

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Гірничо-металургійний факультет
Кафедра металургії та організації виробництва

«Допущено до захисту»
Гарант ОПП



Сергій СЕМІРЯГІН

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання
освітньо-професійної програми
«Металургія сталі»
за спеціальністю 136 Металургія

**на тему «Дослідження впливу параметрів розливання сталі на
МБЛЗ на якість заготовки та продуктивність процесу»**

Керівник роботи

Євген СИНЕГІН

Наставник від бази
практики

Олександр ЛЕБЬОДКІН

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають
посилання на відповідне джерело*

Здобувач

Сергій КУХНО

Підсумкова оцінка за атестацію			
--------------------------------	--	--	--

Голова ЕК

Євген БРАГІНЕЦЬ

Запоріжжя 2025

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет	<u>гірничо-металургійний</u>
Кафедра	<u>металургії та організації виробництва</u>
Ступінь вищої освіти	<u>магістр</u>
Спеціальність	<u>136 Металургія</u>
ОПП	<u>Металургія сталі</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП

_____Сергій СЕМІРЯГІН

25 грудня 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Кухно Сергію Анатолійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи «Дослідження впливу параметрів розливання сталі на МБЛЗ на якість заготовки та продуктивність процесу»
керівник роботи Синегін Євген Володимирович, доцент, канд. техн. наук.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом Університету №238/14.10.2024 від 14.10.2024 р
2. Термін подання роботи: 15 лютого 2025 р.
3. Вихідні дані до роботи Навчальна, методична література з спеціальних дисциплін та дипломування, науково-дослідницькі роботи з тематики сталеплавильного виробництва, науково-технічні літературні джерела, технологічні інструкції, дані ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ» м. Кам'янське.
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Анотація. Зміст. Вступ. Розділ 1. Аналітичні дослідження технології розливання сталі на МБЛЗ, дефекти безперервнолитої заготовки. Розділ 2. Основна частина. Статистичний аналіз паспортів розливання сталі на МБЛЗ. Визначення взаємозв'язків між параметрами розливання сталі на МБЛЗ та продуктивністю розливання та відбракуванням заготовки. Розробка пропозицій щодо покращення технології розливання сталі на МБЛЗ. Розділ 3. Охорона праці у відділенні МБЛЗ. Розділ 4. Розрахунки економічної доцільності запропонованих рішень. Висновки. Перелік використаних джерел. Додатки.
5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 7 слайдів основної частини, 1 слайд економічна частина.

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що їх стосуються

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
Розділ 1	Синегін Є.В., доцент
Розділ 2	Синегін Є.В., доцент
Розділ 3	Синегін Є.В., доцент
Розділ 4	Латишева О.В, доцент

7. Дата видачі завдання 25.12.2024 р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Розділ 1. Теоретичний розділ (Аналітично-пошуковий)	25.12.2024-03.01.2025
2	Розділ 2. Технологічний розділ	03.01.2025-23.01.2025
3	Розділ 3. Охорона праці	23.01.2025-26.01.2025
4	Розділ 4. Економічний розділ	26.01.2025-30.01.2025
5	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, автореферат	30.01.2025-03.02.2025
6	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	03.02.2025-05.02.2025
7	Остаточне оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	05.02.2025-15.02.2025
8	Рецензування завершеної роботи. Захист	15.02.2025-20.02.2025

Здобувач

Сергій КУХНО

Керівник роботи

Євген СИНЕГІН

АНОТАЦІЯ

Кухно Сергій Анатолійович. Дослідження впливу параметрів розливання сталі на МБЛЗ на якість заготовки та продуктивність процесу. - Кваліфікаційна праця на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 136 Металургія, ОПП «Металургія сталі» – ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Запоріжжя, 2024.

Об'єктом дослідження є технологія безперервного розливання сталі.

Предметом дослідження є закономірності формування якісних безперервнолитих заготовок залежно від технологічних параметрів розливання сталі на МБЛЗ.

У першому розділі проаналізована наукова література за темою кваліфікаційної роботи. Приведено аналіз рішень з удосконалення експлуатаційних характеристик проковша МБЛЗ для забезпечення фінішного рафінування сталі від домішок, зокрема неметалевих включень та водню. . Надана загальна характеристика.

У другому розділі проведено однофакторний дисперсійний аналіз паспортів розливання сталі на МБЛЗ. За результатами виконаного аналізу наведено рекомендації до вдосконалення технології.

У третьому розділі представлено аналіз основних небезпечних та шкідливих виробничих факторів під час виконання технологічних операцій, а також розглянуто заходи з охорони праці, пожежної безпеки та екологічного захисту для ділянки МБЛЗ конвертерного цеху.

У четвертому розділі розраховано плановий економічний ефект від впровадження запропонованих заходів при виробництві сталі марки 4СП.

БЕЗПЕРЕРВНЕ РОЗЛИВАННЯ СТАЛІ, МБЛЗ, РОМБІЧНІСТЬ ЗАГОТОВКИ, ШЛАКОВІ ВКЛЮЧЕННЯ, ЗОНА ВТОРИННОГО ОХОЛОДЖЕННЯ

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ	6
1.1 Актуальність експлуатації промковша МБЛЗ як агрегату доводки для рафінування сталі	6
1.2 Рафінування сталі від неметалевих включень в промковші МБЛЗ	9
1.3 Способи та результати продувки аргоном рідкої сталі.....	17
1.4 Вплив продування рідкої сталі інертним газом на її структуру і властивості.....	28
Висновки за розділом.....	32
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	33
2.1 Підготовка до розливання сталі на сортовій МБЛЗ ПРАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»	33
2.2 Аналіз відсортуння заготовок в умовах ПРАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»	44
2.2.1 Шлакові включення	45
2.2.2 Кривизна БЛЗ.....	47
2.2.3 Ромбічність заготовки	47
2.2.4 Пухирі	50
2.2.5 Осьова пористість	51
2.3 Обґрунтування методики оцінки впливу параметрів розливання на відсортуння заготовок	52
2.4 Висновки та рекомендації до впровадження	58
3 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	59
3.1 Охорона праці.....	59
3.1.1 Аналіз умов праці та пожежної безпеки	59
3.1.2 Заходи поліпшення умов праці	63
3.2 Захист навколишнього середовища	69
4 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНИХ РІШЕНЬ	72
ВИСНОВКИ	77
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	79

ВСТУП

У сучасному металургійному виробництві безперервне розливання сталі на машинах безперервного лиття заготовок (МБЛЗ) є ключовою технологією, яка дозволяє ефективно отримувати сталеву заготовку уникаючи використання блюмінгових та слябінгових прокатних станів та іншого допоміжного обладнання, яке використовується для отримання сталевих зливків.

Одним із визначальних факторів, що впливають на якість готових заготовок та продуктивність МБЛЗ, є параметри процесу розливання, включаючи температуру металу, швидкість розливання, інтенсивність та режим вторинного охолодження. Неправильний вибір цих параметрів може призводити до утворення дефектів, таких як внутрішні та поверхневі тріщини, шлакові включення, дефекти профілю та структури заготовки, й у найгіршому випадку – до виведення з ладу обладнання.

У зв'язку з цим актуальним є дослідження впливу параметрів розливання сталі на якість заготовки та продуктивність процесу. Комплексний аналіз дозволяє визначити раціональні умови для стабільної роботи МБЛЗ, що забезпечує не лише високу якість продукції, а й знижує виробничі витрати.

Метою даної роботи є встановлення закономірностей між ключовими параметрами процесу розливання та якістю заготовки, а також визначення впливу цих параметрів на продуктивність процесу. Результати дослідження можуть бути використані для вдосконалення технології МБЛЗ, що сприятиме підвищенню ефективності металургійного виробництва та конкурентоспроможності готової продукції.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Актуальність експлуатації промковша МБЛЗ як агрегату доводки для рафінування сталі

Чорна металургія є провідною базовою галуззю промисловості України. Тим не менш, за останній час структура попиту на металопродукцію та пов'язані з нею вимоги зазнали суттєвих змін. Майбутня конкурентоспроможність чорної металургії буде залежати від технологічної досконалості на всіх етапах виробництва. Галузь стикається з численними проблемами, які, якщо їх не вирішити, можуть призвести до значного зниження ефективності виробництва сталі. Головними з них є високі витрати, пов'язані з високою ресурсо- та енергоємністю, а також тривалістю кожного з циклів металургійного переділу. Одночасно існують проблеми з переорієнтацією виробництва на внутрішній ринок. Розвиток металургії стимулюється попитом з боку різних галузей, включаючи транспорт, комунальне господарство, енергетику та інші високотехнологічні сектори, такі як автомобілебудування та сільськогосподарське машинобудування. Державні програми України пов'язують зростання внутрішнього споживання металопродукції з реформуванням і технологічним розвитком цих секторів і галузей [1].

Розвиток металургії, таким чином, пов'язаний з виплавою легованих сталей, чиї високі механічні властивості роблять їх кращими для використання у відповідальних металевих виробках.

Тим не менш, важливо відзначити, що леговані сталі більш схильні до дефектів, ніж вуглецеві сталі. Найбільш поширеними дефектами, що спостерігаються в хромо- і марганцевих сталях, є флокени, тріщини, пухирі і раковини, які в першу чергу пояснюються наявністю високого

вмісту неметалевих включень та водню. З економічної точки зору, неметалеві включення та водень в сталі є найбільш шкідливими.

Як відомо, параметри, що характеризують поведінку неметалевих включень та водню в сталях, сильно залежать від природи, ступеня їхньої чистоти, кількості та виду легуючих елементів, наявності напружень, макро- і мікродефектів і низки інших чинників, частину з яких можна контролювати лише вельми наближено. Саме цим, вочевидь, пояснюється суперечливість відомостей, наявних у літературі, щодо взаємозв'язку загального вмісту водню, а також його легкорухомості та захопленої в "пастки" частки із зовнішніми параметрами та складом металу [2, 3].

Поагрегатні способи поліпшення якості металу, зокрема, зниження концентрації неметалевих включень та водню широко увійшли в практику виробництва сталі. Проте при цьому небажано збільшується пауза між випуском металу з агрегату і початком розливання, істотно знижується температура і потрібен надійний захист металу від контакту з повітрям під час розливання для збереження отриманого ефекту. Безперервне розливання створює хороші умови для поєднання розливання і способів рафінування металу.

Актуальною стає тенденція у використанні промковша як самостійної реакційної ємності, що дає змогу здійснювати завершальне доведення металу для розливання на МБЛЗ [12]. Розглянемо методи впливу на розплав у промковші, які застосовують у практиці безперервного розливання або пропонуються в останніх розробках.

Можливості видалення водню зі сталі на даному етапі досліджені для випадку потокової вакуумної обробки в промковші [5-9]. Тут екстракція водню відбувається, переважно, під час підйому бульбашок аргону в рідкій сталі. Схема екстракції може бути описана таким чином. На дні ковша парціальний тиск водню в бульбашках аргону дорівнює нулю. З рідкої сталі водень буде переноситися в бульбашки доти, доки,

відповідно до закону Сівертса, парціальний тиск у бульбашках аргону не стане рівноважним із вмістом газу в рідкій сталі. Оскільки на дні ковша загальний тиск високий завдяки феростатичному напору, лише невелика кількість водню може перейти в бульбашки. Під час підйому бульбашок феростатичний тиск навколо них знижується, і відбувається перенесення водню з розплаву в бульбашки.

Перенесення водню з рідкого металу і газовими бульбашками можна відповідно уявити за допомогою моделі змішаного контролю, що враховує дві елементарні ступені: перенесення рідкої фази і реакцію на поверхні розділу.

Очевидно, що при збільшенні всього обсягу аргону відбувається значне зниження концентрації водню. Чим вище концентрація водню перед вакуумним обробленням, тим вона вище після цієї обробки за постійного об'єму аргону. З цього можна зробити висновок, що перед обробкою і за великого обсягу аргону, що вдувається концентрація водню має бути якомога нижчою, щоб отримати якомога нижчу концентрацію водню після обробки.

З досліджень [10-13] потокового вакуумування сталі в промковші впливає важливий висновок, що за сталого часу продувки найнижчого вмісту водню можна досягти за високих інтенсивностей вдування аргону.

Потокове вакуумування в промковші є важко розв'язуваним завданням, вимагає громіздкого і складного устаткування і не знаходить розповсюдження в промисловості. Інформація про екстракцію водню з розплаву в промковші без потокового вакуумування сталі у світовій літературі відсутня і потребує подальших досліджень.

1.2 Рафінування сталі від неметалевих включень в промковші МБЛЗ

Подача аргону в проміжний ківш може формувати напрямок та інтенсивність потоків сталі, що дають змогу остаточно рафінувати сталь від шлакових включень безпосередньо перед її кристалізацією. Інформація про можливості видалення неметалевих включень з металу в промковшах доволі обширна [3, 14-28]. Завдяки геометрично оптимізованій гідродинаміці потоків ступінь видалення включень помітно покращується, особливо в нестационарних умовах, як, наприклад, під час зміни сталерозливного ковша (рис. 1.1).

Гідродинамічні причини полягають у дисипації турбулентної кінетичної енергії в ділянці заливки завдяки обмежувачам турбулізації, що призводить до збільшення частки "поршневого" об'ємного потоку й у такий спосіб покращує умови для видалення неметалевих включень.

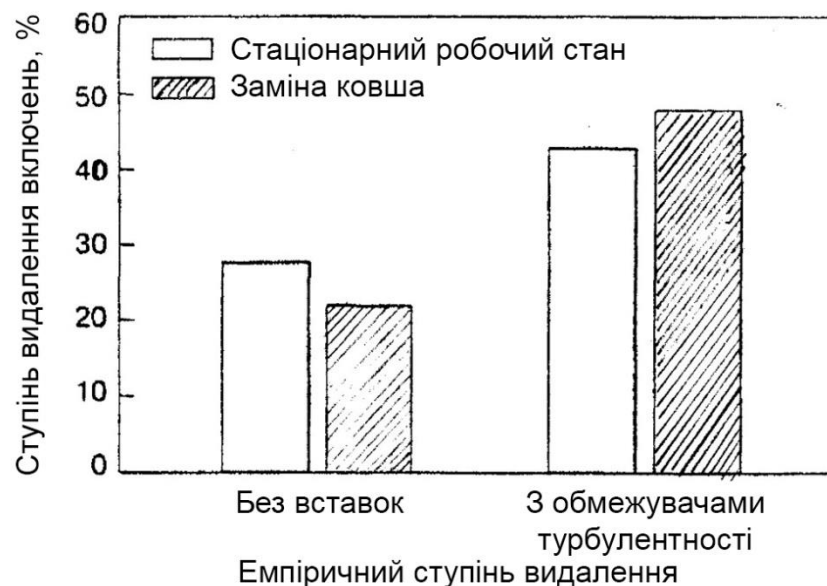


Рисунок 1.1 – Поліпшення ступеня чистоти (щодо видалення включень) у проміжному ковші при використанні обмежувача турбулентності

Найбільш раціональним методом рафінування сталі під час безперервного розливання вважається застосування проміжних ковшів, у яких метал із приймальної камери передається в бічні розливні камери через вертикальні перегородки з рафінуючими елементами. Ці елементи являють собою вогнетривкі стакани, що встановлюються горизонтально або під кутом до вертикальної осі (рис. 1.2). Основним засобом впливу на видалення неметалевих включень є вибір раціонального розподілу затоплених струменів і методів управління процесами вихроутворення в розливних камерах проміжного ковша.

Затоплені струмені рідкого металу поширюються в бічних камерах під дією феростатичного тиску, що створюється різницею рівнів металу в приймальній і розливальній камерах ковша H . Умови поширення цих струменів нічим не відрізняються від відомих закономірностей, добре висвітлених у роботах Г.Н. Абрамовича, О.С. Гіневського та низки інших дослідників.

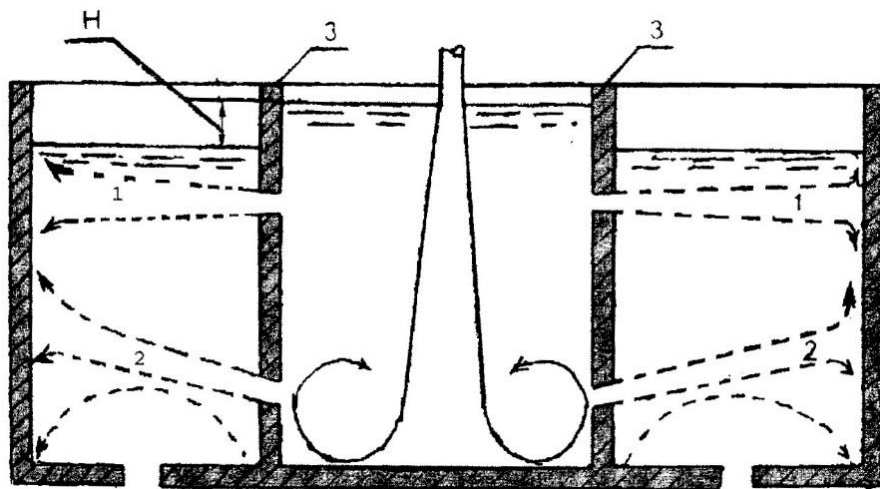


Рисунок 1.2 – Схема розподілу затоплених струменів у промковші:
1,2 – затоплені струмені; 3 – вертикальні перегородки з фільтрувальними елементами

З погляду застосування цих закономірностей до процесів рафінування сталі великий інтерес представляє аналіз турбулентних

струменів, які містять дрібнодисперсні тверді та рідкі нерозчинні частинки і бульбашки газу. Розглянемо розподіл тиску і сил, що діють на дисперсну частинку, яка перебуває в затопленому струмені, спрямованому під кутом до відкритої поверхні металу в проміжному ковші (рис. 1.2). Як і всі струмені, що поширюються в однорідному середовищі, струмінь рідкого металу, що виходить із фільтрувального елемента перегородки, має початкову та основну ділянки руху.

Протяжність початкової ділянки зазвичай дорівнює $L_o = 7d_o$, а швидкість по осі круглого перерізу на цій ділянці дорівнює початковій швидкості струменя на виході зі стакану $U = V_o$. Швидкість по осі основної ділянки цього ж струменя залежить від відстані розглянутої ділянки від вихідного перерізу x і дорівнює

$$U_{max} = V_o \frac{6,4d_o}{x}, \quad (1.1)$$

де V_o – швидкість струменя на виході зі стакану, що дорівнює $V_o = \phi \sqrt{2gH}$.

Значення наведених параметрів для осесиметричних струменів змінюються залежно від форми поперечного перерізу стакану фільтрувального елемента і розподілу швидкостей у ньому. Максимальні значення швидкості в міру розширення меж затоплених струменів за рахунок приєднаних мас поступово зменшуються. Із законів гідродинаміки відомо, що зміна швидкості за перерізом струменя спричиняє і зміну масових сил, що діють на всі його елементи. При цьому сума статичного та динамічного тисків завжди є сталою величиною

$$P = P_{ст} + P_{дин} = P_{ст} + \frac{\rho U^2}{2} = const. \quad (0.1)$$

Тому, якщо осьова швидкість у початковій і основній ділянках струменя більша, ніж навколишнього середовища, то по осі струменя створюються області зниженого тиску (розрідження), в які і затягуються неметалеві включення. Цим і пояснюється рафінуюча функція турбулентних затоплених струменів у бічних камерах проміжних ковшів. Що більший розмір склянок у перегородці і вихідна швидкість струменів з них, то більший їхній рафінуючий ефект. Важливим питанням під час організації раціонального розташування стаканів у вертикальній перегородці ковша є визначення кількості рідкого металу, що захоплюється затопленим струменем з навколишньої рідини. Вона залежить від вихрової в'язкості середовища і для осесиметричного струменя дорівнює

$$Q = 8\pi\varepsilon b, \quad (1.3)$$

де ε – вихрова в'язкість середовища, що дорівнює $\varepsilon = 0,013V_o d_o$;
 b – протяжність струменя в розливній камері.

Знаючи об'єм металу в цій камері та об'єм приєднаної маси затопленого струменя, можна визначити оптимальну кількість рафінуючих елементів у перегородці та раціональне їх розміщення.

Зазвичай рафінуючі елементи розміщують у 2-3 ряди по висоті перегородки, при цьому нижні стакани мають обов'язково розташовуватися під кутом у напрямку до відкритої поверхні металу в ковші.

У процесі витікання затопленого струменя на нього діють гідродинамічна сила швидкісного напору $P_{дин}$, спрямована під кутом, і вертикальна архімедова сила спливання $P_{ар}$ неметалевого включення. Рівнодіюча цих сил завжди спрямована до відкритої поверхні металу в ковші, де неметалеві включення адсорбуються покривним шлаком.

Як показала практика [3], для забезпечення наявних швидкостей витягування заготовок на МБЛЗ (2,2-2,8 т/хв.) сумарна площа перерізу всіх перетічних каналів не повинна бути меншою за 300 см^2 . Істотне зменшення сумарної площі їхніх перерізів призводить до зниження обсягів металу, що рафінуються. Ця обставина викликає перепад температур футерівки з боку металу, що надходить, і металу, що передається в розливну камеру, що призводить до розвитку температурних напружень і руйнування футерівки. З іншого боку, значне збільшення сумарного перерізу перетічних каналів також небажане, оскільки в цьому разі істотно знижується швидкість затоплених струменів.

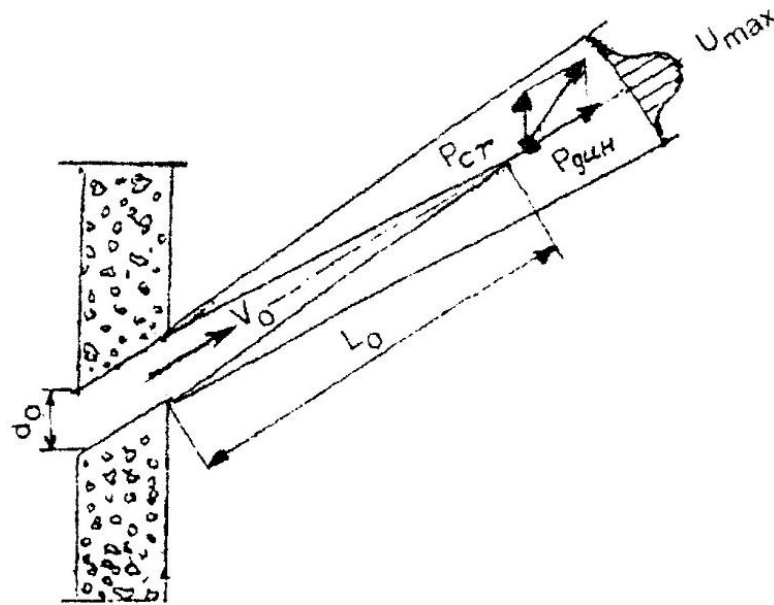


Рисунок 1.3 – Гідродинамічні параметри затоплених струменів у розливних камерах проміжного ковша

Керуючись цими даними і враховуючи необхідність забезпечення достатніх швидкостей затоплених струменів, слід мати велику кількість каналів, рівномірно розташованих у площині перегородки. Виходячи з технологічних і гідродинамічних міркувань, перший нижній ряд каналів повинен розташовуватися якомога ближче до днища ковша і

створювати похилі потоки, спрямовані вгору до відкритої поверхні.

Гідродинаміку металу в подібному промковші великої слябової МБЛЗ ємністю 40 т досліджували за допомогою гідравлічного моделювання з використанням прозорої моделі (моделювальна рідина – вода кімнатної температури).

Промківш мав три ряди каналів, розташованих у розділовій перегородці. Верхній ряд каналів круглого перерізу був розташований горизонтально. Нижні ряди каналів прямокутного перерізу – під кутом до вертикальної осі таким чином, щоб струмені, які виходять із верхнього ряду горизонтальних каналів, перетиналися струменями, які йдуть від нижніх рядів каналів.

Струмені, що виходять із трьох рядів каналів у розділовій перегородці, зливаються в загальний потік. Далі загальний потік проходить під поверхнею шлаку, повертається біля торцевої стінки і прямує в розливний стакан кристалізатора. Частина загального потоку утворює контур рециркуляції, забезпечуючи повторне проходження металу під шлаковим покривом. Оцінка середньої швидкості руху потоку за його головною траєкторією показала, що в потоці під шлаком швидкість практично стала, за винятком початкової області змішування поблизу перегородки і зони розвороту потоків біля задньої стінки проміжного ковша.

На рисунку 1.4 наведено схему циркуляції рідини в розливній камері, на якій заштриховано зону слабкої циркуляції. Застосування методу гідравлічного моделювання дає змогу оцінити характер потоків металу в промковші за різного розташування напрямних каналів у розділювальних перегородках і вибрати найбільш сприятливі умови для видалення неметалевих включень.

Результати гідравлічного моделювання зазвичай інтерпретуються на основі комбінування осередків ідеального змішування та ідеального витіснення [27-40].

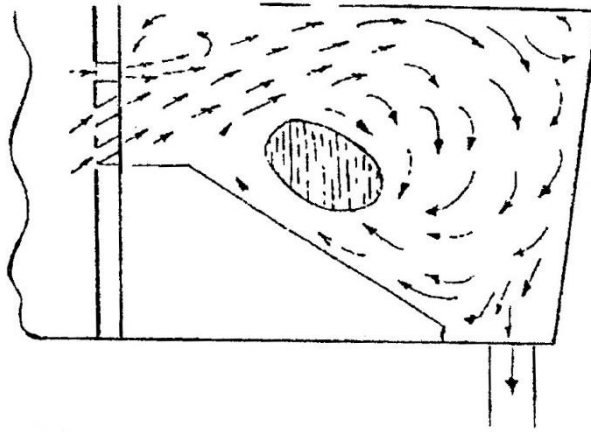


Рисунок 1.4 – Схема циркуляції потоків у розливній частині промковша

Залишковий вміст неметалевих включень у приймальній секції можна знайти, розглядаючи її як комірку ідеального змішування. Для стаціонарного стану на підставі розрахунку матеріального балансу приймальної секції отримано [27, 40] рівняння, що визначає залишковий вміст неметалевих включень на виході з неї:

$$\frac{\phi_{\text{вих}}}{\phi_{\text{вх}}} = \frac{1}{1 + \frac{W \cdot \rho \cdot S}{R}}, \quad (1.4)$$

де $\phi_{\text{вих}}$ – об'ємна частка неметалевих включень на виході;

$\phi_{\text{вх}}$ – об'ємна частка неметалевих включень на вході;

W – швидкість спливання неметалевих включень, м/с;

ρ – густина сталі, кг/м³;

S – площа поперечного перерізу поблизу розділу метал-шлак, м²;

R – масова швидкість розливання, кг/с.

Розливну секцію можна приблизно розглядати як апарат ідеального витікання внаслідок набагато меншого розвитку турбулентності, ніж у приймальній секції. На підставі аналізу матеріального балансу розливної секції для стаціонарних умов

отримано рівняння, що дає змогу простежити зміну вмісту неметалевих включень уздовж довжини секції та на виході з промковша:

$$\frac{\phi_{\text{вих}}}{\phi_{\text{вх}}} = e^{-\frac{W}{v_{\text{мет}}} \cdot \frac{x}{y}}, \quad (1.5)$$

де $V_{\text{мет}}$ – швидкість потоку металу (у перерахунку на натуру), м/с;
 x – швидкість потоку металу (у перерахунку на натуру), м/с; x - довжина зони ідеального витіснення, м; y – висота поперечного перерізу прямого потоку, м.

За ретельного аналізу результатів гідравлічного моделювання можна помітити, що витрата рідкого металу через ділянку прямої течії більша за масову швидкість розливання, тобто кратність рециркуляції досить велика. Тому реальний ступінь рафінування може бути вищим, ніж той, що розраховується на основі найпростішої моделі ідеального витіснення. Відносний залишковий вміст неметалевих включень для розливної секції промковша з урахуванням рециркуляції розраховується за рівнянням:

$$\frac{\phi_{\text{вих}}}{\phi_{\text{вх}}} = \frac{1}{\left(\frac{1}{E} - 1\right) \frac{\rho \cdot V_{\text{мет}} \cdot b \cdot y}{R} + 1}, \quad (1.6)$$

де b – середня ширина промковша в області прямого потоку;

$$E = e^{-\frac{W}{v_{\text{мет}}} \cdot \frac{x}{y}}.$$

При значному розвитку рециркуляції ступінь рафінування помітно збільшується. Наприклад, за $y = 0,64$ м, $x = 1,4$ м, $b = 0,8$ м, $v = 0,04$ м/с, $R = 50$ кг/с, $W = 0,001$ м/с залишковий вміст неметалевих включень становить 94,7% від вихідного вмісту.

Зниження забрудненості металу оксидними неметалевими

включеннями, оцінюване за зниженням загального вмісту кисню, лежить у межах $0,003/0,0053-0,036/0,0042=0,57-0,86$ від початкового (у сталюковші), що цілком узгоджується з розрахунком залишкового вмісту неметалевих включень (з урахуванням рафінування в приймальній секції, для якої $\phi_{\text{вих}}/\phi_{\text{вх}} = 0,88$).

Таким чином, раціональний розподіл затоплених струменів і методів управління процесами вихроутворення за допомогою фільтраційних перегородок у розливних камерах проміжного ковша є основним сучасним засобом впливу на видалення неметалевих включень [35].

Але до його недоліків слід віднести високі матеріальні та енергетичні витрати на виготовлення додаткових конструктивних елементів, їхню порівняну недовговічність і можливість забруднення сталі, що розливається, екзогенними неметалевими включеннями. Очевидно, що більш дешевою технологією, яка менше забруднює метал, є організація гідродинаміки металу нейтральним газом, що подається в певних точках робочого простору промковша.

1.3 Способи та результати продувки аргоном рідкої сталі

Розглянемо в динаміці розвиток технології обробки рідкої сталі аргоном, підкреслюючи головні результати попередніх досліджень і невирішені завдання [38-57].

Одним з варіантів обробки рідкого металу інертним газом, що використовується понад півстоліття, є продування в сталюковші через занурювану фурму, яку встановлюють на відстані $0,3 \div 0,5$ радіусу ковша від стінки і на 50 см від дна з подачею дуття під мінімальним тиском $0,2 \div 0,3$ МПа, необхідним для подолання тиску стовпа металу. Фурма являє собою порожнистий металевий стрижень, захищений вогнетривкими трубками: на нижньому кінці фурми є пробка з отвором.

Перші досліді відносяться до початку 60-х років, коли продування в 1-т ковші велося з інтенсивністю 38 м³/год. під тиском 7 атм., щоб сопло не заростало, за питомої витрати аргону 6 м³/т.

Приблизно в цей же час у вітчизняній практиці були випробувані фурми з 3 соплами діаметром 2 мм і 48 соплами діаметром 0,5 мм [12]. При цьому їх занурювали до дна ванни, і продування здійснювали протягом 0,5÷2,0 хв. з питомою витратою газу 1÷2 м³/т. Було показано, що фурма з 48 соплами забезпечувала більший ступінь дегазації сталі, ніж з трьома. У 70-х роках на НЛМЗ було випробувано фурми, що мають головки з пористими блоками і з блоками, що мають отвори. На 160-т ковшах інтенсивність подачі газу становила 0,66÷2,33 м³/хв. (середня – 1,12 м³/хв.) протягом 6÷11 хв. (у середньому 6,8). На 300-т ковшах, відповідно, 0,83÷2,00 (1,29) м³/хв і 6÷25 (10,4) хв. Такі фурми, незважаючи на ефективне використання газу, не набули поширення через низькі експлуатаційні якості.

Подібна спроба відома і з використанням пористого вуглецевого наконечника. Відомі патенти на зміну аеродинаміки газу, що спливає, за рахунок зміни форми сопла. Однак через складність дуттьових пристроїв, їхню недостатню стійкість, яка не компенсується відповідною ефективністю, вони не набули поширення.

Відома шведська фірма *Scandinavian Lancers* використовує і поширює технологію з установкою фурми вертикально з упором у дно ковша, у якій на відстані 70 см від нижнього кінця є один або три отвори. Подібна конструкція запатентована.

Є низка японських проєктів на використання фурми з двома горизонтальними отворами, яка під час продування нахилиється на кут 15°.

Поряд з ексцентричним продуванням, що набуло широкого поширення, деякі фірми віддають перевагу продуванню з розташуванням сопла по центру ковша.

Дослідження інтенсивності перемішування та ефективної тривалості продування T_{eff} , необхідної для досягнення в окремих точках ковша допустимого ступеня відхилення характеристики розплаву (концентрації, температури), на занурюваних фурмах показало, що під час занурення фурми T_{eff} знизиться до $\frac{1}{2}$ глибини ковша, а надалі менш помітно. Для 250-т ковшів збільшення витрати аргону понад $0,6 \text{ м}^3/\text{хв}$. мало знижує ефективну тривалість перемішування. Встановлено в деяких випадках, що існує оптимальна інтенсивність продувки, вище за яку інтенсифікується окислення металу шлаком, а нижче – відбувається закупорювання фурми.

Нині інтенсивність продувки зазвичай становить $50\div 60 \text{ м}^3/\text{год}$. для 160-ти і $75\div 85 \text{ м}^3/\text{год}$. для 300-т ковшів. Верхня межа витрати аргону визначається поведінкою металу і шлаку в ковші.

Крім фурм, що занурюються зверху, існують й інші способи подачі інертного газу в розплав.

За кордоном для рівномірного розподілу дуття пропонувалося футерувати дно ковша газопроникними вогнетривкими блоками, а металевий кожух сталерозливних ковшів обладнати подвійним дном.

У вітчизняній практиці досліджувався процес обробки сталі азотом і аргонном через пористі шви днищ сталерозливних ковшів.

Однак зазначені вище пристрої для введення газів у рідкий метал складні у виготовленні та недостатньо надійні в процесі продування, тому вони не набули поширення.

Досить широко у вітчизняній, а особливо зарубіжній практиці використовують продування сталі інертним газом через пористі вставки в днищі ковша, які встановлюють у кладку ковша, мають стійкість, приблизно таку ж, як і стійкість футерування, і дають змогу організувати вдування газу з витратою до $10 \text{ м}^3/\text{хв}$.

Існує думка, що продувка через пористі елементи в днищі ковша ефективніша, ніж через фурму [58-60], проте фурма простіша в

експлуатації та дає змогу організувати вдування в розплав порошкоподібних матеріалів.

У підсумку всіх описаних досліджень встановлено, що під час продування рідкої сталі інертним газом відбувається гомогенізація розплаву, прискорюються процеси розкислення, видалення неметалевих включень, а також десульфуратація і дефосфортація, останні – під час інжекції в метал порошкоподібних матеріалів або за рахунок протікання реакцій між металом і шлаком. Перемішування металу і його циркуляція під час продування інертним газом відіграють важливу, а часто визначальну роль для ефективного протікання зазначених процесів.

Якщо на першому етапі дослідження процесів перемішування використовували статистичні залежності між розмірними параметрами, то пізніше обробку даних про тривалість перемішування сталі вести в критеріальній формі [61-66]. При цьому часто використовують величину тривалості циклу перемішування і кількість циклів, необхідну для досягнення в окремих точках допустимого ступеня відхилення характеристики розплаву i (концентрації, температури) від середньої по ванні i_{cp} : $i = 10^2 \Delta i / i_{cp}$, %.

Тривалість циклу перемішування τ_0 визначається як відношення об'єму рідини $V_{ж}$ до її витрати $i_{ж}$ через барботажную зону:

$$\tau_0 = \frac{V_{ж}}{i_{ж}}. \quad (1.7)$$

Кількість циклів перемішування n_0 , необхідних для досягнення заданої нерівномірності i , що дорівнює відношенню тривалості перемішування (продувки) T_{mix} до тривалості одного циклу становить:

$$n_0 = \frac{\tau_{mix}}{\tau_0} = \ln \frac{100}{i}. \quad (1.8)$$

Тривалість перемішування – це час, необхідний для того, щоб у двох просторово розділених точках ємності різниця концентрації введеної в систему "мітки" знизилася до рівня 1% від її середньої концентрації в об'ємі, визначається співвідношенням:

$$\tau_{mix} = \tau_o \ln \frac{100}{i}. \quad (1.9)$$

Тривалість перемішування називають зазвичай часом, що відповідає досягненню різниці концентрацій у 5% [27, 28], тобто, згідно з (1.9), $\tau_{mix} \approx 3\tau_o$.

Визначення тривалості перемішування, яке проводиться різними методами як на натурі, так і на моделях, може слугувати способом дослідження гідродинамічних процесів у ванні.

Характер зміни в часі розподілу індикаторів у ковші під час перемішування продуванням інертним газом дає змогу судити про наявність у ковші об'ємів, які слабо перемішуються, та ділянок із короткозамкненою циркуляцією, а також виміряти швидкості циркуляції. Вони були виміряні за допомогою радіоактивних індикаторів. Невеликі кількості елементів, таких як Co, Sn, Cu, Mo і P, вводили в перемішуваний азотом метал. За їх розподілом стежили шляхом швидкого відбору проб металу. За отриманими залежностями концентрації від часу були розраховані швидкості циркуляції. Отримані експериментально тривалості перемішування вказують на те, що тільки частина потужності, що підводиться ззовні до системи, використовується для перемішування розплаву.

Теоретично показано, що тривалість перемішування обернено пропорційна потужності перемішування в ступені $\approx 1/3$, а також залежить від глибини ванни і відношення діаметрів зони барботажу і ємності.

Це дає змогу використовувати дані щодо тривалості перемішування, отримані здебільшого на водяних моделях, для оцінювання ефективності способів і деяких технологічних параметрів продувки з погляду їхнього впливу на процес перемішування рідкої сталі.

Існують різні методики для визначення тривалості перемішування на водяних моделях. Наприклад, тривалість перемішування визначали за допомогою частинок нульової плавучості. У процесі експериментів на моделях ковша з донною продувкою стежили за траєкторією частинок і вимірювали час, упродовж якого вони залишали зону барботажу і знову встигали повернутися туди. Встановлено, що за радіального зміщення фурми на відносну відстань $r/R = 0,5$ (R – радіус ковша), у ковші існують великий і малий контури циркуляції.

Тривалість перемішування також визначали за допомогою індикатора. Газ вдувається по центру моделі та поза ним знизу і зверху через занурену на 90% від висоти ванни трубку. Вода була злегка підкислена ($pH = 11,5$) і в неї швидко вдували 100 мл основного розчину (5% Na_2CO_3 ; $pH = 6,4$). Крім того, у ванні був присутній фенолфталеїн. Після вдування в тих місцях, де вода ставала досить основною, вона забарвлювалася в червоний колір. Завдяки перемішуванню основність розчину знижувалася й індикатор ставав безбарвним. Час повного знебарвлення рідини і відповідав тривалості перемішування. Встановлено, що в разі позацентрового положення сопла тривалість перемішування менша, ніж у разі положення сопла в центрі ковша. Різниця пояснюється більш чітко вираженим рухом потоку в разі позацентрового положення сопла для вдування газу. При вдуванні газу через дно забезпечується краще перемішування, ніж при вдуванні за допомогою трубки, завдяки більшій глибині вдування.

Тривалість перемішування визначали кондуктометричним методом. Для перемішування ванни її продували азотом через

занурювану зверху фурму. Як індикатор використовували 2% розчин KCl у воді. Цей розчин вводили на поверхню ванни поблизу стінки моделі, а зміну електропровідності рідини вимірювали біля дна посудини в діаметрально протилежних точках за допомогою кондуктометра. За характером розподілу введеного у ванну індикатора виявлено "мертвий об'єм" біля дна моделі. Отримано співвідношення тривалості перемішування ванни і швидкості дисипації енергії, близькі до отриманих в інших роботах. Знайдено існування оптимального значення питомої потужності перемішування, перевищення якого мало впливає на подальше зниження тривалості перемішування, але призводить до розплескування ванни. Зі збільшенням витрати газу, відносної глибини занурення фурми та її радіального зміщення від осі ковша до стінки тривалість перемішування зменшується, але різною мірою. Можна вважати встановленим, що найсильніший вплив на ефективність перемішування має розташування в металі продувних пристроїв.

Після розгляду послідовно виявлених дослідниками загальних закономірностей впливу продувки аргоном на рідку сталь проаналізуємо ці питання стосовно гідродинаміки ванни в проміжному ковші МБЛЗ. Накопичений досвід фізичного моделювання і практики [92-115] дає змогу узагальнити їх таким чином.

Подача газу, наприклад, у захисну трубу, якою газ рухається зі стальковша, змінює конфігурацію і розташування потоків металу як у промковші, так і в захисній трубі. Надходження газу в захисну трубу призводить до утворення спіралеподібно закрученої газометалевої суміші (рисунок 1.5). Густина такої суміші зменшується знизу вгору. За великого вмісту газу суміш у трубі розділяється на газову і газометалеву фазу, горизонтальний рівень поділу, яких залежить від кількості газу, що подається. Поведінка струменя металу в трубі над площиною розділу нестабільна – має місце як пристінкове, так і осьове його поширення.

Зазначено, що збільшення вмісту газу в металі, що проходить захисною трубою, знижує його масову витрату.

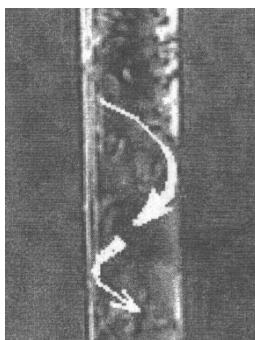


Рисунок 1.5 – Поведінка газометалевої суміші в захисній трубі

Очевидно, що подача газу в струмінь металу, що витікає зі стальковша, означає необхідність збільшення величини відкриття каналу шибєрного затвора, що повинно, завдяки зниженню ефекту дроселювання, продовжити термін служби розливного стакану та захисної труби.

Конфігурація, інтенсивність і розташування циркуляційних і застійних зон залежать від ступеня насиченості газом потоку рідини, що надходить по захисній трубі. Збільшення витрати газу зменшує імпульс падаючого струменя, що призводить до зміни гідродинаміки металу, насамперед, у районі захисної труби. Тут потоки металу, що містять газ, не розтікаються по днищу промковша, а перенаправляються до дзеркала металу, створюючи сприятливі умови для його рафінування. До недоліків такого способу введення газу слід віднести високу ймовірність зносу захисної труби, пов'язаного з підвищеним ерозійним впливом газометалевої суміші як на внутрішню порожнину труби, так і, більшою мірою, на її нижній торець.

Насамперед подачу газу дослідники організовували через днище моделі, безпосередньо під захисною трубою (рисунок 1.6). Це сприятливо позначається на гідродинаміці металу:

1) інтенсифікуються потоки металу, спрямовані до крайніх струмків (вирівнювання температури металу по струмках і зменшення застійних зон на периферії ковша;

2) свіжі порції металу рівномірно переспрямовуються до кордону розділу метал-шлак (поліпшення рафінування сталі);

3) гаситься енергія струменя металу, який падає зі стального ковша (збільшення стійкості днища ковша під струменем, що падає);

4) зменшується товщина шлаку навколо захисної труби (зниження ймовірності відколів її нижнього торця).

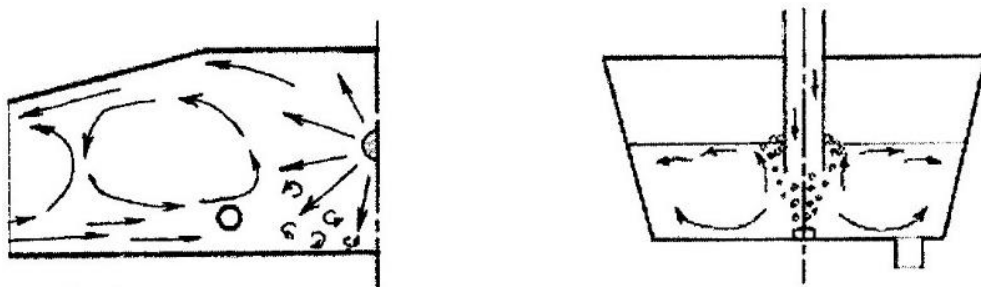


Рисунок 1.6 - Гідродинаміка металу при подачі газу по осі захисної труби

Водночас, зважаючи на порівняно швидке загасання швидкості потоків металу, конфігурація застійних зон у торцях агрегату змінюється незначною мірою – вони дещо зсуваються до периферії промковша. Загалом же характер поведінки металу в об'ємі промковша не змінюється.

Встановлення продувних елементів у торцях промковша не призвело до бажаного ефекту, що пояснюється порівняльною замкнутістю локалізованої застійної зони. Незначний вплив на гідродинаміку розплаву мало розташування продувних елементів на стінках ковша, між другим і третім струмками, а також між місцем подачі струменя металу зі стального ковша і центральними струмками. У цьому разі має місце роздроблення основних вихрових зон на більш дрібні та їх

деяке зміщення до торців промковша. До того ж, утворена газова завіса між другим струмком і місцем подачі металу зі стальковша є свого роду екраном на шляху переміщення шарів металу до другого і першого струмків.

З цієї причини, а також з огляду на збільшення турбулентності потоків металу, подачу газу в торцях агрегату, в районах між другим струмком і місцем падіння струменя слід визнати недоцільною.

Найкращий ефект було отримано під час подачі газу між першим і другим струмками (рисунок 1.7). З рисунків 1.7 и 1.8 видно, що застійна зона в торці агрегату значно зменшилася, горизонтальні циркуляційні зони зрушили до периферії промковша, більш інтенсивно відбувається надходження металу до його дзеркала за рахунок інтенсифікації вертикальних потоків. Встановлено, що різниця в часі проходження обсягів води до першого і третього струмків знизилася з 88 с на базовій моделі до 30 с на дослідній, що припускає зниження температурного градієнта між струмками промковша.

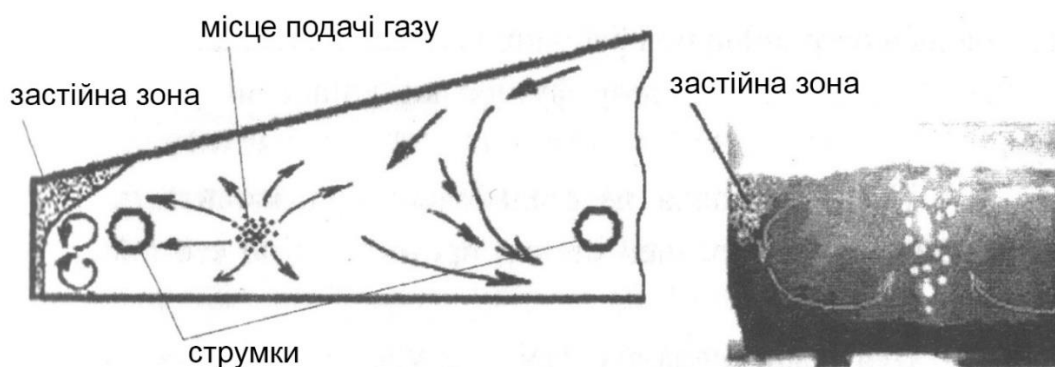


Рисунок 1.7 – Гідродинаміка металу при подачі газу на відстані 300 мм від 1-го струмка

Для ліквідації процесу інтенсивного виносу рідини потоком газу слід задаватися значенням критичної швидкості газової бульбашки в супутньому потоці. Для цього можна, наприклад, скористатися таким рівнянням:

$$u_{кр} = \sqrt[4]{\frac{4g\sigma(\rho_p - \rho_r)}{C_f^2 \rho_p^2}}, \quad (1.10)$$

де σ – міжфазний поверхневий натяг;
 $\rho_{ж}, \rho_{г}$ – густина рідини і газу відповідно;
 C_f – коефіцієнт опору руху бульбашки.

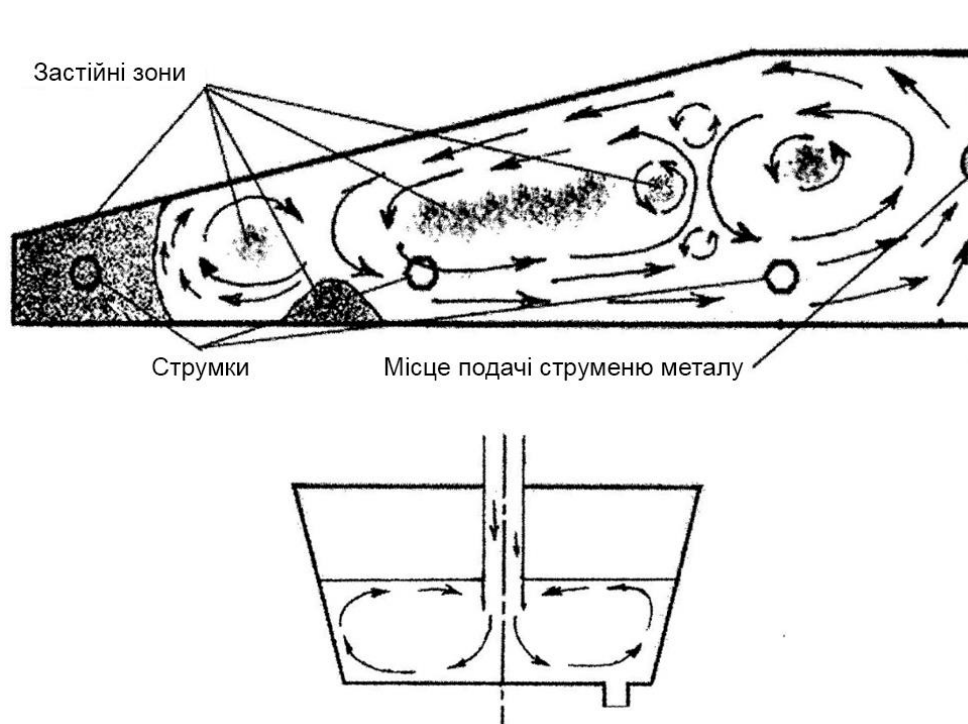


Рисунок 1.8 – Напрямок потоків металу в промковші штатної конструкції

Отже, для ліквідації недоліків, виявлених у процесі експлуатації штатного трапецеїдального промковша, рекомендується установка продувних елементів під місцем установки захисної труби і на відстані 300 мм від 1-го і 6-го струмків у напрямку до місця падіння струменя зі стальковша.

Загалом, можна зробити висновок, що гідродинаміка металу в промковшах є ексклюзивною і не можна поширювати результати

окремих фізичних експериментів на всі конструкції таких агрегатів, а лише на окремі близькі їхні типи.

1.4 Вплив продування рідкої сталі інертним газом на її структуру і властивості

На практиці продувні блоки встановлюють у промковшах, якщо вимоги щодо очищення сталі від неметалевих включень дуже високі [2]. Можливості рафінування сталі від водню, потрібного розміщення блоків з цією метою в літературі не висвітлено, що і стало одним із завдань цієї роботи.

Структура рідкої сталі впливає на її фізико-хімічні властивості (щільність, в'язкість, поверхневий натяг та інші), а також на механічні (зокрема, пластичні) властивості в твердому стані.

В окремих роботах з дослідження структури рідкої сталі припускають наявність у ній угруповань атомів розміром від десятків ангстрем до мікрон, які руйнуються за температур понад $1630\div 1680^{\circ}\text{C}$.

Дослідження структури рідкої сталі, узагальнені в монографії [27], показали, що в ній існують угруповання атомів (сіботаксиси, кластери, асоціації) з типом упаковки, характерним для твердого металу (ОЦК, ГЦК, ГПУ). Розміри впорядкованих областей становлять величину порядку 20 \AA , що значно менше, ніж зазначено вище. В області температур $1600\div 1650^{\circ}\text{C}$ структура рідкого заліза істотно змінюється, а при температурі вище 1750°C стає порівняно стабільною. Стабільності структури можна також досягти механічним впливом на рідку сталь, наприклад, інтенсивним перемішуванням.

Стабілізація структури сталі зменшує її хімічну і фізичну мікронеоднорідність, збільшуючи ізотропність властивостей, а отже, підвищує службові властивості твердої сталі.

Перемішування рідкої сталі руйнує угруповання атомів і тим самим

підвищує однорідність її мікрооб'ємів, що сприяє підвищенню механічних властивостей сталі.

Елементи структури рідини ізотропічні за властивостями, тоді як твердої речовини - анізотропічні. Стійкі в деякому інтервалі температур сполуки атомів є носіями спадкових властивостей сталі в твердому стані. Перегрівання сталі руйнує сполуки й усуває спадковість, а перемішування сталі сприяє цьому завдяки вирівнюванню температури за об'ємом сталі.

Зазначається, що продування сталі аргоном змінює її структуру, супроводжуючись при цьому руйнуванням нерівноважних комплексів частинок, що сильно взаємодіють. Оскільки структура ближнього порядку твердого тіла прямо пропорційна структурі рідкого, то змінюються і механічні властивості сталі.

Подальший аналіз результатів вивчення структури рідкої сталі в монографії [27] показує суперечливість окремих досліджень як щодо характеру впливу продування сталі аргоном на її в'язкість, так і щодо причин цього явища. Проте, відзначається підвищення ударної в'язкості та пластичних властивостей завдяки зниженню дефектності структури. Аналіз питання про будову рідкої сталі дає уявлення про існування міжкластерного кордону, який певною мірою подібний до структури міжзеренного кордону в твердій сталі та може бути представлений як двовимірний дефект, адже суттєві порушення структури в ділянці сполучення ґрат сусідніх кластерів локалізовано зазвичай у тонкому шарі порядку атомної товщини. Очевидно, вплив продування сталі аргоном на структуру рідкої сталі впливає і на структуру міжкластерних кордонів, а отже, на дефектність структури твердої сталі та її фізико-хімічні властивості.

Перемішування, зокрема, продування в ковші інертним газом, впливаючи на структуру рідкої сталі, змінює і її властивості в твердому стані [66-76].

У процесі широкого промислового впровадження позапічного рафінування продуванням аргоном у ковші виявлено можливість розливання обробленої аргоном легованої сталі за температур на $30\div 50^{\circ}\text{C}$ нижчих, ніж звичайної нерафінованої, без погіршення характеристик розливання. Поліпшення розливання продуванням аргоном вуглецевої сталі, порівняно з непродутою, дало змогу знизити температуру металу, що випускається з конвертера, на $15\div 25^{\circ}\text{C}$ і зменшити витрату рідкого чавуну в шихті кисневих конвертерів на 43,1 кг/т придатної сталі.

Розливання дегазованого металу зі зниженою температурою призводить не тільки до підвищення якості злитка, а й унеможливорює утворення скрапін на футеровці ковшів після розливання.

Результати проведених досліджень показали, що поліпшення розливання металу спричинене підвищенням рідкоплинності розплаву після продування інертним газом.

Встановлено, що значне зростання рідкоплинності сталі відбувається протягом перших 5 хв. продування аргоном, після чого рідкоплинність стабілізується. При цьому характер її зміни однаковий як при розкисненні кремнієм, так і при розкисненні алюмінієм. Зазначається, що після продування показники рідкоплинності більш стабільні, ніж до неї, і, практично, не залежать від виду і кількості введеного розкислювача. За змінних режиму продування (тривалість 3 хв., витрата аргону 0,156 л/хв.) і температури кінцевий рівень рідкоплинності, незалежно від початкової, мають, практично, одне й те саме значення. Ефект збільшення рідкоплинності під час продування сталі аргоном автори частково пов'язують з очищенням металу від неметалевих включень і газів і висловлюють припущення про те, що під час продування рідкого металу інертним газом відбувається руйнування угруповань атомів у розплаві. Досяжна при цьому однорідність його мікрооб'ємів призводить і до зміни рідкоплинності сталі.

Вивчалася також зміна рідкотекучості низьколегованого чавуну після продування його азотом. Рідкотекучість найпомітніше зростає в перші 2÷4 хвилини продування. Більш тривале продування не призводить до її зростання. Встановлено, що чавун, продутий азотом протягом 2÷4 хвилин, починає кристалізуватися за температури на 7÷17 К нижчої, ніж не продутий. При збереженні незмінної температури заливки чавуну це еквівалентно збільшенню на таку саму величину фактичного перегріву. Рафінування від домішок і підвищення однорідності розплаву призводить, внаслідок збільшення схильності до переохолодження, до зменшення температури початку його кристалізації. Автори роблять висновок про те, що основним фактором підвищення рідкотекучості чавуну після продування азотом є зміна його структури в рідкому стані.

Це дає змогу розглядати рідкорухомість як характеристику структури металу і використовувати її як спосіб контролю зміни останньої під час позапічної обробки сталі, зокрема, під час різних способів продування рідкого металу інертним газом.

Таким чином, наведені роботи дають однозначну відповідь на питання про вплив продування в ковші інертним газом на структуру і властивості сталі. При цьому залишається недослідженим вплив способів продування на ступінь зміни структури і, отже, властивостей металу.

Під час продування сталі інертним газом найбільш значному механічному впливу піддаються ті обсяги металу, які проходять через зону барботажу бульбашок.

Виходячи з цього, одним із завдань цієї роботи є визначення раціональних параметрів безперервного розливання сталі з метою підвищення якості безперервнолитої заготовки та продуктивності процесу її розливання.

Висновки за розділом

З розглянутої літератури видно актуальність служби промковша МБЛЗ як доводочного агрегату, що остаточно рафінує сталь від домішок, зокрема й від неметалевих включень та водню.

Основним сучасним засобом впливу на рафінування і структуру сталі є використання фільтраційних перегородок і порогів у розливних камерах промковша. Однак більш економічною технологією, яка менш забруднює метал, може стати організація гідродинаміки ванни нейтральним газом, що подається в певних точках робочого простору промковша за спеціальним режимом.

Виходячи з розглянутої літератури виглядає перспективним впровадження фільтраційних перегородок, порогів та продування сталі в промковші інертним газом на МБЛЗ вітчизняних підприємств, зокрема і ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ». Проте, не менш важливим є і вибір раціональних параметрів розливання сталі на МБЛЗ, таких як температурно-швидкісний режим розливання, хімічний склад сталі та ін.

3 ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1 Охорона праці

3.1.1 Аналіз умов праці та пожежної безпеки

У даному розділі дана загальна характеристика безпечних умов праці, техніки безпеки та пожежної профілактики на ділянці розливання сталі.

Всі виробничі процеси, які відбуваються на МБЛЗ, починаючи з розливки металу і до видачі заготовок мають бути механізовані та по можливості автоматизовані. Однак в конструкції МБЛЗ передбачається можливість ручного (аварійного) керування роботою всіх механізмів. Більшу частину технологічних операцій персонал виконує безпосередньо з розплавленим металом і шлаком. Невірне виконання процесів може привести до викидів металу, сплесків. Особливо небезпечним є дотик рідкого металу з вологими пористими матеріалами. Тому від працівників та інженерно – технічних працівників вимагається ретельно виконувати правила техніки безпеки, особливо при транспортуванні наповнених металом ковшів від сталеплавильного агрегату до МБЛЗ.

Застосовуючи термічну обробку металів слід пам'ятати про можливий вплив на працівників небезпечних і шкідливих для здоров'я виробничих факторів, у тому числі:

- незахищені рухливі елементи виробничого обладнання;
- заготовки, готові вироби або деталі;
- рухомі транспортні засоби;
- несприятливий мікроклімат робочої зони;
- підвищена температура поверхонь устаткування і матеріалів;
- небезпечний рівень напруги в електричному ланцюзі;

- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- знижена освітленість робочого місця;
- пожежонебезпечність і вибухонебезпечність;
- хімічні фактори загальнотоксичного, подразнюючого, канцерогенного впливу на організм працівника;
- важкість і напруженість праці.

Безпеку виконання виробничих процесів необхідно забезпечувати:

- вибором найбільш досконалої технології виробництва;
- раціональним розташуванням, режимом роботи та порядком обслуговування виробничого устаткування;
- якістю вихідних матеріалів;
- механізацією та автоматизацією важких і небезпечних робіт;
- запровадженням дистанційного керування механізмами у небезпечних зонах,
- професійним доборою та навчанням персоналу;
- дотриманням вимог безпеки, нормативно-технічної та технологічної документації.

В якості спеціальних вимог правил техніки безпеки безперервної розливки сталі можна виділити наступні основні моменти:

- кожух проковша має відповідати вимогам технічної документації виробника;
- перед прийомом рідкого металу футеровка проковша повинна бути прогріта до температури 1000-1100°C та не мати ушкоджень;
- проковші та аварійні ємності, наповнені рідкою сталлю, в аварійних ситуаціях не повинні підніматися краном до аварійні ємності, жолоба, внутрішня поверхня кристалізатора та інші деталі обладнання, що контактують з рідким металом, мають знаходитися в сухому стані;
- всі деталі, обладнання, які можуть контактувати з киснем, повинні бути чистими від масел;

- радіозотопне джерело системи контролю рівня металу в кристалізаторі (сортові МБЛЗ) дозволяється відкривати тільки перед розливкою, а закривати відразу після завершення розливки.

Вимоги охорони праці під час розливання металу та заливання форм

На дільницях плавки металу і заливання форм неприпустимі:

1. Вогкість підлог, приямків, потрапляння в них атмосферних опадів через дах, світлові і аераційні ліхтарі, підтікання трубопроводів води, шлангів, проливання води в питних точках, поява ґрунтових вод.

2. Транспортування розплавленого металу до місця заливання і повернення спорожнених ковшів і тиглів повинно проводитися за заздалегідь установленими напрямками.

3. Перед випуском металу і шлаку з печі футерівка жолоба повинна бути відремонтованою і добре просушеною.

4. Експлуатація вантажопідіймальних механізмів у розливному прольоті (дільниці) здійснюється відповідно до вимог НПАОП 0.00-1.01-07.

5. На заливальних дільницях кабіни мостових кранів і тельферів, що керуються з кабін, повинні бути закритого типу з облаштуванням вентиляції.

6. Ливарні ковші і тиглі незалежно від їх ємності повинні наповнюватися металом не більше ніж на 0,85 їх внутрішньої висоти.

7. Справний стан всіх частин сталерозливних ковшів повинен перевірятися майстром перед початком зміни, працівниками – щоразу перед наповненням ковша металом.

8. При переміщенні ковшів і тиглів з розплавленим металом на візках повинні бути вжиті відповідні заходи, що виключають їх перекидання.

9. Зливання шлаків і залишків металу з ковшів після закінчення заливання повинно проводитися в сухі шлаковні. Зливання на землю або в ями не дозволяється.

10. Дільниця розливання металу повинна бути облаштована шлаковнею на випадок аварійного витікання металу з ковша [77].

Все обладнання та інструменти для пожежогасіння повинні бути відповідного класу та знаходитися у доступних місцях, мати розпізнавальні знаки та регулярно перевірятися. На розливному майданчику не мають бути легкозаймисті матеріали, якщо в них немає потреби на даний момент. Не припустимий витік масел в зоні роботи з киснем, а також в зоні можливого прориву рідкого металу.

Для гасіння пожеж в цехах передбачені первинні засоби пожежогасіння, згідно ДСТУ 4297:2004 [Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників] [79]. Для гасіння пожежи в цехах застосовують вуглекислотні та порошкові вогнегасники (таблиця 3.1). Для гасіння речовин, що горять у кисневому середовищі, вогнегасячі речовини слід подавати з підвищеною інтенсивністю.

Для розміщення засобів пожежогасіння у цеху передбачається установка пожежного щита з набором інструментів. Пожежні щити встановлюються на території з розрахунку: один щит на 500 м². Ручні вогнегасники повинні розміщуватися методами: навішування на вертикальні конструкції на висоті не більше 1,5 м від рівня підлоги до нижнього краю вогнегасника і на відстані від дверей, достатній для їх відкриття; встановлення в пожежні шафи разом з пожежними кранами, у спеціальні тумби або пожежні щити та стенди.

Таблиця 3.1 – Типи вогнегасників та перелік об'єктів для яких вони призначені

Тип вогнегасника	Позначення	Найменування об'єктів для яких вони призначені	Придатність до гасіння пожеж класів
Вуглекислотний	ВВК-1,4; ВВК-2	Громадські будинки та приміщення з наявністю ПЕОМ, приміщення обчислювальних центрів, споруди промислових підприємств	В, (Е)
	ВВК-3,5; ВВК-5		
Порошковий	ВП-5, ВП-6, ВП-9, ВП-12	Виробничі, сільськогосподарські, складські та лабораторні будинки і приміщення, адміністративні та побутові будинки і приміщення та споруди промислових підприємств, громадські будинки та споруди, гаражі та автомайстерні	А, В, С, (Е)

3.1.2 Заходи поліпшення умов праці

Створення сприятливих умов праці має бути одним із головних завдань суспільства, невід'ємною частиною державної соціальної і економічної політики, важливою складовою управління персоналом.

На організм людини великий вплив робить мікроклімат приміщення. У цеху повинні бути сприятливі метеорологічні умови праці відповідно до ДСН 3.3.6.042-99, значення температури, відносної вологості і швидкості руху повітря встановлюються для робочої зони виробничих приміщень залежно від категорії тяжкості виконуваної роботи, величини надлишків явного, що виділяється в приміщенні, тепла і періоду року. Мікроклімат у виробничих приміщеннях повинен

відповідати вимогам Санітарних норм мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99, затверджених постановою Головного державного санітарного лікаря України від 01 грудня 1999 року № 42 (ДСН 3.3.6.042-99) [80].

Повітря у робочій зоні виробничих приміщень у цехах металургійних підприємств повинно відповідати вимогам Санітарних норм мікроклімату виробничих приміщень, затверджених постановою головного державного санітарного лікаря України від 01.12.99 N 42 (ДСН 3.3.6.042-99) [79].

Зі збільшенням об'ємів сталеплавильних печей, гарячого агломерату, нагрітих металевих конструкцій, потужних джерел тепловиділень, збільшується і надходження тепла в приміщення цехів. Для приміщень з надлишком тепловиділення характерна висока температура повітря, що перевищує гранично допустимі рівні за ДСН 3.3.6.042-99, і низька відносна вологість повітря у теплий період року (таблиця 3.2).

У теплу пору року температура повітря на багатьох робочих місцях значно перевищує гранично допустимі показники по санітарним нормам. В ранкові часи на більшості робочих місць киснево-конверторного цеху температура знаходиться в межах від $24,24 \pm 1,35^{\circ}\text{C}$ до $29,21 \pm 9,53^{\circ}\text{C}$, при зовнішній $24,00 \pm 2,57^{\circ}\text{C}$, тобто перевищує нормативні значення за ДСН 3.3.6.042-99 [33] на $2-14^{\circ}\text{C}$. В обідню пору (13-14 годин), у зв'язку з підвищенням температури зовнішнього повітря на $6-8^{\circ}\text{C}$ температура повітря в приміщеннях цехів також значно підвищується і на усіх робочих місцях зазвичай вище гранично допустимої. В шихтовому відділенні конверторного цеху мікрокліматичні умови цілком залежать від зовнішніх, а температура зазвичай перевищує зовнішню на $2,0-6,0^{\circ}\text{C}$. В сталеплавильних цехах температура досягає своїх максимальних значень при змішуванні рідкого чавуну та розлитті сталі у виливниці до $31,93 \pm 5,56^{\circ}\text{C}$.

Таблиця 3.2 – Мікрокліматичні умови киснево-конвертерного цеху

Робоче місце	Температура повітря, °С		Відносна вологість повітря, %		Швидкість руху повітря, м/с	Інфрачервоне випромінювання, Вт/м ²
Шихтове відділення конверторного цеху	27,4±30	3,5±0,25	55,5±5,4	45.00±9.3	0.6±0,1	5200±100
Конвертор (власне плавка сталі)	30,25±5.2	6.04±4,24	36,0±4,26	53.44±9.4	1.75±0.29	2673.15± 157,36
Міксерне відділення (змішування рідкого)	33,43±2,22	8.55±0,85	54.06±2,66	53.44±9.4	1.75±0,29	2673,15± 157,36
Розливальний майданчик	31,93±5,56	9.93±3,02	45.12±13,86	58.49±2.6	0.41 ±0.05	2951.00±326.25

Відносна вологість повітря на робочих місцях залежить від віддаленості робочого місця та часу доби. При вологості зовнішнього повітря $45,30 \pm 11,53\%$, відносна вологість на робочих місцях металургійних цехів складає у теплу пору року від $33,63 \pm 5,64\%$ до $55,5 \pm 5,4\%$.

В холодну пору року мікрокліматичні умови в приміщеннях металургійних цехів значною мірою залежать від зовнішньої температури і, незважаючи на наявність інтенсивних джерел випромінювання, в приміщеннях з великими розкритими отворами та відсутністю опалення температура становить від $3,25$ до $17,90^\circ\text{C}$, що значно нижче допустимої за ДСН 3.3.6.042-99 [33] і тільки у прокатних цехах вона зазвичай знаходиться в межах допустимої і навіть перевищує її ($15,64$ - $30,36^\circ\text{C}$).

Відносна вологість повітря в приміщеннях цехів в холодну пору року знаходиться в межах від $39,6 \pm 2,4$ до $77,42 \pm 11,31$ %, при швидкості руху повітря $2,45 \pm 1,55$ м/с [77].

Інтенсивність інфрачервоного випромінювання на основних робочих місцях в залежності від відстані, виду операцій та джерела випромінювання змінюється від 400 до 8000 Вт/м². Найбільше теплове випромінювання реєструється біля конверторів при плавці сталі 5200 ± 100 Вт/м², що призводить до перегріву оточуючих металевих конструкцій, підлоги, стін до 50-100°C. Значно нижча інтенсивність випромінювання у шихтових відділеннях, там вона не перевищує $400,00 \pm 22,00$ Вт/м². Згідно з «Гігієнічною класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища. важкості та напруженості трудового процесу» [80] інтенсивність інфрачервоного випромінювання відносяться до 4 класу 3 ступеня шкідливості (небезпечного).

Шкідливі речовини (пил, пари металоорганічних з'єднань, шкідливі речовини) проникають в організм людини через дихальні шляхи, через шкіру і надають подразнюючу дію на слизову оболонку очей, дихальні шляхи, шкіру.

Запиленість повітряного середовища в металургійних цехах зустрічається на різних етапах технологічного процесу незалежно від його періоду і, як правило, перевищує граничнодопустимі концентрації за ГН 3.3.5-8.6.6.1-2002 [77] (таблиця 3.3).

В організмі людини пил викликає подразнення дихальних шляхів, призводить до появи специфічних захворювань. Концентрація пилу та інших шкідливих речовин у повітрі робочої зони не повинна перевищувати значень, встановлених ГН 3.3.5-8.6.6.1-2002.

Таблиця 3.3 – Запиленість і загазованість повітряного середовища сталеплавильних цехів

Робоче місце	Пил, мг/м ³	Окис вуглецю (II),	Сірчистий газ,
Шихтове відділення	10,52±0,52	4,88±1,29	12,7±0,63
Конвертор (власне)	7,99± 1,03	5,72±1,11	2,7±0,17
Міксерне відділення (змішування рідкого)	15,19±4,29	7,12±1,34	2,7±0,11
Розливальний майданчик	23,97±12,2	1,33±0,09	3,49±0,62

В усіх виробничих приміщеннях, де можливе виділення пожежонебезпечних або токсичних речовин ід час виробничого процесу, припливно-витяжна вентиляція повинна працювати постійно та забезпечувати зниження вмісту шкідливих речовин у цих приміщеннях згідно з вимогами. "Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони" ДСН 3.3.6.042-99 [77].

На різних етапах виплавки сталі робота технологічного обладнання призводить до виникнення шуму, що має місце на робочих місцях працівників основних цехів. В сталеплавильних цехах в результаті інтенсивного випуску газів, повітря з відповідних пристроїв, руху різних механізмів утворюється шум інтенсивністю 96-99 дБА.

Нормативне значення шуму за ДСН 3.3.6.037-99 [77] на робочих місцях конвертерного цеху складає 80 дБА.

Величезне значення має освітленість приміщення. При недостатній освітленості і поганій якості освітлення стан зорових функцій людини знаходиться на низькому вихідному рівні, підвищується стомлення зору в процесі виконання роботи, зростає ризик виробничого травматизму [77].

Природне та штучне освітлення металургійних підприємств необхідно виконувати відповідно до вимог ДБН В.2.5-28-2006 "Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне

освітлення". Робота у цехах відноситься до VII категорії зорового навантаження згідно ДБН В.2.5-28-2006 [81]. Нормативна величина освітленості робочих місць для категорії VII - 200 лк. Фактична освітленість зазвичай не відповідає нормативній через специфіку технологічних процесів у цехах.

Приклад розрахунку загального штучного освітлення цеху. Цех має такі параметри: довжина цеху, $A - 24$ м; ширина цеху, $B - 15$ м; висота цеху, $H - 7$ м, коефіцієнти відображення стелі та стін прийняти рівними 30% и 10% відповідно.

Розв'язок. Для освітлення даного приміщення, виходячи з висоти та технологічних особливостей, обираємо світильники ДРЛ. Світильники планують розмістити по прямокутній схемі багаторядно.

Визначимо висоту підвісу світильників, $H_{p.m}$, м:

$$H_{p.m} = H - 1 = 7 - 1 = 6$$

Висота підвісу світильників $H_{p.m}$ із врахування с висоти приміщення 6м.

Визначимо відстань між світильниками L із $L/H_{p.m} = 0,9$.

$$L = 0,9 \cdot H_{p.m} = 0,9 \cdot 6 = 5,4 \text{ м.}$$

Знаходимо відповідну кількість світильників n :

- кількість рядів світильників складає;

$$n_A = A / L = 24 / 5,4 = 4,4 \text{ шт.};$$

- кількість світильників в ряді складає :

$$n_B = B / L = 15 / 5,4 = 2,8 \text{ шт.};$$

- загальна кількість світильників в приміщенні:

$$n = n_A \cdot n_B = 4,4 \cdot 2,8 = 12 \text{ шт.}$$

Загальна площа приміщення, S , м²:

$$S = A \cdot B = 24 \cdot 15 = 360 \text{ м}^2$$

Обчислимо світлопоказник приміщення за формулою:

$$i = \frac{A \cdot B}{H_{p.m}(A+B)}$$

де А, В довжина та ширина приміщення відповідно, м;

H_{pm} - висота підвісу світильників від рівня робочої поверхні.

$$i = \frac{24 \times 15}{6 \times (24 + 15)} = 1,5$$

Коефіцієнт світлового потоку лампи $\eta = 49\%$.

Розрахуємо світловий потік лампи, $F_{л}$, лм, за формулою, нормована освітленість $E_n = 200$ лк, коефіцієнт запасу ламп – $K = 1,3$:

$$F_{л} = 100 \cdot 200 \cdot 360 \cdot 1,3 \cdot 1,5 / (12 \cdot 49) = 18306,1.$$

Відповідно теоретично знайденому світловому потоку $F_{л}$ обираємо реальне джерело освітлення – лампи ДРЛ-400. При цьому фактичний світловий потік однієї лампи складе $F_{ф} = 18000$ лм. По фактичному потоку лампи визначимо фактичну освітленість $E_{ф}$, лк, за формулою:

$$E_{ф} = (F_{ф} / F_{л}) E_n = (18000 / 18306,1) \cdot 200 = 196,7 \text{ лк.}$$

Виходячи із потужності однієї лампи, та їх кількості, визначимо загальну потужність освітлювальної установки W , Вт:

$$W = w \cdot n = 400 \cdot 12 = 4800 \text{ Вт}$$

Висновок: для освітлення приміщення рекомендується використовувати лампи ДРЛ потужністю 400 Вт в кількості – 12 штук. Потужність освітлювальної установки складає – 4800 Вт.

3.2 Захист навколишнього середовища

Промисловість – одна з основних галузей виробництва, без якої неможливе існування сучасної цивілізації.

Найбільш небезпечні для навколишнього середовища гірничо – металургійні підприємства. Великої шкоди ці підприємства завдають повітряному басейну, спричиняючи появу кислотних дощів, земельним ресурсам, утворюючи кар'єри, а також зумовлюють значне теплове забруднення середовища. Разом з доменним газом ці об'єкти

промисловості викидають в атмосферу сполуки фосфору, свинцю, сполука марганцю, ванадію, хрому. Важливим документом в галузі природоохоронної діяльності металургійних підприємств повинен бути екологічний стандарт, розроблений на базі міжнародної системи стандартів ISO14000, яким користуються країни Європейського союзу, Японія, США та інші. Особливостями даної системи стандартів є орієнтування не на конкретні технології, а на систему екологічного менеджменту (СЕМ) або СУОС – система управління охороною оточуючого середовища [2].

Основна кількість шкідливих речовин на МБЛЗ виділяється на розливній площадці зі струменя та дзеркала металу в кристалізаторі, в проміжних розливних пристроях при розігріві та перед розливкою сталі. Промковші, як правило, опалюються природним або коксовим газами. При цьому паливо згоряє не повністю, тому в атмосферу цеху виділяється оксид вуглецю та метан.

Крім викидів в атмосферу, металургійні підприємства використовують до 20—25% води від загального її споживання промисловими підприємствами та істотно забруднюють поверхневі води.

Металургійний комплекс є одним з найбільш потужних споживачів води та джерел забруднення водних об'єктів України. Виробництво 1 т сталевого прокату потребує споживання 180—200 м³ води. При цьому 30—40% стічних вод металургійних підприємств забруднені шкідливими речовинами, серед яких присутні, зокрема, феноли, ціаніди, роданіди, марганець, залізо, хром, миш'як, ванадій та ін.

З точки зору забруднення земель, зона впливу металургійного підприємства на навколишнє середовище може мати радіус 1—5 км. У межах вищезгаданої зони впливу у ґрунті спостерігається значний вміст шкідливих речовин [78].

Екологічна ефективність виробництва в значній мірі залежить від ступеня використання природних ресурсів. Кожна тонна сталі, що розлита безперервним способом, забезпечує зниження питомої витрати металу на прокат в середньому на 120 – 200 кг, і крім того, економію енергоресурсів: 150 кг умовного палива і 160 кВт год електроенергії.

Тому, основним завданням розвитку технології розливання і конструкцій МБЛЗ є проведення комплексу заходів по експлуатаційно – технологічному удосконаленню та модернізації елементів обладнання, що дозволить якісно підвищити їх продуктивність з метою використання резервів енерго- та ресурсозбереження сталеплавильного виробництва.

ВИСНОВКИ

У першому розділі кваліфікаційної роботи виконано аналіз наукової літератури, який підтвердив актуальність удосконалення роботи промковша МБЛЗ як агрегату, що забезпечує остаточне рафінування сталі від домішок, зокрема неметалевих включень та водню. Одним із основних сучасних методів покращення процесів рафінування та формування структури сталі є застосування фільтраційних перегородок і порогів у розливних камерах промковша. Проте перспективною альтернативою, що може забезпечити вищу економічну ефективність та зменшити забруднення металу, є регулювання гідродинаміки металевої ванни шляхом подачі нейтрального газу у визначені точки робочого простору промковша за спеціально розробленим режимом.

На основі результатів проведеного однофакторного дисперсійного аналізу сформульовано наступні рекомендації для зниження рівня відсортуння заготовок сталі марки 4СП:

- забезпечення вмісту сірки в сталі перед розливанням на рівні, що не перевищує%;
- зниження температури сталі перед розливанням до значення, що не перевищує°С;
- мінімізація коливань рівня металу в кристалізаторі, не допускаючи їх перевищення у мм;
- підвищення коефіцієнта витрати води в першій і другій секціях ЗВО до значення

Очікуваний ефект від впровадження зазначених заходів передбачає зменшення частки забракованих заготовок за такими видами дефектів:

- шлакові включення – з% до%;
- ромбічність – з% до%;

- кривизна – з% до%.

У розділі охорона праці проаналізовані шкідливі та небезпечні фактори на ділянці МБЛЗ а також вплив запропонованих заходів на навколишнє середовище. Встановлено, що запропоновані заходи не шкодять життю і здоров'ю персоналу та довкіллю.

Впровадження запропонованих заходів щодо вдосконалення технології безперервного лиття заготовок сприяє значному підвищенню виходу придатної продукції, що позитивно позначається на загальних економічних показниках підприємства.

Розрахунки свідчать, що зменшення кількості дефектів заготовок, зокрема шлакових включень, ромбічності та кривизни, дозволяє збільшити продуктивність МБЛЗ на т/рік. Це забезпечує додатковий економічний ефект у розмірі млн грн/рік, що підтверджує доцільність впровадження запропонованих змін.

Підвищення виходу придатної продукції сприяє не лише зниженню витрат на усунення дефектів, але й покращенню конкурентоспроможності підприємства на ринку.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Амоша О.І., Большаков В.І., Мінаєв О.О. [та ін.] Українська металургія: сучасні виклики та перспективи розвитку. Донецьк : Інститут Економіки промисловості НАН України, 2013, 195 с.
2. Смирнов А.Н. Непрерывная разливка сортовой заготовки / А.Н. Смирнов, С.В. Куберский, А.Л. Подкорытов [и др.]. – Донецк: Інститут Економіки промисленности НАН України, 2012. – 417 с.
3. Огурцов А.П. Тепломассообменные процессы финишных операций обработки стали на МНЛЗ / А.П. Огурцов, Ф.В. Недопакин, А.В. Гресс, И.А. Павлюченков. – Днепродзержинск: ДГТУ. – 2007. – 301 с.
4. Вторичное окисление и рафинирование при непрерывной разливке стали / В.А. Ефимов, Г.В. Ефимов, Е.Ф. Динок, Р.Я. Яковше // Процессы литья. – 1999. – №4. – С. 28-36.
5. Ефимов В.А. Рафинирование стали от неметаллических включений в промежуточных ковшах при непрерывной разливке стали / В.А. Ефимов // Процессы литья. – 2000. – №4. – С. 3-7.
6. Влияние рафинирования в промежуточном ковше МНЛЗ на неметаллические включения / Н.В. Баранова, Р.Я. Яковше, В.Л. Найдек [и др.] // Процессы литья. – 2006. – №3. – С. 16-19.
7. Аникаева А.А. Исследование характеристик потоков металла в модернизированном промежуточном ковше МНЛЗ / А.А. Аникаева, Е.А. Казачков // Теория и практика металлургии. – 1999. – №6. – С. 21-23.
8. Яковлев Ю.Н. Теоретические основы гидравлического моделирования процессов наполнения изложниц и кристаллизаторов / Ю.Н. Яковлев // Сб: Физические методы моделирования разливки металла. – К.: ИПЛ, 1975. – 17-20.

9. Основи металургійного виробництва металів і сплавів [Підручник] / Д.Ф. Чернега, В.С. Богушевський, Ю.Я. Готвянський, С.Г. Грищенко [та ін.]. – К.: Вища школа, 2006. – 503 с.
10. Смирнов А.Н. Внепечное рафинирование чугуна и стали [Учеб. пособие] / А.Н. Смирнов, А.М. Зборщик. – Донецк: ГВУЗ «ДонНТУ», 2012. – 186 с.
11. Бойченко Б.М. Конвертерное производство стали: теория, технология, качество стали, конструкции агрегатов, рециркуляция материалов и экология [Учебник] / Б.М. Бойченко, В.Б. Охотский, П.С. Харлашин. – Днепропетровск: РВА «Дніпро-ВАЛ», 2006. – 454 с.
12. Ковш-печь – современный агрегат для получения стали / Д.А. Дюдкин, В.В. Кисиленко, И.А. Павлюченков, В.Ю. Болотов. – Донецк: Норд-пресс, 2008. – 473 с.
13. Величко А.Г. Внепечная обработка чугуна и стали / А.Г. Величко. – Днепропетровск: Системные технологии, 2005. – 199 с.
14. Оценка возможности замены аргона на азот при продувке стали в ковше / Б.М. Бойченко, К.Г. Низяев, А.Н. Стоянов, Д.В. Чайка [и др.] // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2006. – №7. – С. 191-193.
15. Пат. США № 4326701. Lance apparatus / Ralph Hayden, Joe M. Barksdale // Заявл. 04.02.1981; Опубл. 27.04.1982.
16. Смирнов А.Н. Состояние и перспективы развития горно-металлургического комплекса Украины / А.Н. Смирнов, В.С. Харахулах, А.Д. Зражевский // Сб. научн. трудов конф. «Инновационные технологии внепечной обработки чугуна и стали», 25-26 окт. 2012 г. – Донецк: ДонНТУ, 2011. – С. 4-7.
17. *World Steel in Figures 2010*. – Brussels: World Steel Association, 2010. – 27 p.
18. Смирнов А.Н. Современный технологический комплекс сталеплавильного производства и приоритетные направления

развития процессов внепечной обработки и непрерывной разливки стали в Украине / А.Н. Смирнов. – *Металл и литьё Украины*. – 2009. – №1-2. – 4-5.

19. Смирнов А.Н. Особенности эксплуатации агрегата «ковш-печь» / А.Н. Смирнов, В.М. Сафонов // *Металлургический компас*. – 2009. – №3. – С. 35-37.

20. Смирнов А.Н. О современной концепции применения технологии обработки стали в установках «ковш-печь» / А.Н. Смирнов, В.М. Сафонов // *Металл*. – 2008. – №5. – С. 34-39.

21. Технология APS продувки металла в сталеразливочном ковше / Э.Э. Шумахер, В.В. Смоктий, В.Г. Порохнявый, Б.М. Бойченко [и др.] // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2010. – №7. – С. 211-212.

22. Исследование влияния вариантов компоновки донного продувочного узла на перемешивание расплава аргоном на двухпозиционной установке «ковш-печь» мощностью 45 МВ·А / В.П. Пиптюк, С.Н. Павлов, В.А. Поляков [и др.] // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2010. – №7. – С. 213-215.

23. Опробование комбинированной продувки металла в ковше аргоном в условиях ОАО «Запорожсталь» / К.К. Оноде, Ю.И. Жаворонков, Е.В. Штапура, Б.М. Бойченко [и др.] // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2010. – №7. – С. 216-217.

24. Рафинирование низкоуглеродистой электростали при внепечной обработке на УКП / Ю.С. Пройдак, Л.В. Камкина, А.П. Стовпченко, Ю.Д. Стогний [и др.] // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2010. – №7. – С. 218-220.

25. Производство стали с применением импульсно-динамического устройства при внепечной обработке / С.Н. Чепель,

А.А. Звездин, Е.Б. Полетаев, С.Н. Медведь [и др.] // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2010. – №7. – С. 220-222.

26. Sahai Y. *Tundish Technology for Clean Steel Production* / Y. Sahai, T. Emi // New Jersey: World Scientific. – 2002. – 316 p.

27. Губенко С.И. *Неметаллические включения в стали* / С.И. Губенко, В.В. Парусов, И.В. Деревянченко. – Донецк: АРТ-ПРЕСС, 2006. – 536 с.

28. Schuller J. *Effect of VD-OB Technology on Product Quality* // J. Schuller, A. Koschinski, A. Klamer, H. Arnold // 5th European Oxygen Steelmaking Conference, 26-28 June 2006, Aachen, Germany. – P. 375-382.

29. Смирнов А.Н. *Оптимизация параметров продувки металла в ковше при различных режимах работы агрегата ковш-печь* / А.Н. Смирнов, Е.В. Ошовская, И.Н. Салмаш // Труды III международной научно-технической конференции «Прогрессивные технологии в металлургии стали: XXI век». – Донецк. – 2007. – С. 171-177.

30. *Некоторые вопросы оценки интенсивности перемешивания при продувке металла в ковше инертным газом. Сообщение 1* / А.Н. Смирнов, Е.В. Ошовская, И.Н. Салмаш, В.М. Сафонов [и др.] // *Процессы литья*. – 2008. – №4. – С. 41-48.

31. *Некоторые вопросы оценки интенсивности перемешивания при продувке металла в ковше инертным газом. Сообщение 2* / А.Н. Смирнов, Е.В. Ошовская, И.Н. Салмаш, В.М. Сафонов [и др.] // *Процессы литья*. – 2008. – №5. – С. 30-35.

32. *Некоторые вопросы оценки интенсивности перемешивания при продувке металла в ковше инертным газом. Сообщение 3* / А.Н. Смирнов, Е.В. Ошовская, И.Н. Салмаш, В.М. Сафонов, С.Г. Жемеров [и др.] // *Процессы литья*. – 2009. – №5. – С. 11-19.

33. Mazumdar D. The Physical and Mathematical Modelling of Continuous Casting Systems / D. Mazumdar, R.I.L. Guthrie // ISIJ International. – 1999. – Vol. 39. – №3. – P. 525-548.

34. Koria S.C. Physical Modelling of the Effects of the Flow Modifier on the Dynamics of Molten Steel Flowing in a Tundish / S.C. Koria, S. Singh // ISIJ International. – 1994. – Vol. 34. – №10. – P. 784-793.

35. Damle C. A Criterion for Water Modelling of Non-isothermal Melt Flows in Continuous Casting Tundishes / C. Damle, Y. Sahai // ISIJ International. – 1996. – Vol. 36. – №6. – P. 681-689.

36. Jha P.K. Fluid Flow and Mixing in a Six Strand Billet Tundish: A Parametric Study / P.K. Jha, S.K. Dash, S. Kumar // ISIJ International. – 2001. – Vol. 41. – №12. – P. 1437-1446.

37. Харлашин П.С. Фізична хімія [Навч. посібник] / П.С. Харлашин, В.І. Бондар. – Маріуполь: ПДТУ, 2014. – 430 с.

38. Теория и практика сталеплавильных технологий / П.С. Харлашин, Б.М. Бойченко, В.С. Волошин, Т.М. Чаудри [и др.]. – Донецк: Норд-Пресс, 2012. – 620 с.

39. Вопросы современной металлургии / П.С. Харлашин, О.В. Носоченко, И.В. Буторина, Г.С. Ершов [и др.]. – Донецк: «Норд Компьютер», 2011. – 860 с.

40. Охотский В.Б. Модели металлургических систем / В.Б. Охотский. – Днепропетровск: Системные технологии, 2006. – 287 с.

41. Харлашин П.С. Основи термодинаміки і кінетики сучасних сталеплавильних процесів [Підручник] / П.С. Харлашин, В.С. Волошин, М.Я. Меджибожський. – Донецьк: «Норд Компьютер», 2012. – 340 с.

42. Троцан А.И. Теория и практика микролегирования с учётом межкристаллитной внутренней адсорбции / А.И. Троцан, И.Л. Бродецкий, А.И. Иценко. – К.: Изд. «КИМ», 2009. – 272 с.

43. Sichen Du. Slag-metal Interface and Its Impact on Inclusion Removal in Ladle Treatment / Du Sichen // Baosteel BAC2006. – P. 80-91.

44. Optimal Mixing Effect of LF Bottom-Blown Stirring by Two Nozzles / Min Chen, Nan Wang, Yongxuan Yao, Jianlin Geng, Kunxiang Xiong // *Steel Research Int.* – 2007. – Vol.78. – No. 6. – P. 468-472.

45. Tsuyoshi Kagawa. Model Study of the Rupture Phenomena of a Metal Droplet Growing on a Slag-Metal Interface / Tsuyoshi Kagawa, Manabu Iguchi // *ISIJ International.* – 2005. – Vol. 45. – No. 8. – P. 1088-1094.

46. Ji-He Wei, Xing-Yuan Jiang, Li-Juan Wen and Bo Li. Mass Transfer Characteristics between Molten Steel and Particles under Conditions of RH-PB(IJ) Refining Process / Ji-He Wei, Xing-Yuan Jiang, Li-Juan Wen, Bo Li // *ISIJ International.* – 2007. – Vol. 47. – No. 3. – P. 408-417.

47. B.V.R. Raja. Recent Developments in Secondary Steel Making Processes / B.V.R. Raja // *IIM Metal News.* – 2007. – Vol. 10. – No. 1. – February. – P. 19-26.

48. Visualization of Collision Behavior of Particles Simulating Inclusions in a Turbulent Molten Steel Flow and Its Theoretical Analysis / Yuji Murakata, Mun-Gyu Sung, Kensuke Sassa, Shigeo Asai // *ISIJ International.* – 2007. – Vol. 47. – No.5. – P. 633-637.

49. Yosuke Kosaka. Basic Characteristic of Swirl Motion in Tapered Bath Agitated by Gas Injection / Yosuke Kosaka, Yoshiaki Ueda, Manabu Iguchi // *Tetsu-to-Hagane.* – 2005. – Vol. 91. – No.8. – P. 623-629.

50. A Mathematical Model to Study Liquid Inclusion Behavior at the Steel-Slag Interface / J. Strandh, K. Nakajima, R. Eriksson, P. Jönsson // *ISIJ International.* – 2005. – Vol. 45. – No.12. – P. 1858-1847.

51. Impact of Ladle Design on Bath Mixing / Nabonita Mazumdar, Arjun Mahadevan, M. Madan and Dipak Mazumdar // *ISIJ International.* – 2005. – Vol. 45. – No. 12. – P. 1940-1942.

52. Пиптюк В.П. Исследование особенностей доводки стали кусковыми добавками на установке ковш-печь / В.П. Пиптюк,

В.Ю. Болотов, В.А. Вихлевщук // Теория и практика металлургии, 2006. – №1. – С. 28-33.

53. Исследование процессов шлакообразования и доводки металла на установке ковш-печь с использованием математической модели гидродинамики и тепло- и массообмена / В.П. Пиптюк, В.Ю. Болотов, И.А. Павлюченков, В.А. Вихлевщук [и др.] // «Тепло- и массообменные процессы в металлургических системах». Материалы VII международной научно-технической конференции. Мариуполь: ПГТУ, 2007. – С. 102-107.

54. Piero Marcolongo, James W. Evans and Daniel A. Steingart. A Novel, Inexpensive, and Rugged Probe for Measuring Gas Bubbles in Liquid Metals: Part I: Mathematical Modeling and Laboratory Experiments, Metallurgical and Materials Transactions B, Vol. 38B, June 2007, P. 389-399.

55. Голуб И.В. Совершенствование процессов внепечной обработки / И.В. Голуб, Д.П. Васильев // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2012. – №7. – С. 112-114.

56. Gabrieia N. Venturini. Mass Transfer Model of Gas-Liquid Reactions inside a Gas-Stirred Ladle / Gabrieia N. Venturini, Marcela B. Goldschmit // Steel SIM 2005. 1st International Conference Simulation and Modelling of Metallurgical Processes in Steelmaking. – 2005. – P. 23-37.

57. Ajmani S.K. Cold model studies of mixing and mass transfer in steelmaking vessels / S.K. Ajmani, A. Chatterjee // Ironmaking and Steelmaking. – 2005. – Vol. 32. – No. 6. – P. 515-527.

58. Valentin P., Bruch C., Kyrylenko Y. Influence of the Stirring Gas on Mixing Phenomena – Formation and Online Control of the Open-Eye in a LD Steel Plant. Journees Siderurgiques Internationales 2006, Paris, 14-15 December. – P. 201-207.

59. Smirnov A. Optimization of Gas Stirring Processes in the Ladle with Utilization of Mathematical Models / A. Smirnov, S. Gridin, L Salmash //

Steel SIM 2005. 1st International Conference Simulation and Modelling of Metallurgical Processes in Steelmaking, P. 51-59.

60. Lifeng Zhang. Fundamentals of Inclusion Removal from Liquid Steel by Bubble Flotation / Lifeng Zhang, S. Taniguchi // International Materials Reviews. – 2000. – Vol. 45. – No. 2. – P. 59-82.

61. Keisuke Fukushi. The Effects of Wettability on the Flow Pattern and Rising Gas Velocity of Gas-Liquid Two-phase Flow in Vertical Pipe / Keisuke Fukushi, Manabu Iguchi // Tetsu-to-Hagane. – 2005. – Vol. 91. – No. 5. – P. 29-34.

62. Study on Removal of Inclusions from Molten Steel by Blowing During LF Refining / Tang Hai-yan, Li Jing-she, Wang Jian-bin [et al] // Iron and Steel. – 2007. – Vol. 42. – No. 3. – P. 21-23.

63. Dynamic process models for online observation the vacuum tank degassing process / B. Kleimt, J. Cappel, J. Hoffmann, D.-J. Sheng // ATS International Steelmaking Conference in Paris. – December 11-12, 2002, Session 2. La Revue de Metallurgie, June 2003. – P. 583-593.

64. Gotsis V.S. Special porous plugs for the production of super clean steels / Vassilios S. Gotsis, George N. Angelopoulos and Demetrios C. Papamantellos // Steel Research 72. – 2001. – No. 5-6. – P. 208-214.

65. Inclusion Investigation during Clean Steel Production at Baosteel / Lifeng Zhang, Brian G. Thomas, Kaike Cai [et al] // Proceedings of ISSTech Conference. – 2008. – P. 141-155.

66. Tassot P. Ways of improving steel quality in tundish / P. Tassot, N. Reichert // Revue de Metallurgie. – 2010. – No. 107. – P. 179-185.

67. Smirnov A. Physical and Mathematical Modelling Fluid Flows in Tundish for 6-Strand Billet CCM / A. Smirnov, S. Gridin // 1st International Conference Simulation and Modelling of Metallurgical Processes in Steelmaking: Materials Conference, 25-27 October 2005. International Fair's Centre, Brno, Czech Republic: 2006. – A 24. – P. 244-252.

68. Chattopadhyay Kinnor. Physical and Matematical Modelling to Study the Effect of Ladle Shroud Misalignment of Liquid Metal Quality in a Tundish / Kinnor Chattopadhyay, Mihaielsac Roderick, J.L. Guthrie // ISIJ International. – 2011. – Vol. 51. – No. 5. – P. 759-768.

69. Smirnov A. Mathematical Simulation and Physical Modelling of Convective Fluid Flow in Six-Strand Billet CCM Tundish / A. Smirnov, A. Kravchenko // 3rd International Conference on Simulation and Modelling of Metallurgical Processes in Steelmaking, Steelsim 2009. September 8-10, 2009, Leoben (Austria. – CD – print).

70. Харлашин П.С. Исследование кинетики растворения и удаления водорода из Fe-C расплавов / П.С, Харлашин, А.Н. Яценко, А.В. Явойский // Metallургическая и горнорудная промышленность. – 2012. – №7. – С. 120-122.

71. Охотский В.Б. Эволюция сталеплавильных технологий. Непрерывная разливка / В.Б. Охотский // Metallургическая и горнорудная промышленность. – 2012. – №7. – С. 122-124.

72. Merder T. Modeling of flow behavior in a six-strand continuous casting tundish / T. Merder // Metalurgia. – 2007. – Vol. 46. – No.4. – P. 245-249.

73. Cho Myung Jong. A Practical Model for Predicting Intermixed Zone during Grade Transition / Myung Jong Cho, Sang Joon Kim // ISIJ International. – 2010. – Vol. 50. – No. 8. – P. 1175-1179.

74. Krobath M. Optimierung von metallurgischen, Prozessen mit Hilfe von Simulationen / M. Krobath, B. Kaufmann, M. Lechner, G. Ernst [und...] // BHM. – 2008. – Jg. 153. – Heft 5. – P. 162-168.

75. Hong L. Whole analysis approach for residue time distribution curve in multi-strand continuous casting tundish / L. Hong, Z. Yan, B. Jialin, L. Chergiu [et al] // Acta Metallurgica Sinica. – 2010. – Vol. 46. – No. 9. – P. 1109-1114.

76. Singh V. Numerical simulation of flow-induced wall shear stress to study a curved shape billet caster tundish design / V. Singh, A. Ranjan Pal, P. Panigrahi // ISIJ International. – 2008. – Vol. 48. – No. 4. – P. 430-437.

77. Електронний ресурс. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1476-14#Text>

78. Фещенко, Каменева, 2016; Офіційний сайт Державної служби статистики України (<http://www.ukrstat.gov.ua>); Новиков та ін., 2014; Корач, Чилиї., 2012.

79. Електронний ресурс. - Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0225-18#Text>

80. Електронний ресурс. - Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99#Text>

81. Електронний ресурс. - Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14#Text>

82. Електронний ресурс. - Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/vra77858-11#Text>

83. «Каметсталь» у 2023 році відвантажила майже 2 млн. тонн продукції для українських та зарубіжних замовників [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://sobitie.com.ua/reklama/kametstal-u-2023-roczni-vidvantazhyly-majzhe-2-mln-tonn-produkcziji-dlya-ukrayinskyh-ta-zarubizhnyh-zamovnykiv-310852/> (дата доступу: 22.12.2024).