

DOI: 10.31319/2519-2884.tm.2024.11

УДК 669.184

Чернятевич А.Г., д.т.н., професор, ORCID: 0000-0002-4552-4997, agchern@ua.fm
Похвалітій А.А., к.т.н., доцент, ORCID:0000-0002-9652-767X, artemmslp@gmail.com
Сігарьов Є.М., д.т.н., професор, ORCID:0000-0002-8229-7877, en_sigarev@ua.fm,
Чубіна О.А., к.т.н., доцент, ORCID: 0000-0003-2213-5013, e-mail: ms.chubina@ukr.net
Кондрашенко Д.С., здобувач третього (доктор філософії) рівня вищої освіти,
ORCID:/0009-0006-6643-417X, e-mail: notfeilordima@gmail.com
Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

Chernyatevich Anatoliy, Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Professor of the Department of Metallurgy
Pokhvalityi Artem, Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate Professor of the Department of Metallurgy
Sigarev Yevhen, Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Head of the Department of Metallurgy
Chubina Olena, Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate Professor of the Department of Metallurgy
Kondrashenkov Dmytro, Postgraduate Student
Dniprovsky State Technical University, Kamianske

ВИКОРИСТАННЯ ПИЛОВУГІЛЬНОГО ПАЛИВА ДЛЯ ПОПЕРЕДНЬОГО ПІДГРІВУ МЕТАЛОБРУХТУ

У роботі розглянуто особливості процесу підігріву металобрухту в конвертерах за допомогою спалювання кускового газового вугілля в атмосфері кисню. Оцінено ефективність використання традиційних та експериментальних технологічних рішень, таких як двоярусні та паливно-кисневі фурми. Досліджено етапи запалювання і горіння кускового вугілля та пиловугільного палива, а також їхній вплив на рівномірність нагрівання брухту. Встановлено оптимальні режими для забезпечення рівномірного нагріву без локального перегріву та оплавлення металобрухту. Отримані результати підтверджують ефективність впровадження паливно-кисневої фурми з використанням пиловугільного палива та вказують на необхідність подальших досліджень для впровадження в промислових умовах.

Ключові слова: конвертер, кисень, газове вугілля, пиловугільне паливо, фурма, металобрухт.

In this study, the peculiarities of the metal scrap heating process in converters through the combustion of lump gas coal in an oxygen atmosphere are examined. The effectiveness of traditional and experimental technological solutions, such as dual-layer and fuel-oxygen lances, is evaluated. The stages of ignition and combustion of lump coal and pulverized fuel are investigated, along with their impact on the uniformity of scrap heating. Optimal modes for ensuring uniform heating without local overheating and melting of metal scrap are established. The results obtained confirm the effectiveness of implementing a fuel-oxygen lance using pulverized fuel and highlight the need for further research for industrial implementation.

Keywords: converter, oxygen, gas coal, pulverised fuelcoal, lance, scrap metal.

Постановка проблеми

Попередній підігрів брухту в конвертері є актуальним напрямом досліджень у сучасній металургії. Зростаючі вимоги до енергоефективності та зменшення витрат на сировину спонукають до розробки нових технологічних рішень для підвищення частки металобрухту в шихті конвертерного виробництва. Традиційні методи часто обмежуються використанням не більше ніж 25 % брухту, що пов'язано з труднощами його рівномірного нагріву та можливим утворен-

ням рідкої фази в результаті локального перегріву. Використання попереднього підігріву брухту дозволяє значно зменшити витрати енергії та покращити якість кінцевого продукту, одночасно знижуючи навантаження на футеровку конвертера і підвищуючи термін його служби. Для переробки більшої кількості розроблені спеціальні технології: К-ОВМ та КМС [1, 2]. Представлені на рис. 1 технологічні рішення для нагрівання брухту в порожнині конвертера не позбавлені недоліків.

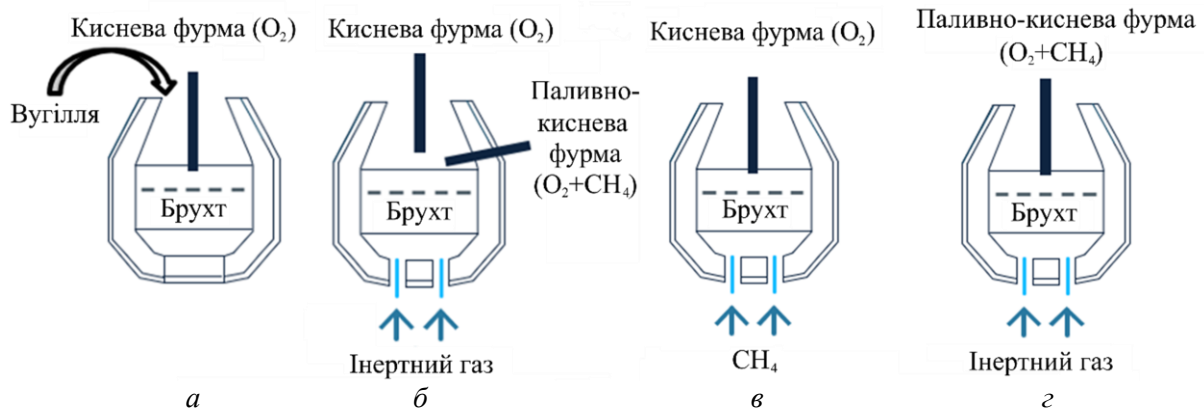


Рис. 1. Варіанти попереднього підігріву металобрухту у робочому просторі кисневого конвертера [3]

Використання кускового вугілля (рис. 1, *a*) має певні переваги з точки зору простоти організації, але має й певні недоліки (наявність визначеної температурної межі для гарантованого запалювання присадженого вугілля, визначеного типу та фракційного складу вугілля, необхідність контролю за температурою металобрухту після підігріву, нерівномірність підігріву на різних горизонтах шару металобрухту та т. ін.). Тривалість операції підігріву при 30—32 % брухту у шихті становить 4—6 хв [4].

Як відомо, процес горіння твердого палива розділений на такі стадії:

1. Підігрів та підсушування палива. Волога, що міститься у паливі, випаровується під впливом підвищення температури.
2. Пірогенний розклад. У цьому процесі відбувається розкладання палива з виділенням легких складових C_mH_n і утворенням коксового залишку.
3. Горіння легких. Виділені легкі складові згорають, сприяючи подальшому підвищенню температури.
4. Горіння коксового залишку. Остання стадія, на якій згорає утворений коксовий залишок, забезпечуючи максимальне виділення тепла.

Використання паливно-кисневої фурми, що введена крізь сталевипускний отвір (рис. 1, *б*), при 30 % брухту у шихті складає до 15 хв. Внаслідок підігріву поверхня брухту розплавляється, а нижні шари залишаються холодними, що може призвести до нерівномірного розігріву та зниження ефективності процесу.

Подача природного газу крізь донні фурми (рис. 1, *в*) обмежена максимальною витратою газу. Необхідна витрата газу складає 10—20 nm^3/t , при цьому існують обмеження пропускної здатності, наприклад, пористих пробок, у 0,1 $nm^3/хв$. Це обмежує можливість швидкого та ефективного підігріву металобрухту.

Використання паливно-кисневої фурми-пальника замість кисневої фурми (рис. 1, *з*) є більш ефективним, але також вимагає 10—15 хв. для підігріву 30 % брухту у металошихті. Хоча цей метод дозволяє досягти більш рівномірного підігріву, все ж таки він не позбавлений певних недоліків.

Крім того, до недоліків технології попереднього підігріву брухту можна віднести: прискорене зношення футерівки конвертера внаслідок локального перегрівання її поверхні струме-

нями кисню, що відбиваються від шихти, а також реакції периклазовуглецевих вогнетривів з оксидами заліза, що утворюються на поверхні брухту під час нагріву; підвищення небезпеки викидів розплаву чавуну при його заливанні на переокиснений брухт; небезпеку підвищення вмісту водню у сталі, що може негативно вплинути на її якість.

У зв'язку з цим важливо розробити технологічні прийоми, які забезпечують рівномірність спалювання кускового вугілля і нагрівання брухту, виключають локальний перегрів і оплавлення (з утворенням рідкої складової), а також зменшують знос футерівки від впливу відбитих від поверхні брухту кисневих струменів. Це сприятиме безпечному заливанню рідкого чавуну в конвертер.

Таким чином, вивчення особливостей запалювання та горіння вугілля у робочому просторі конвертера під час попереднього підігріву металобрухту (як такі, що визначають тривалість, якість розігріву металобрухту та ефективність використання вугілля) за варіантом а, рис. 1, є актуальним завданням. Це дозволить оптимізувати процеси попереднього підігріву та покращити ефективність використання ресурсів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Аналіз штатної технології попереднього нагрівання металобрухту в 250-т конвертерах із використанням кускового вугілля.

Плавки з попереднім підігрівом металобрухту в 250-тонних конвертерах конвертерного цеху металургійного підприємства під час проведення досліджень характеризувалися такими показниками (табл. 1). Орієнтовний теоретичний розрахунок питомих витрат газоподібного кисню, що є достатнім для повного спалювання 1 кг газового вугілля (яке містить 72 % вуглецю) за реакцією $C+O_2 = CO_2$ складає $1,34 \text{ м}^3$, без урахування спалювання легких складових C_mH_n вугілля.

Таблиця 1. Показники дослідних конвертерних плавок з попереднім підігрівом металобрухту

Показники плавки	Номери плавок								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Брухт, т	67,9	70,5	66,9	65,0	66,0	63,5	68,0	74,4	69,9
Чавун, т	209,4	209,8	215,6	201,8	214,0	207,4	207,2	204,4	195,4
Металошихта (брухт+чавун), т	277,3	280,3	282,5	266,8	280,0	270,9	275,2	278,8	265,3
$T_{\text{чав}}, ^\circ\text{C}$	1305	1302	1275	1296	1279	1283	1310	1304	1316
Частка брухту, %	24,5	25,1	23,7	24,4	23,6	23,4	24,7	26,7	26,4
Витрата газового вугілля, т	1,66	1,58	2,18	1,65	2,02	1,62	0,7	1,13	0,77
Витрата вугілля, кг/т брухту	22,4	22,4	32,6	25,4	30,6	25,5	10,3	15,2	11,0
Час нагріву брухту, хв	6	5	6	6	5	6	4	4	3
Витрата кисню на нагрівання брухту, м^3	3529	3333	3433	3589	2989	3507	2290	2555	2200
Витрата кисню, $\text{м}^3/\text{т}$ брухту	51,97	47,27	51,31	55,21	45,28	55,22	33,71	34,34	31,47
Витрата кисню, $\text{м}^3/\text{кг}$ вугілля	2,13	2,11	1,57	2,18	1,48	2,16	3,27	2,26	2,86

Показники фактичної витрати кисню на нагрівання металевго брухту при використанні штатної технології (табл. 1) у конвертерному цеху металургійного підприємства коливаються в межах $1,48\text{—}2,86 \text{ м}^3$ на 1 кг вугілля. Це свідчить про наявність непродуктивних витрат кисню, який вдувають під час нагріву брухту, з втратами в газову фазу. Такі втрати вказують на недос-

коналість технологічного режиму попереднього підігріву брухту в конвертері шляхом спалювання кускового газового вугілля [5, 6].

Формулювання мети дослідження

Метою дослідження є визначення найбільш ефективних способів запалювання вугілля під час попереднього підігріву металобрухту. Зокрема, мета полягає у вивченні впливу варіювання параметрів введення вугілля та режимів продувки киснем на процес запалювання.

Виклад основного матеріалу

Для дослідження особливостей запалювання та горіння кускового газового вугілля, а також характеру нагрівання металобрухту при спалюванні вугілля, завантаженого на поверхню брухту, за рахунок верхньої подачі кисню та нагрівання брухту за допомогою паливно-кисневих струменів, використовували 80-кг високотемпературну модель конвертера в умовах лабораторії «Металургії сталі» кафедри металургії ДДТУ (рис. 2) [7].

Розігрів футерівки конвертера до температури її поверхні у 800—850 °С забезпечували спалюванням попередньо завантаженого коксу з вдуванням компресорного повітря крізь сопла верхньої 4-х соплової фурми (рис. 2, а).

Під час проведення порівняльних плавок, після завантаження брухту в конвертер, організовували подачу газового вугілля фракцією 15—25 мм таким чином, щоб більша його частина (70—80 %) зосереджувалася на поверхні та в шарі брухту, а решта — в контакті із вогнетривкою футерівкою.

Для цих досліджень використовували металобрухт як легковаговий, так і великоваговий, зі зменшеними розмірами фракцій, відповідно до зменшеного обсягу робочого простору 80-кг моделі конвертера. Це дозволяло дослідити процеси нагрівання та горіння в умовах, наближених до реальних, з можливістю контролю та регулювання параметрів для виявлення оптимальних умов спалювання вугілля та рівномірного нагрівання брухту.

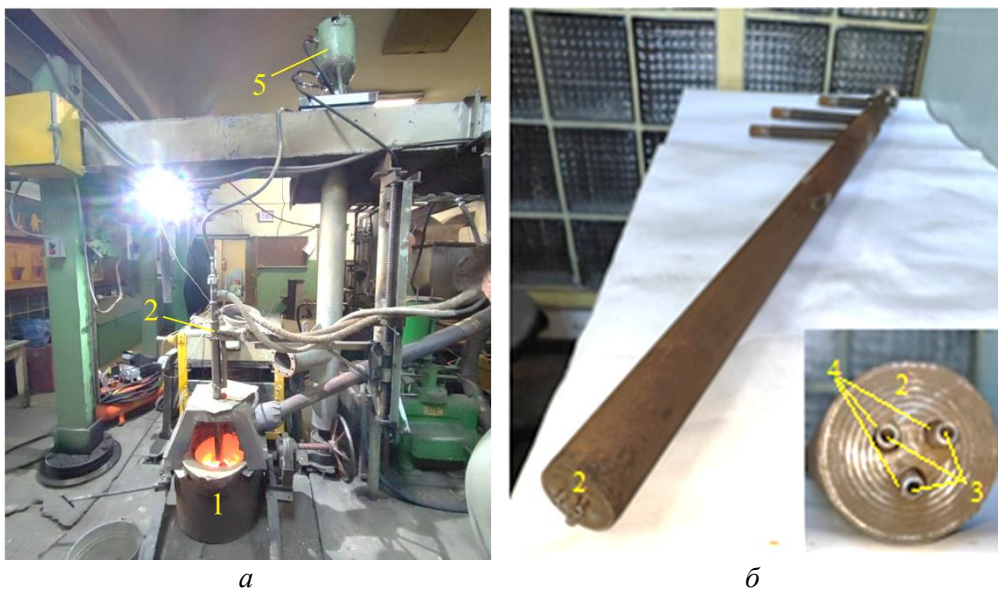


Рис. 2. Установа високотемпературного моделювання процесу підігріву металобрухту перед заливанням рідкого чавуну (а) з використанням паливно-кисневої фурми (б): 1 — модель конвертера; 2 — верхня киснева (або паливно-киснева) фурма; 3 — паливні сопла; 4 — кисневі сопла; 5 — паливний живильник.

Після завершення завантаження брухту в конвертер та подачі газового вугілля, його спалювали киснем, що подавався крізь 4-х соплову верхню кисневу фурму (рис. 2, б).

На другому етапі досліджень, крім 4-х соплової кисневої фурми, використовували для попереднього підігріву брухту двоярусну кисневу фурму, що містить у наконечнику 4 сопла

Лавалю та 8 циліндричних сопел у верхньому ярусі, із забезпеченням незалежної регульованої подачі кисню на групі сопел у наконечнику та у верхньому ярусі.

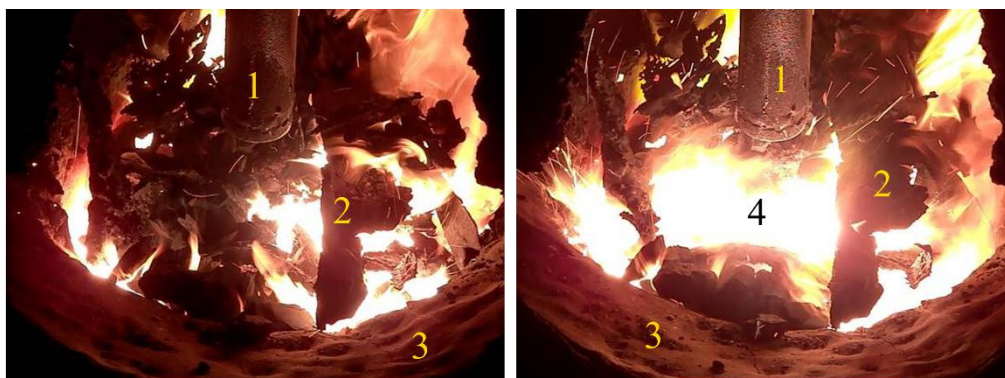
На завершальному етапі досліджень для підігріву металобрухту застосовували авторську конструкцію 3-х соплової паливно-кисневої фурми. Її наконечник містив 3 сопла типу «труба в трубі» для подачі пиловугільного палива в кільцевій оболонці кисню.

Перебіг процесів нагрівання брухту, включаючи утворення рідкої складової, фіксували високошвидкісною відеокамерою «Casio Exilim». Під час вдування кисню вимірювали температуру поверхонь футерівки та металобрухту за допомогою пірометра «Смотрич 5П».

Очікувалося, що при контакті газового вугілля з гарячою футерівкою конвертера відбудеться інтенсивне виділення газових складових вугілля C_mH_n , що сприятиме швидкому займанню всієї маси вугілля та регулюванню його горіння за допомогою інтенсивності подачі кисню. Однак цього не спостерігалось, оскільки процесу пірогенного розкладання газового вугілля з виділенням летких C_mH_n передував період підігріву та підсушування палива.

Через 20—30 с після початку подачі кисню крізь 4-х соплову верхню фурму отримували розвиток процесу виділення газових складових вугілля, залучення незначного обсягу C_mH_n у кисневі струмені із утворенням окислювальних факелів, що впливають на обмежену поверхню завантаженого брухту та вугілля (рис. 3). Це сприяло інтенсивному розвитку горіння вугілля в кисневій атмосфері виключно в межах підфурменої зони з подальшим периферійним поширенням фронту горіння до стін конвертера з втратою частини кисню в газову фазу через відбиті від поверхні брухту струмені.

Недостатня ефективність штатної технології спалювання кускового газового вугілля для нагрівання металобрухту з використанням подачі кисню крізь 4-х соплову фурму підтвердилася впродовж експериментів з нагріванням брухту шляхом спалювання газового вугілля киснем, що подавали крізь двохярусну фурму. У цьому випадку було зафіксовано утворення факелів від допалювання СО відхідних газів до CO_2 у кисневих струменях, що витікали із сопел верхнього ярусу фурми (рис. 4). Нагрівання підготовленого брухту відбувалося нерівномірно через його неоднорідність (важковаговий, легковаговий), особливо при порційних присадках кускового вугілля під час подачі кисню. Це було пов'язано з обмеженою можливістю рівномірного розосередження присадок вугілля та осередків горіння в шарі брухту.



a

б

Рис. 3. Фрагменти з відеоряду, що відображають етапи запалення газового вугілля розміщеного на поверхні металобрухту киснем, що вдувають крізь сопла 4-х соплової верхньої фурми: *a* — початок процесу; *б* — розвиток процесу спалювання вугілля та виділення летких; 1 — фурма; 2 — брухт; 3 — футерівка конвертера; 4 — підфурмена зона

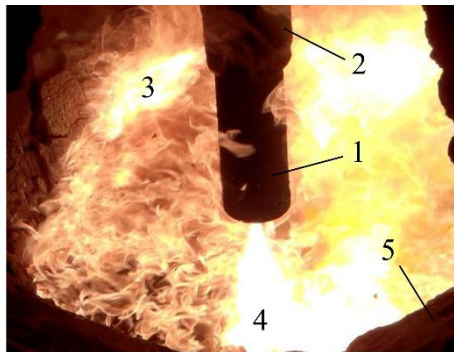


Рис. 4. Картина допалювання СО відхідних газів при використанні двоярусної кисневої фурми для підігріву металобрухту: 1 — нижній ярус фурми; 2 — верхній ярус фурми; 3 — факели допалювання СО до CO_2 ; 4 — факел нижнього ярусу; 5 — футерівка конвертера

На наступному етапі досліджень для нагріву металевго брухту використовували лабораторну паливно-кисневу фурму спеціальної конструкції [8], яка передбачає використання пиловугільного палива (ПВП) (рис. 2, б). ПВП подавалося з витратою 0,4—0,5 кг/хв у потоці азоту або повітря (0,15—0,20 м³/хв) через центральні циліндричні сопла діаметром 3,0 мм. Кисень подавався з витратою 0,25—0,39 м³/хв через кільцеві щілини шириною 2 мм між трубами.

Під час використання паливно-кисневої конструкції фурми були виявлені наступні особливості нагрівання металобрухту з використанням пиловугільного палива, яке вдували у кільцевій оболонці кисню (рис. 5):

- При спалюванні вугільного пилу в кисневому середовищі, через значну сумарну поверхню вугільних частинок, основна маса летких C_mH_n не встигає виділитися до початку займання частинок, і вуглець горить з такою ж швидкістю, як і леткі. Це сприяє формуванню високотемпературних факелів з великою світимістю, які ефективно впливають на поверхню брухту.
- Коефіцієнт використання кисню, що вдувається, і пиловугільного палива суттєво вищий, ніж при використанні кускового газового вугілля протягом нагрівання будь-якої тривалості. Це обумовлено більшою світимістю утворених факелів, що сприяє інтенсивному поглинанню теплової енергії поверхнею брухту.
- Скорочується час, необхідний для нагрівання поверхні металобрухту до заданої температури, що дозволяє уникнути утворення рідкої складової, яка може призвести до небажаних наслідків, таких як нерівномірний нагрів або пошкодження футерівки конвертера.

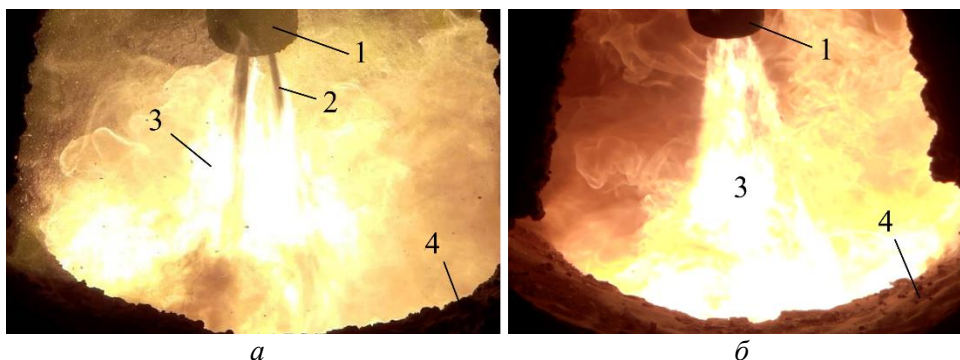


Рис. 5. Фрагменти з відеоряду, що відображають стадії підігріву металобрухту за рахунок подачі пиловугільного палива у потоці кисню крізь сопла типу «труба в трубі» верхньої фурми: а — початок процесу запалювання пиловугільного палива; б — розвиток процесу горіння пиловугільного палива та виділення летких; 1 — паливно-киснева фурма; 2 — струмені пиловугільного палива; 3 — полум'я від горіння ПВП; 4 — футерівка конвертера

На початку вдування частинки вугільного пилу нагріваються до температури запалювання. Це відбувається за рахунок теплопередачі випромінюванням від нагрітої футеровки конвертера. На першому етапі нагріваються крайові області струменю ПВП через недостатнє перемішування з киснем кільцевої оболонки. В подальшому з підвищенням температури горіння формуються високотемпературні (до 2000 °С) факели, що діють на поверхню металевго брукхту.

За результатами експериментальних досліджень встановлено залежність між питомою витратою кисню та температурою факела, що наочно продемонстровано на рис. 6. Виконані підстановки та розрахунки для досліджуваного діапазону витрат дозволили отримати емпіричну залежність температури факела від витрати кисню та пиловугільного палива, що може бути використана для подальшої оптимізації процесу.

$$T_{\text{ф}} = 152,96Q_{\text{пит}}^2 + 267,82Q_{\text{пит}} + 656,61,$$

де $T_{\text{ф}}$ — температура факела, °С; $Q_{\text{пит}}$ — питома витрата кисню, м³/кг ПВП.

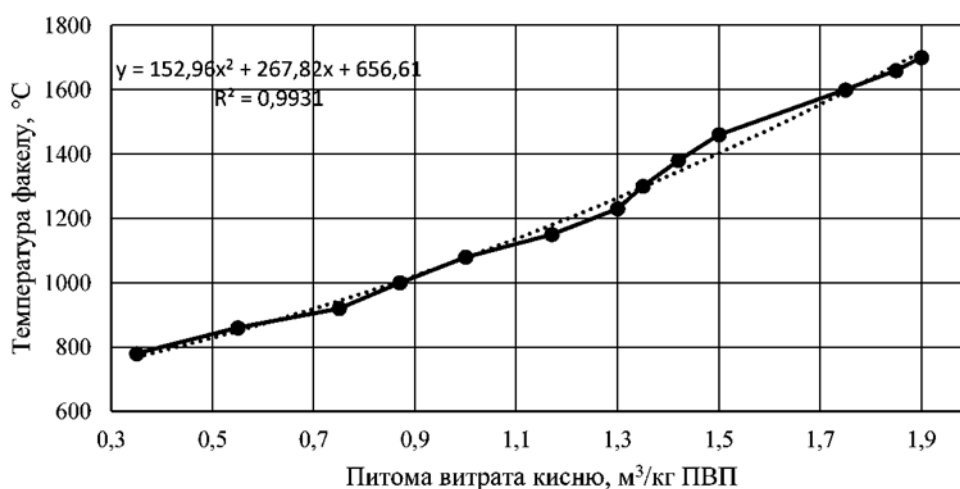


Рис. 6. Вплив питомої витрати кисню на температуру факела ПВП

Аналізуючи рисунок можна зробити висновок, що при питомій витраті кисню в межах 1—1,35 м³/кг ПВП створюються найбільш оптимальні умови для рівномірного прогрівання металобрукхту без ризику оплавлення верхніх шарів. Можливість регулювання температурних режимів під час підігрівання металобрукхту свідчить про перспективність цього підходу та вимагає подальших досліджень для його промислового впровадження.

Таким чином, застосування нетрадиційних конструкцій наконечників кисневих фурм, наприклад таких, що містять три сопла Лавалю та три циліндричних, запропонованих авторами [9] для попереднього нагріву металобрукхту у 250-т конвертерах у режимах спалювання кускового вугілля кисневими струменями, сприятиме підвищенню енергоефективності операції за рахунок збільшення ступеня використання присадженого палива.

Висновки

Штатна технологія нагрівання металобрукхту спалюванням кускового газового вугілля має низьку ефективність через нерівномірне горіння та нагрівання. Лабораторні дослідження з використанням паливно-кисневої фурми з ПВП показало кращу ефективність завдяки рівномірному горінню та швидшому нагріванню брукхту. Скорочується час, необхідний для нагрівання поверхні металобрукхту до заданої температури, що дозволяє уникнути утворення рідкої складової, яка може призвести до небажаних наслідків, таких як нерівномірний нагрів або пошкодження футерівки конвертера. Експериментальні дослідження показали, що при питомій витраті кисню в межах 1—1,35 м³/кг ПВП забезпечується рівномірний прогрів металобрукхту без ризику оплавлення верхніх шарів. Можливість контролю температурного режиму під час підігріву металобрукхту вказує на перспективність використання паливно-кисневої фурми з ПВП для оптимізації процесу

конвертерного виробництва. Для повної реалізації технології необхідні додаткові дослідження та промислове випробування з метою оптимізації процесів і підвищення ефективності виробництва.

Список використаної літератури

1. Fritz E., Pirklbauer W., Zechner R., Zhai Y. The K-OMB and KMS converter – for the flexible production of carbon and stainless steels and ferro-alloys. *Steel times international*, September 1997, pp. 364—367.
2. Naoki Kikuchi. Development and Prospects of Refining Techniques in Steelmaking Process. *ISIJ International*, 2020. vol. 60. № 12. pp. 2700—2712.
3. Lytvyniuk Y., Van den Berg B., Skoriansz M. Increased scrap utilization in converter steelmaking // *9th EOSC European Oxygen Steelmaking Conference 2022*. (17—21 October 2022, Aachen – Germany). URL: https://www.researchgate.net/publication/371138707_Increased_scrap_utilization_in_the_converter_steelmaking
4. Nagumanov R., Protopopov E., Chernyatevich A. Modeling results for preheating of scrap by means of coal pieces in a converter. *Steel in Translation*, 2011. vol. 41. № 4. pp. 301—306.
5. Сігарьов Є.М., Лобанов Ю.С., Похвалітій А.А. Дослідження впливу конструкції наконечника фурми на показники конвертерної плавки з попереднім підігрівом металобрухту. *Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету (технічні науки)*. Кам'янське: ДДТУ. 2021. вип.1(38). С. 33—38.
6. Похвалітій А.А., Сігарьов Є.М., Чубін К.І., Лобанов Ю.С., Якунін П.А. Особливості визначення конструкції наконечників кисневих фурм в нестационарних умовах конвертерної плавки з попереднім підігрівом металобрухту. *Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету (технічні науки)*. Кам'янське, 2021. №2(39). С. 27—32.
7. Чернятевич А.Г., Сігарьов Є.М., Молчанов Л.С., Похвалітій А.А., Кондрашенков Д.С. Установка високотемпературного моделювання нагріву металевго брухту в конвертері. *Матеріали XX Міжнародної науково-практичної конференції «Литво. Металургія. 2024»* (28—30 травня 2024 р., м. Харків – м. Київ). Харків: НТУ «ХПІ», 2024. С. 505—507.
8. Чернятевич А.Г., Сігарьов Є.М., Молчанов Л.С., Похвалітій А.А., Кондрашенков Д.С., Чубіна О.А. Відеофіксація фізико-хімічних процесів в порожнині конвертера під час нагріву металевго брухту. *Матеріали XX Міжнародної науково-практичної конференції «Литво. Металургія. 2024»* (28—30 травня 2024 р., м. Харків – м. Київ). Харків: НТУ «ХПІ», 2024. С. 507—511.
9. Особливості визначення конструкції наконечників кисневих фурм в нестационарних умовах конвертерної плавки з попереднім підігрівом металобрухту / А.А. Похвалітій, Є.М. Сігарьов, К.І. Чубін та ін. // *Зб. наукових праць ДДТУ (технічні науки)*. 2021, вип.2 (39). С. 9—14.

USE OF PULVERIZED COAL FUEL FOR PREHEATING SCRAP

Abstract

Preheating of scrap in the converter is an actual area of research in modern metallurgy. The growing requirements for energy efficiency and the reduction of raw material costs encourage the development of new technological solutions to increase the share of scrap metal in the charge of converter production. Traditional methods are often limited to the use of no more than 25 % of scrap, which is associated with difficulties in its uniform heating and the possible formation of a liquid phase as a result of local overheating. The work evaluates the effectiveness of traditional and experimental technological solutions, such as two-tier and fuel-oxygen nozzles. The stages of ignition and burning of lump coal and pulverized coal fuel and their influence on the uniformity of scrap heating were studied. Experimental studies have shown that with a specific oxygen consumption of 1—1.35 m³/kg of pulverized coal fuel, uniform heating of scrap metal is ensured without the risk of melting the upper layers. During the use of a fuel-oxygen lance, the following features of heating scrap metal using pulverized coal fuel, which was blown in an oxygen ring shell, were discovered: — during the combustion of coal dust in an oxygen environment, due to the significant total surface of coal particles, the bulk of volatile C_mH_n does not have time to separate before the beginning particle ignition, and carbon

burns at the same rate as volatiles. This contributes to the formation of high-temperature torches with great luminosity, which effectively affect the surface of the scrap; — the coefficient of use of blown oxygen and pulverized coal fuel is significantly higher than when using lump gas coal during heating of any duration. This is due to the greater luminosity of the formed torches, which contributes to the intensive absorption of thermal energy by the surface of the scrap; — the time required to heat the surface of the scrap metal to the specified temperature is reduced, which allows you to avoid the formation of a liquid component that can lead to undesirable consequences, such as uneven heating or damage to the converter lining. Based on the results of experimental studies, the relationship between the specific oxygen consumption and the flame temperature was established. The ability to control the temperature regime during the heating of scrap metal indicates the prospects of using a fuel-oxygen nozzle made of PVP to optimize the converter production process. For the full implementation of the technology, additional research and industrial testing are needed to optimize processes and increase production efficiency.

References

- [1] E. Fritz, W. Pirklbauer, R. Zechner and Y. Zhai. (1997). The K-OMB and KMS converter – for the flexible production of carbon and stainless steels and ferro-alloys. *Steel times international*.
- [2] Naoki Kikuchi. (2020). Development and Prospects of Refining Techniques in Steelmaking Process. *ISIJ International*. Vol. 60. № 12. P. 2700—2712.
- [3] Lytvynuk Y., Van den Berg B., Skorianz M. (2022). Increased scrap utilization in converter steelmaking. *9th EOSC European Oxygen Steelmaking Conference. Aachen – Germany*. URL: https://www.researchgate.net/publication/371138707_Increased_scrap_utilization_in_the_converter_steelmaking.
- [4] Nagumanov R., Protopopov E., Chernyatevich A. (2011) Modeling results for preheating of scrap by means of coal pieces in a converter. *Steel in Translation*. Vol. 41. № 4. P. 301—306.
- [5] Sigarev E. M., Lobanov Yu.S., Pokhvalityi A.A. (2021) Doslidzhennya vplyvu konstruktsiyi nakonechnykh furmy na pokaznyky konverternoyi plavky z poperednim pidihrivom metalobrukhtu. [Study of the influence of lance tip design on the performance of converter melting with preheating of scrap metal]. *Collection of scholarly papers of Dniprovsk State Technical University (Technical Sciences)*. Vol.1(38). P 33—38. [In Ukrainian].
- [6] Pokhvalityi A.A., Sigarev E. M., Chubin K.I, Lobanov Yu.S., Yakunin P.A. (2021) Osoblyvosti vyznachennya konstruktsiyi nakonechnykh kysnevnykh furm v nestatsionarnykh umovakh konverternoyi plavky z poperednim pidihrivom metalobrukhtu [Peculiarities of determining the design of oxygen lance tips in non-stationary conditions of converter melting with preheating of scrap metal]. *Collection of scholarly papers of Dniprovsk State Technical University (Technical Sciences)*. Vol.2(39). P. 27—32. [In Ukrainian].
- [7] Chernyatevich A.G., Sigarev E.M., Molchanov L.S., Pokhvalityi A.A., Kondrashenkov D.S. (2024) Ustanovka vysokotemperaturnoho modelyuvannya nahrivu metalevoho brukhtu v konverteri. [Setup of high-temperature modeling of scrap metal heating in the converter]. *Proceedings of the XX International Scientific and Practical Conference «Casting. Metallurgy 2024»*. Kharkiv. P. 505—507. [in Ukrainian]
- [8] Chernyatevich A.G., Sigarev E.M., Molchanov L.S., Pokhvalityi A.A., Kondrashenkov D.S., Chubina O.A. (2024). Videofiksatsiya fizyko-khimichnykh protsesiv v porozhnyni konvertera pid chas nahrivu metalevoho brukhtu. [Video recording of physical and chemical processes in the converter cavity during the heating of metal scrap]. *Proceedings of the XX International Scientific and Practical Conference «Casting. Metallurgy 2024»*. Kharkiv. P. 507—511. [In Ukrainian].
- [9] Pokhvalityi A.A., Sigarev E.M., Chubin K.I. et. al. (2021). Osoblyvosti vyznachennya konstruktsiyi nakonechnykh kysnevnykh furm v nestatsionarnykh umovakh konverternoyi plavky z poperednim pidihrivom metalobrukhtu [Features of determining the design of oxygen lance tips in non-stationary conditions of converter melting with preheating of scrap metal]. *Collection of scientific works of DSTU (technical sciences)*. Vol.2 (39). P. 9—14. [In Ukrainian]