

11. G. Sa'nchez, C. Hidalgo, and P. Donoso, «Kinetic studies of calcium-Induced calcium release in cardiac sarcoplasmic reticulum vesicles», *Biophysical Journal*, vol. 84, pp. 2319-2330, 2003. doi: 10.1016/S0006-3495(03)75037-1.

Стаття надійшла 11.11.2024

Стаття прийнята 20.11.2024

УДК 669.141.245

doi: 10.31498/2225-6733.49.1.2024.321265

© Вовк А.О.¹, Похвалітий А.А.²

ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ФОРМУВАННЯ ГАЗОРІДИННОГО ПОТОКУ ПРИ ВИПУСКУ ПЛАВКИ З КОНВЕРТЕРА

Дослідження умов формування газорідинного потоку при випуску плавки з конвертера базується на низькотемпературному моделюванні, спрямованому на аналіз впливу конструктивних характеристик сталевипускного каналу. Використання інертного газу (аргону) забезпечило створення захисної газової оболонки, що зменшує контакт металу з атмосферним киснем, знижуючи його вміст у потоці до 1-3%. На основі експериментів розроблено класифікацію режимів продувки та емпіричні залежності для опису взаємодії газу і рідини. Встановлено, що мінімальна концентрація кисню у газовій фазі (1-3%) досягається за витрати аргону 10-20% від максимальної. Це дозволяє підтримувати ефективність захисної оболонки на рівні 95%. Подальше збільшення витрати аргону призводить до розширення кута розкриття потоку, що негативно впливає на його організацію. Збільшення кількості продувних сопел підвищує стабільність потоку: при шести соплах концентрація кисню залишається нижчою за 10,5% навіть за високої витрати газу. Експерименти на плоскій моделі льотки виявили залежність між витратою газу, рівнем рідини та глибиною вирви. Підвищення витрати газу за умов високого рівня рідини сприяє стабільності міжфазної поверхні, тоді як зниження рівня рідини викликає збільшення глибини вирви та погіршення організації потоку. Експерименти виконувалися на лабораторному стенді, що відтворював процес випуску плавки з урахуванням геометричної та динамічної подібності. Використовувався технічно чистий аргон із вмістом кисню до 0,7%. Основними параметрами для аналізу стали витрата газу, рівень рідини, відносна глибина вирви та кут розкриття потоку. Для оцінки ефективності газової оболонки застосовувався аналіз концентрації кисню за допомогою газоаналізатора. Запропоновані оптимальні умови включають контроль витрати аргону, рівня рідини та кількості сопел. Встановлено, що витрата аргону 0,05-0,125 м³/хв забезпечує ефективний захист розплаву, а оптимальний кут розкриття потоку до 3° сприяє ефективності на рівні 92-99%. Отримані результати мають важливе практичне значення для вдосконалення процесу випуску плавки, покращення рафінування та зниження окислення сталі. Розроблені залежності дозволяють точніше визначати параметри продувки та оптимізувати конструкцію випускного каналу, підвищуючи ефективність металургійних процесів.

Ключові слова: конвертер, моделювання, випуск розплаву, газорідинний потік, аргон, захисна оболонка, глибина вирви.

¹ аспірантка, Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське, ORCID: 0009-0007-7692-0232, alyonkamax.vovk@gmail.com

² канд. техн. наук, доцент, Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське, ORCID: 0000-0002-9652-767X, artemmslp@gmail.com

A.O. Vovk, A.A. Pokhvalityi. Study of the conditions of gas-liquid flow formation during the tapping of the melt from the converter. The study of the conditions for the formation of a gas-liquid flow during the tapping of molten metal from the converter is based on low-temperature modeling, aimed at analyzing the impact of the structural characteristics of the steel tapping channel. The use of inert gas (argon) enabled the creation of a protective gas shell that reduces the contact of the metal with atmospheric oxygen, lowering its content in the flow to 1–3%. Based on the experiments, a classification of blowing regimes and empirical dependencies were developed to describe the interaction between the gas and the liquid. It was established that the minimum oxygen concentration in the gas phase (1–3%) is achieved with an argon flow of 10–20% of the maximum. This maintains the efficiency of the protective shell at 95%. Further increases in the argon flow lead to the expansion of the flow's opening angle, negatively impacting its organization. Increasing the number of nozzles improves flow stability: with six nozzles, the oxygen concentration remains below 10.5%, even with high gas flow rates. Experiments on a flat tapping channel model revealed a dependence between the gas flow, liquid level, and the depth of the vortex. Increasing the gas flow with a high liquid level contributes to the stability of the interfacial surface, whereas reducing the liquid level leads to an increase in vortex depth and deterioration of the flow organization. The experiments were conducted on a laboratory setup simulating the tapping process, accounting for geometric and dynamic similarity. Technically pure argon with an oxygen content of up to 0.7% was used. The main parameters for analysis included gas flow rate, liquid level, relative vortex depth, and flow opening angle. To assess the effectiveness of the gas shell, oxygen concentration was analyzed using a gas analyzer. The proposed optimal conditions include controlling the argon flow rate, liquid level, and the number of nozzles. It was established that an argon flow rate of 0.05–0.125 m³/min ensures effective protection of the melt, and an optimal flow opening angle of up to 3° contributes to efficiency levels of 92–99%. The obtained results are of significant practical importance for improving the tapping process, refining, and reducing steel oxidation. The developed dependencies allow for more accurate determination of blowing parameters and optimization of the tapping channel design, thereby enhancing the efficiency of metallurgical processes.

Keywords: converter, modeling, molten metal tapping, gas-liquid flow, argon, protective shell, vortex depth.

Постановка проблеми. З розвитком позаагрегатних методів обробки сталі та зростанням вимог до її якості значно актуалізувалося питання вдосконалення функціональних можливостей випускного каналу конвертера. Сучасні дослідження спрямовані на забезпечення ефективного відсікання високоокисленого шлаку на початку та наприкінці випуску, захисту потоків металу від впливу атмосфери, а також реалізації додаткових процесів рафінування, розкислення й легування металу в процесі випуску [1]. У зв'язку з цим активно використовують потенційну енергію металу, що надходить у ківш із висоти 5–8 метрів, яка може бути ефективним джерелом для інтенсифікації процесів [2, 3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ідея застосування вуглецевого потенціалу розплаву для вуглецевого розкислення не нова. Аналіз технічної літератури показує, що для здійснення цього процесу за відсутності високоокисленого шлаку необхідна витрата аргону в межах 0,4–1,2 м³ на тонну сталі [4]. Однак досягнення подібних умов у конвертері є складним через низку технологічних обмежень. Одним із можливих шляхів на етапі позаагрегатної обробки є зниження в ковші активності шлаку шляхом ефективного видалення його залишків. Проте навіть за таких умов розкислення з використанням аргону із вказаною витратою створює значні труднощі: зростає тривалість процесу до 20–60 хвилин, що негативно впливає на показники продуктивності [5]. Крім того, велика кількість утвореного газу призводить до суттєвих ризиків, пов'язаних із викидом металу з ковша, що може спричинити аварійні ситуації [6]. Через це виникла ідея використати енергетичний потенціал сталевипускного каналу конвертера для здійснення розкислення залишковим вуглецем під час випуску розплаву. Це пропонується реалізувати шляхом обробки розплаву інертним газом у робочому просторі сталевипускного каналу (льотки) [7]. Одним з

головних питань, яке потрібно вирішити при реалізації вуглецевого розкислення розплаву є визначення умов формування високоорганізованого газометалевого потоку з мінімальним впливом атмосферного повітря на розплав. Слід зазначити, що існуючі способи захисту потоку розплаву від впливу навколишньої атмосфери з застосуванням пристроїв для утворення газової завіси [8] не відрізняються високою ефективністю.

Метою роботи є дослідження умов формування газорідного потоку при випуску плавки з конвертера, визначення оптимальних параметрів витрати аргону та конструктивних характеристик випускного каналу для створення ефективної захисної газової оболонки, що мінімізує контакт розплаву з атмосферним киснем та покращує організацію потоку.

Виклад основного матеріалу. Для дослідження умов формування газорідного потоку проведено низькотемпературні експерименти на лабораторному стенді (рис. 1). Стенд відтворював умови, наближені до реальних, з урахуванням масштабування за критеріями подібності $We = idem$, $Ar = idem$, $Re = idem$ [9]. Діаметр (d) випускного каналу становить 50 мм. Детальний опис методики розрахунку, використаних критеріїв подібності та характеристик обладнання представлено в джерелах [10, 11].

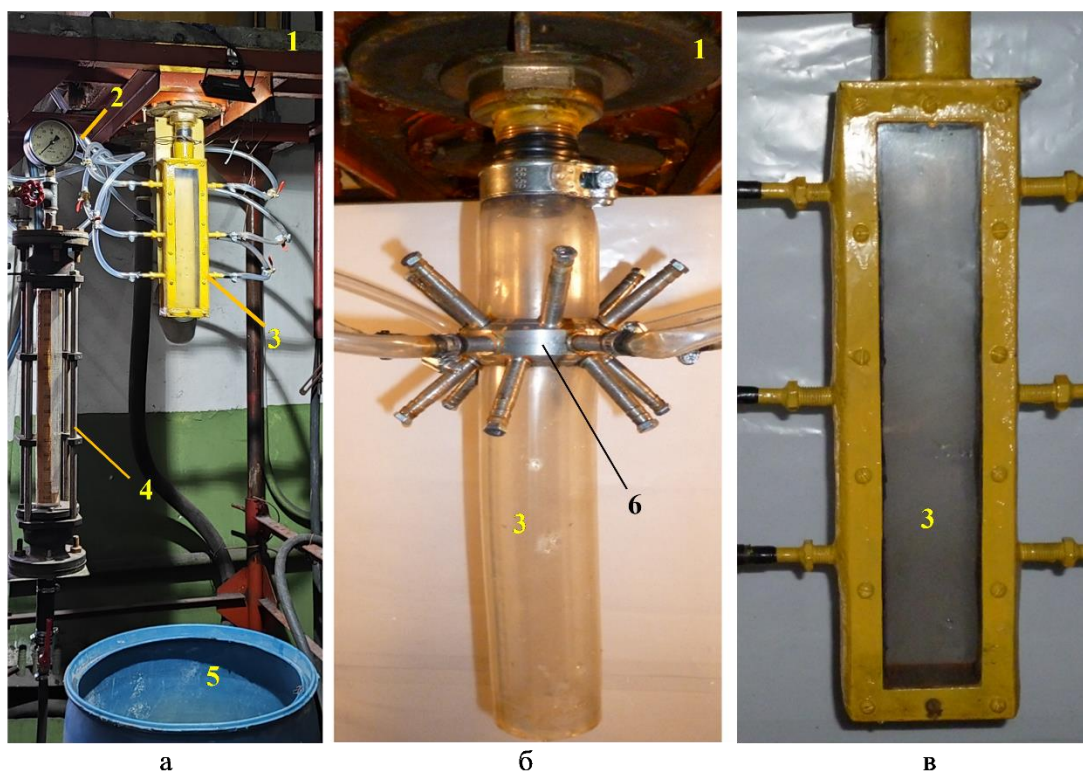


Рис. 1 – Лабораторна установка для низькотемпературного моделювання процесу випуску розплаву з конвертера (а), обладнана двокамерними циліндричною (б) і плоскою (в) моделями льотки (випускних каналів): 1 – ємність з рідиною; 2 – манометр; 3 – випускний канал; 4 – ротаметр; 5 – приймальний ківш; 6 – продувний блок

Для оцінки впливу ступеня організації газорідного потоку на формування газової оболонки, що захищає від впливу атмосфери, проведено серію експериментів з використанням аргону [12]. Ефективність захисту, що створюється газовою оболонкою, визначали за вмістом кисню в бульбашках газу, що спливають у ковші після попадання в нього потоку рідини, за допомогою газоаналізатора типу ОКЦИ-5М-Н2.

Технічно чистий аргон, застосований для продувки в робочому просторі сталевипускного каналу, мав вміст кисню в межах 0,5-0,7%. Діапазон витрати аргону в експерименті становив від 0 до 0,1 м³/хв на одне сопло, що відповідало 0-100% значення витрати. Ефективність захисної дії аргону оцінювали за допомогою наступної формули:

$$K_{Ar} = 100 - 4,762 \cdot (\{O_2\} - \{O_2\}_{Ar}), \quad (1)$$

де K_{Ar} – коефіцієнт захисної дії аргону, %;

$\{O_2\}$ і $\{O_2\}_{Ar}$ – вміст кисню у в захисній газовій оболонці і аргоні відповідно, %.

На основі результатів вимірювань та аналітичних розрахунків була побудована діаграма (рис. 2).

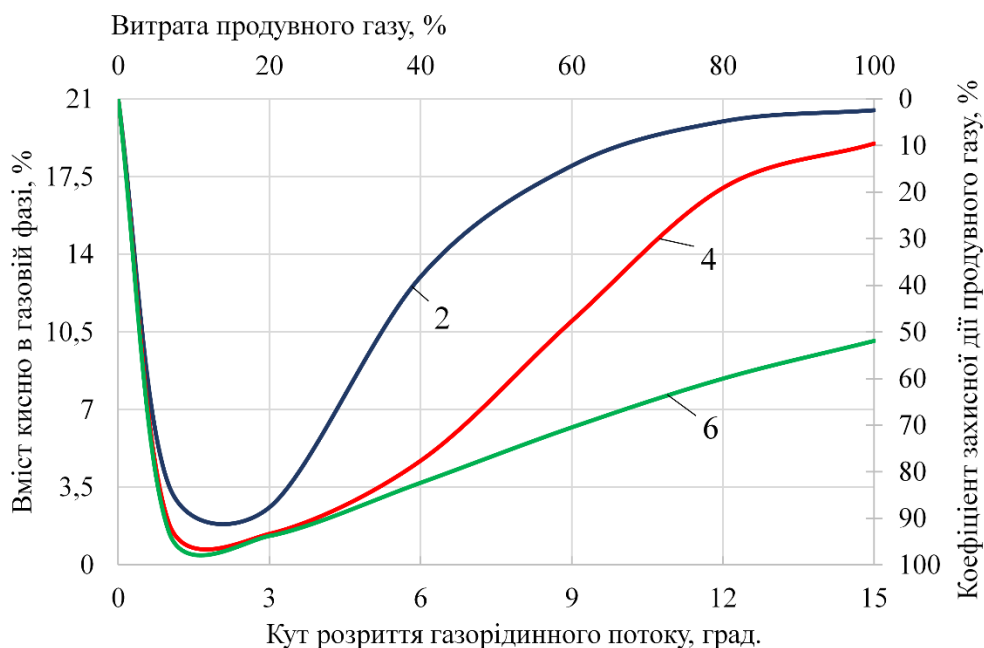


Рис. 2 – Залежність вмісту кисню в газорідному потоці від кута розкриття при різних витратах газу та кількості сопел: цифри поруч з кривими вказують на кількість сопел у продувному блоці

Аналіз отриманих результатів (рис. 2) показав, що за відсутності подачі газу вміст кисню в пробах становить 21%. Мінімальні концентрації кисню (1-3%) спостерігалися при витраті продувного газу на рівні 10-20% від максимального значення, що забезпечувало коефіцієнт захисної дії газу на рівні 90-95%. Подальше збільшення витрати газу призводило до розширення кута розкриття газорідного потоку (ГРП), що, в свою чергу, спричиняло підвищення вмісту кисню в газовій фазі та зниження ефективності захисної дії газу. Дослідження вказують, що збільшення кількості продувних сопел з двох до шести значно поліпшує організацію потоку в більш широкому діапазоні витрат газу. Так, при застосуванні шести сопел концентрація кисню залишалася нижчою за 10,5% навіть при максимальній витраті газу в дослідному діапазоні і куті розкриття потоку 15°. У разі використання двох сопел, при витраті газу на рівні 50% від максимального значення, кут розкриття ГРП становив 7-8°, а вміст кисню в газовій фазі досягав приблизно 17%. Подальше збільшення витрати газу повністю нівелювало захисну дію. З'ясовано, що збільшення кута розкриття потоку з 1° до 15° супроводжується зниженням ефективності захисної дії продувного газу з 90-95% до 0-50%, при цьому концентрація кисню в газовій фазі зростала з 1,2-1,5% до 10,3-20,5%. При кутах розкриття до 3° ефективність захисної дії аргону залишалася високою (92-99%) в межах дослідного діапазону витрат газу. Оптимізація витрати газу дозволяє підтримувати коефіцієнт захисної дії на рівні 80-90% при кутах розкриття потоку від 3° до 6° [12].

Результати дослідження дозволили визначити оптимальні параметри витрати аргону та ступеня організації потоку, які забезпечують максимальну ефективність захисної дії газової оболонки. Таким чином, для підвищення ефективності захисної дії продувного газу від впливу атмосферного кисню доцільно збільшувати кількість сопел у продувному блоці. Однак при обробці розплаву наприкінці випуску відбувається збільшення кута розкриття ГРП на 5-7°, що погіршує умови формування захисної газової оболонки.

З метою визначення показників, що впливають на формування газорідного потоку в межах випускного каналу, провели серію досліджень з використанням плоскої моделі льотки. Модель являє собою зріз циліндричної льотки з усіченими сегментами, паралельними співвісно розташованій парі продувних сопел (рис. 1в). В якості факторів, що впливають на показник глибини вирви, обрали витрату газу q та рівень рідини в конвертері H . Ширина плоскої льотки дорівнює діаметру циліндричної. Для узагальнення результатів прийняли відносну глибину вирви, що являє собою відношення глибини вирви до діаметру (ширини) випускного каналу $K_B = \Delta i / d$. Результати досліджень представлені в таблиці 1. Вигляд взаємодії газового і рідинного потоку представлені на рис. 3.

Таблиця 1

Результати дослідження взаємодії газового і рідинного потоку
в порожнині випускного каналу

№ з/п	Витрата газу на 1 сопло, q , м ³ /хв	Рівень рідини, H , м	Швидкість потоку, v , м/с	Глибина вирви, Δi , мм			Відносна глибина вирви, K_B
				min	max	med	
1	0,135	0,9	4,65	0	3	1,5	0,03
2	0,125	0,85	4,54	0	3	1,5	0,03
3	0,1	0,8	4,43	4	5	4,5	0,09
4	0,075	0,73	4,27	4	6	5	0,1
5	0,05	0,68	4,16	8	12	10	0,2
6	0,035	0,65	4,08	12	14	13	0,26
7	0,025	0,6	3,96	14	16	15	0,3
8	0,015	0,55	3,84	30	35	32,5	0,65
9	0,005	0,5	3,71	40	50	45	0,9
10	0,1	0,45	3,57	2	3	2,5	0,05
11	0,075	0,3	3,13	3	4	3,5	0,07
12	0,025	0,35	3,28	8	10	9	0,18
13	0,05	0,3	3,13	4	6	5	0,1
14	0,015	0,25	2,97	10	12	11	0,22

Проведені дослідження дозволяють проаналізувати вплив витрати газу та рівня рідини в конвертері на процеси формування газорідного потоку в межах випускного каналу. Представлені в таблиці результати свідчать, що відносна глибина вирви (K_B) має суттєві варіації залежно від параметрів витрат газу та рівня рідини.

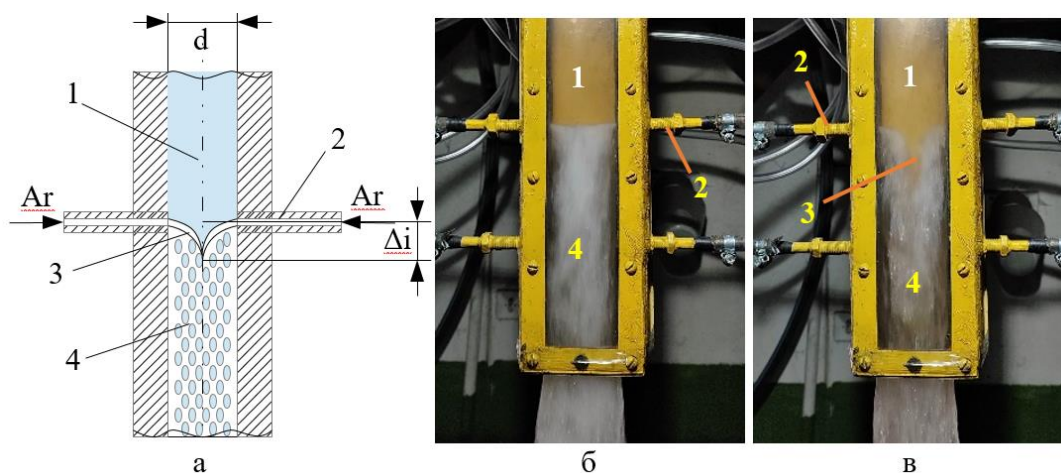


Рис. 3 – Схема (а) і вигляд взаємодії газового і рідинного потоку в порожнині випускного каналу при відносній глибині вирви $K_B=0,03$ (б) і $K_B=0,9$ (в): 1 – потік рідини; 2 – сопло; 3 – вирва; 4 – газорідний потік

При високих витратах газу ($q = 0,1-0,135 \text{ м}^3/\text{хв}$) вплив рівня рідини на відносну глибину вирви незначний і K_B залишається в межах $0,03-0,09$, що свідчить про помірну організацію міжфазної поверхні. У цьому діапазоні продувка є стабільною і сприяє формуванню потоку з достатньо розвинутою міжфазною поверхнею. Водночас, при зниженні витрат газу ($q = 0,015 = 0,05 \text{ м}^3/\text{хв}$) відносна глибина вирви істотно зростає ($K_B = 0,22-0,65$), що вказує на суттєвий вплив рівня рідини на формування газорідного потоку. У цих умовах потік стає менш організованим і можливе зниження ефективності процесу.

За результатами досліджень отримано емпіричну залежність, яка дозволяє моделювати взаємозв'язок між витратою газу, рівнем рідини та відносною глибиною вирви.

$$K_B = \frac{3,062 \cdot q^{-0,627} \cdot H^{0,857} - 65,75 \cdot q + 0,202}{d} \quad (2)$$

Графічний аналіз (рис. 4) показує, що при зменшенні витрати газу та рівня рідини відбувається значне збільшення відносної глибини вирви. Це свідчить про складність забезпечення стабільного процесу продувки в таких умовах.

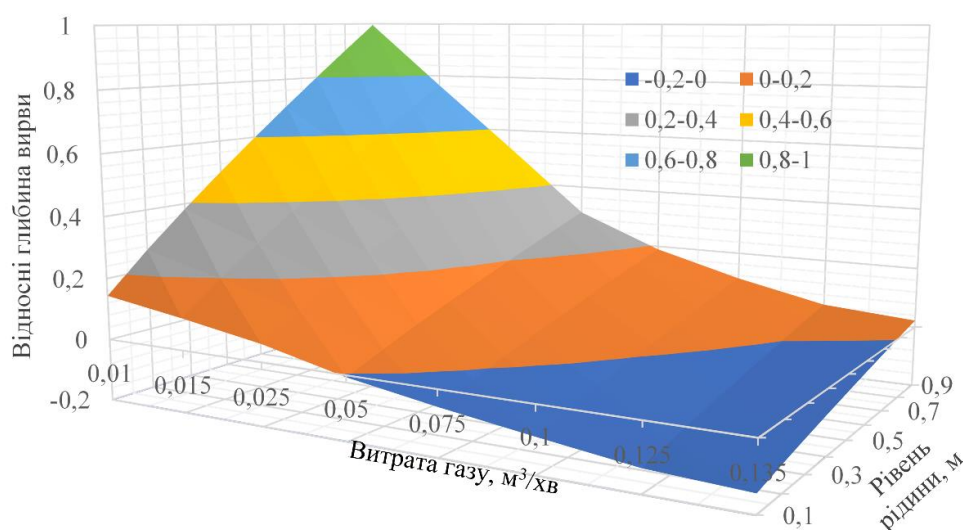


Рис. 4 – Вплив витрати газу на відносну глибину вирви при різних рівнях рідини в конвертері

Запропонована в роботі [12] класифікація режимів продувки потоку рідини в випускному каналі, де в якості показника застосовано кут нахилу газових струменів (γ), не враховує зміну рівня рідини в конвертері в процесі випуску плавки і вважається сталою, чого досить важко дотримуватись в виробничих умовах.

Аналіз отриманих даних (рис. 4) дозволив розробити класифікацію режимів продувки, яка враховує відносну глибину вирви (K_B) як ключовий параметр:

Режим І: при $K_B > 0,5$ інтенсивного перемішування газу з рідиною не відбувається.

Режим ІІ: при $0,5 > K_B > 0$ збільшення витрати газу або зниження рівня рідини сприяє зменшенню глибини вирви, що сприяє інтенсивному перемішуванню газу з рідиною. У цьому режимі формується газорідний потік із розвинутою міжфазною поверхнею та високим ступенем організації.

Режим ІІІ: при $K_B < 0$ подальше збільшення витрати газу або зменшення рівня рідини спричиняє центральний пробій газу та перехід газорідного потоку до дисперсно-кільцевого режиму («режим пробою»). Цей режим характеризується збільшенням кута розкриття відкритої частини потоку.

Приведені режими продування ефективні для різних технологічних операцій. Так, для максимізації захисної дії продувального газу доцільним є продування в режимі І. Продування в режимі ІІ забезпечує найкращі умови для рафінувальних операцій завдяки інтенсивному перемішуванню та високому ступеню організації потоку. Режим ІІІ можна застосовувати для відпрацювання

технології газодинамічної відсічки шлаку. Отримані результати є основою для подальших досліджень і вдосконалення процесу випуску розплаву з конвертера в промислових умовах.

Висновки

Використання аргону з витратою 0,05-0,125 м³/хв на одне сопло забезпечує ефективне створення захисної газової оболонки для мінімізації вмісту кисню в газовій фазі. Збільшення кількості сопел значно покращує організацію газорідного потоку, зменшує ризик забруднення сталі та підвищує ефективність процесів рафінування. Оптимальний кут розкриття потоку становить до 3°, що забезпечує ефективність захисту аргonom на рівні 92-99%. При збільшенні кута понад 6° ефективність значно знижується.

Встановлена залежність між витратою газу, рівнем рідини та глибиною вирви дозволяє класифікувати режими продувки:

- режим I: захист від атмосферного впливу (відносна глибина вирви $K_B > 0,5$);
- режим II: висока організація потоку для процесів розкислення та рафінування ($0 < K_B \leq 0,5$);
- режим III: режим «пробою» для відпрацювання технології ефективного відсікання шлаку ($K_B < 0$).

Запропоновані експериментальні методики і результати можуть бути використані для оптимізації конструкції випускного каналу конвертера з урахуванням промислових умов.

Перелік використаних джерел:

1. Гичёв Ю. А., Перцевой В. А. Классификация и сравнение способов отсечки шлака при выпуске стали из конвертеров. *Новости науки Приднепровья*. Днепропетровск : НМетАУ, 2008. № 1-2. С. 94-98.
2. Пристрій для відділення металу і шлаку: пат. 36516 Україна: МПК: C21C 5/46. № u200807519; заявл. 02.06.2008; опубл. 27.10.2008, Бюл. №20.
3. Method for tapping molten metal: pat. 03-236414 Japan. № 02-031183; 09.02.1990.
4. Бойченко Б. М., Охотський В. Б., Харлашин П. С. Конвертерне виробництво сталі: теорія, технологія, якість сталі, конструкція агрегатів, рециркуляція матеріалів та екологія: навчальний посібник. Дніпропетровськ : РВА «Дніпро – ВАЛ», 2006. 454 с.
5. Смірнов О. М., Сафонов В. М., Проскурено Д. В., Пісмарьов, К.Є. Особливості перемішування сталі і шлаку в ковші під час продувки аргonom. *Металознавство та обробка металів*. 2009. № 3. С. 25-31.
6. Охотский В. Б. Математическое моделирование удаления газов из стали при продувке в ковшах инертными газами. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2002. № 7. С. 24-28.
7. Совершенствование выпуска стали из конвертера / Кулик А. Д., Кашеев М. А., Похвалитый А. А., Сотниченко С. С. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2013. № 1. С. 18-20.
8. Method for preventing nitrogen absorption of cr-containing molten steel: pat. 2010-138446 Japan. № 2008-315479; 11.12.2008.
9. Еронько С. П., Быковских С. В. Физическое моделирование процессов внепечной обработки и разливки стали. Київ : Техника, 1998. 136 с.
10. Формування газометалевого потоку в умовах «хімічного» вакууму у сталевипускному каналі / А. А. Похвалитий та ін. *Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету (технічні науки)*. Кам'янське: ДДТУ, 2019. Вип. 1(34). С. 3-8. DOI: <https://doi.org/10.31319/2519-2884.34.2019.1>.
11. Повышение эффективности технологии выпуска металла из конвертера. Модель взаимодействия струи с газом в полости летки. Сообщение 1 / А. П. Огурцов та ін. *Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету. Серія: Технічні науки*. 2013. № 3(23). С. 21-26.
12. Дослідження захисної дії аргону в диспергованому потоці при випуску розплаву з конвертера / А. О. Вовк та ін. *Інноваційні технології в науці та освіті. Європейський досвід* : зб. матеріалів VI Міжн. конф., м. Дніпро, 16-18 січня 2024 р. Дніпро : Журфонд, 2024, с. 105-109.

References:

1. Yu.A. Gichev, and V.A. Pertsevov, «Klassifikatsiya i sravneniye sposobov otsechki shlaka pri vypuske stali iz konverterov» [«Classification and comparison of slag cutoff methods during steel tapping from converters»], *Novosti nauki Pridneprov'ya – Dnieper science news*, № 1-2, pp. 94-98, 2008. (Rus.)
2. Yu.O. Hichov, S.V. Bychkov, O.O. Malyk, Yu.I. Zhavoronkov, and V.O. Pertsevyi, «Prystriy dlya viddilennya metalu i shlaku» [«Device for separating metal and slag»], *UA patent 36516 Appl. u200807519*, October 27, 2008. (Ukr.)
3. Sumita Morihiro, «Method for tapping molten metal», *JPN patent 03-236414 Appl. № 02-031183*, 09.02.1990.
4. B.M. Boichenko, V.B. Okhotsky, and P.S. Kharlashin, *Konverterne vyrobnytstvo stali: teoriya, tekhnolohiya, yakist' stali, konstruktsiya ahrehativ, retsyrkulyatsiya materialiv ta ekolohiya: navchal'nyy posibnyk* [Converter steelmaking: theory, technology, steel quality, equipment design, material recycling, and ecology: study guide]. Dnipropetrovsk, Ukraine: RVA «Dnipro – VAL» Publ., 2006. (Ukr.)
5. O.M. Smirnov, V.M. Safonov, D.V. Proskurenko, and K.Ye. Pismaryov, «Osoblyvosti peremishuvannya stali i shlaku v kovshi pid chas produvky arhonom» [«Features of mixing steel and slag in a ladle during argon blowing»], *Metaloznavstvo ta obrobka metaliv – Metal science and metal processing*, № 3, pp. 25-31, 2009. (Ukr.)
6. V.B. Okhotsky, «Matematicheskoye modelirovaniye udaleniya gazov iz stali pri produvke v kovshakh inertnyimi gazami» [«Mathematical modeling of gas removal from steel during inert gas blowing in ladles»], *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost' – Metallurgical and mining industry*, № 7, pp. 24-28, 2002. (Rus.)
7. A.D. Kulik, M.A. Kashcheev, A.A. Pokhvalityi, and S.S. Sotnichenko. «Sovershenstvovaniye vypuska stali iz konvertera» [«Improvement of steel tapping from the converter»], *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost' – Metallurgical and mining industry*, № 1, pp. 18-20, 2013. (Rus.)
8. S. Nishijima, and N. Takeuchi, «Method for preventing nitrogen absorption of cr-containing molten steel», *JPN patent 2010-138446 Appl. № 2008-315479*, 11.12.2008.
9. S.P. Eronko, and S.V. Bykovskikh, *Fizicheskoye modelirovaniye protsessov vnepechnoy obrabotki i razlivki stali* [Physical modeling of out-of-furnace steel treatment and casting processes]. Kyiv, Ukraine: Tekhnika Publ., 1998. (Rus.)
10. A.A. Pohvality, E.M. Sigarev, K.I. Chubin, V.P. Poletaev, and O.V. Pohvalita, «Formuvannya hazometalevoho potoku v umovakh «khimichnoho» vakuumu u stalevypusknomu kanali» [«Formation of gas-metal flow under «chemical» vacuum conditions in the steel tapping channel»], *Zbirnyk naukovykh prats' Dniprovs'koho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu (tekhnichni nauky) – Scientific works collection of Dniprovsk State Technical University (Technical sciences)*, vol. 1(34), pp. 3-8, 2019. doi: 10.31319/2519-2884.34.2019.1. (Ukr.)
11. A.P. Ohurtsov, A.D. Kulyk, M.A. Kashcheev, A.A. Pokhvalyiti, and S.S. Sotnychenko, «Povysheniye effektivnosti tekhnologii vypuska metalla iz konvertera. Model' vzaimodeystviya strui s gazom v polosti letki (Soobshcheniye 1)» [«Improving the technology of metal tapping from the converter. The model of gas-jet interaction in the tuyere cavity (Report 1)»], *Zbirnyk naukovykh prats' Dniprodzerzhyns'koho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu. Seriya: tekhnichni nauky – Scientific works collection of Dniprodzerzhynsk State Technical University. Technical sciences series*, № 3(23), pp. 21-26, 2013. (Rus.)
12. A.O. Vovk, V.V. Braga, Ye.M. Sigarev, A.A. Pokhvalityi, and O.A. Filina, «Doslidzhennya zakhysnoyi diyi arhonu v dysperhovanomu pototsi pry vypusku rozplavu z konvertera» [«Study of argon protective effect in dispersed flow during molten metal tapping from the converter»], in Proc. VI Int. Conf. «Innovative Technologies in Science and Education. European Experience», Dnipro, 2024, pp. 10-109. (Ukr.)

Стаття надійшла 07.11.2024

Стаття прийнята 02.12.2024