вище, ніж в умовах продувки металу в ковші нейтральним газом та порціонному вакуумуванні.

8. Чисельні дослідження роботи УПОМ-250 в заданих технологічних режимах дозволили визначити термінові характеристики періоду пульсації, діаметри умовного проходу впускного та випускного клапанів та параметри робочого газу в установці, забезпечуючі реалізацію цих режимів.

9. Розроблено алгоритм управління установкою у передбачених технологічних режимах з використанням пропонуємої математичної моделі, дозволяючої визначити рівень металу у патрубку по фактичному тиску в ньому газу.

10. На основі узагальнення результатів фізичного та математичного моделювання роботи пульсаційної установки розроблена принципіальна схема подачі в неї робочого газу та управління цим процесом по запропонованому алгоритму та заданим значенням рівня металу у патрубку.

11. Отримані циклограми роботи установки в заданих технологічних режимах та технічні характеристики установки пульсаційної обробки металу в 250-т сталерозливному ковші. На основі узагальнення результатів досліджень розроблена технологія пульсаційної обробки металу в сталерозливних ковшах для умов конвертерного цеха ДМК.

12. Розроблені та видані доповнення до ТЛВ 5.5-14-288-86 на технологію пульсаційної обробки металу у 250-т сталерозливному ковші, систему подачі робочого газу в пульсаційну уста-

новку та алгоритм управління технологічними її процесами.

13. Відповідно результатам досліджень, відображених в даній роботі, Укргіпрометом з другими організаціями, в тому числі Тржинецьким металургійним комбінатом а.о. (Чехія) розроблено техноробочий проект установки пульсаційної обробки металу в 250-т сталеразливних ковшах для діючого конвертерного цеха ДМК та Укргіпрометом разом з ПО "Азовмаш" технічний проект для споруджуемого конвертерного цеха металургійного комбіната "Запоріжсталь".

Публікації

1. Шиш Ю.И., Рубин Л.В., Зражевский А.Д. Особенности гидродинамических процессов при пульсационной обработке металла в сталеразливочном ковше // Изв. АН СССР. Металлы. - 1992. - N 1. - С.13-19.

2. Рубин Л.В., Самохвалов С.Е., Шиш Ю.И. Математическая модель гидродинамики процессов при пульсационном перемешивании металла в ковше // Изв. вуз. Черная металлургия. - 1993. - N 1. - С. 12-15.

3. Гидродинамические условия ввода в сталеразливочный ковш реагентов при пульсационной обработке металла /Ю.И.Шиш, Л.В. Рубин, А.Д. Зражевский, Р.В. Велянский // Изв. вуз.Черная металлургия. - 1990. - N 7. - С. 19-21.

4. Особенности гидродинамических процессов в установке для пульсационной обработки металла в сталеразливочном ковше / Ю.И. Шиш, Л.В. Рубин, Л.Г. Волков и др. // Изв. вуз.Черная металлургия. - 1988. - N 4. - С. 13-16.

5. Численное моделирование теплофизических процессов в патрубке пульсационной установки при перемешивании металла в сталеразливочном ковше / В.Г. Щербинский, Ю.И. Шиш, Л.В. Рубин, Ю.А. Володин // Наука - производству: сб.статей. - Днепродаержинск. Производственно - практическое издание ДПИ, 1991. - С. 34-39.

6. Шиш Ю.И., Рубин Л.В., Ропай В.А. Математическое моделирование пульсационного перемешивания металла в ковше // Юбилейный научно-технический сб. тр. ДГТУ. - Днепродаержинск, 1995. - С. 25-32.

7. А.с. 1447874 СССР, МКИ С21 с7/10. Способ внепечной обработки жидкого металла в ковше / Ю.И. Шиш, Л.В. Рубин, К.

Г. Носов и др. (СССР). - N 4117082/23-02; Заявлено 10.09.86; Опубли. 30.12.88, Бюл. N 48. - С. 123.

8. А.с. 1578207 СССР, МКИ С21 с1/02. Устройство для рафинирования металла / Ю.И. Шиш, К.Г. Носов, Н.П.Подберезный, П.С. Нефедов, Ю.И. Гладиллин, В.А. Махницкий, В.А. Тарасенко, Г.М. Белополюский, Л.В. Рубин и др. (СССР). - N 4196548/31-02; Заявлено 17.02.87; Опубли. 15.07.90, Бюл. N 26. - С. 103.

9. Положительное решение по заявке N 4437607/31-02. Способ внепечной обработки жидкого металла в ковше /Ю.И.Шиш, Л.В. Рубин, В.Т. Лобачев и др. (СССР); Заявлено 30.03.88; решение о выдаче 10.09.89, МКИ С21.

10. Ропай В.А., Рубин Л.В., Шиш Ю.И. Математическая модель работы пульсатора для перемешивания расплава в ковше / В кн.: Тез. докл. Всесоюзного совещания "Моделирование физико-химических систем и технологических процессов в металлургии". - Новокузнецк, 1991. - С. 167, 168.

11. Исследование гидродинамических процессов, протекающих в устройстве для пульсационного рафинирования металла в сталеразливочном ковше / Ю.И. Шиш, Л.В. Рубин, Л.Г. Волков и др. // Теория и практика внепечной обработки стали: Тез. докл. Всесоюзной научн. - технич. конф. Москва. 1985. - С. 182, 183.

12. Рубин Л.В., Шиш Ю.И., Щербинский В.Г. Исследование образования всплесков в патрубке устройства для пульсационной обработки металла в сталеразливочном ковше // Тепло- и массообменные процессы в ваннах сталеплавильных агрегатов: Тез. докл. IV Всесоюзной научн.-технич. конф., Жданов, 9-11 сен. 1986 г. - Ротапринт ЖдМИ. - С. 47.

13. Шиш Ю.И., Рубин Л.В., Зражевский А.Д. Особенности аэрогидродинамических процессов при пульсационной обработке металла в сталеразливочном ковше // X Mezinarodni huticka konference "Plynule odlevani oceli". - Trinec (CSSR), rijen, 1989. - С. 145-154.

14. Гидродинамика пульсационной обработки металла в ковше / В.В. Белоусов, Ф.В. Недопекин, Ю.И. Шиш, Л.В. Рубин, А. Д. Гусев // Проблемы кристаллизации сплавов и компьютерное моделирование: Тез. докл. Всесоюзной научн.-технич. / НИИ мат. моделир. при Урдмурдском государственном университете. - Ижевск, 1990 - С. 52-53.

15. Математическая модель тепловой работы патрубка установки пульсационного перемешивания металла в сталеразливочном ковше /И.А. Павлюченков, С.Е. Самохвалов, Ю.И. Шиш, Л.В. Рубин, Г.И. Черномаз // Тепло- и массообменные процессы в ваннах сталеплавильных агрегатов: Тез. докл. V Всесоюзной науч. - технич. конф., Мариуполь, 3-7 сен. 1991. Ч.1.- Мариуполь 1991 г. - С. 92-94.

16. Шиш Ю.И., Рубин Л.В., Самохвалов С.Е. Численное исследование плавления материалов в ковше при пульсационном перемешивании металла // Теория и практика решения экологических проблем в горнодобывающей и металлургической промышленности: Тез. докл. Всеукраинской науч.-технич. конф., Днепропетровск, 1993. - С. 55.

17. Математическое моделирование плавления порции материалов в патрубке пульсационной установки / Шиш Ю.И., Рубин Л.В., Самохвалов С.Е., Павлюченков И.А. // Теория и практика /кислородно-конвертерных процессов: Тез. докл. VIII Международной науч.- техн. конф. Днепропетровск, 1994. - С. 43, 44.

АННОТАЦИЯ

Рубин Л.В. "Разработка теоретических и технологических основ комплексной доводки стали в ковше с пульсационным перемешиванием". Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02. "Металлургия черных металлов". Днепропетровский государственный технический университет Минобразования Украины, Днепропетровск, 1996 г.

Защищаются результаты теоретических и экспериментальных исследований процесса пульсационной обработки стали в ковше. Установлены закономерности и дана количественная оценка протекающих при этом гидродинамических и теплофизических процессов. Разработаны параметры пульсационной установки и технологии, предложены система подачи рабочего газа в установку и алгоритм ее управления. Выданы дополнения к технологическому заданию на установки комплексной доводки стали в 250-т ковшах действующего и строящегося конвертерных цехов металлургических комбинатов соответственно Днепропетровского и "Запорозжстали".

ANNOTATION

Rubin L.V. Development of the theoretical and technical basis of complex steel treatment in pulse mixture ladless. The dissertation for Candidatis Degree (Eng.) speciality 05.16.02. "Ferrous Metallurgy". Dneprodzerzhinsk State Technical University. Ministry of Education of Ukrain. Dneprodzerzhinsk, 1996.

Results of the theoretical and experimental research of of the process the pulse treatment of steel in the ladle are defended. The regularity of the process is established and the quantative estimation of the hydro-dynamic and theormal physical processes is presented. Parametes of pulse units and its tehnology is developed, the system of the supply of the operation gas to the unit is suggested, algorithms for its control are given. The papers to the technological task for the device of complex steel treatment in the ladle with the capacity of 250-t are given. The papers are given to the convertor shops which either operate or are under construction at the Dneprovskiy metallurgical works and "Zaporozhstal" respectively.

ABCTC

Підписано до друку 03.04.96. Формат 60x84 1/6.

Об'єм 1,01 ум. арк. Тираж 100 прим. Зам. N

Безкоштовно, різнограф ДДТУ.

322618, Дніпродзержинськ, вул. Дніпробудівська, 2

1111433

AB 34.575

AB 34.575

Faint, illegible text at the top of the page, possibly a header or introductory paragraph.

Second block of faint, illegible text, appearing to be the main body of the document.

Third block of faint, illegible text, possibly a concluding paragraph or signature area.

Fourth block of faint, illegible text at the bottom of the page.