

DOI: 10.31319/2519-2884.43.2023.3

УДК 669.162

Молчанов Л.С.¹, к.т.н., ORCID: 0000-0001-6139-5956, e-mail: metall729321@gmail.com

Кисляков В.Г.¹, к.т.н., ORCID: 0000-0002-1775-5050, e-mail: ovoch-isi@outlook.com

Чубін К.І.², к.т.н., доцент., ORCID: 0000-0001-7887-2843, e-mail: ch.konstanta@ukr.net

Похвалітій А.А.², к.т.н., доцент., ORCID: 0000-0001-7887-2843, e-mail: artemmslp@gmail.com

Чубіна О.А.², к.т.н., доцент., ORCID: 0000-0003-2213-5013, e-mail: ms.chubina@ukr.net

¹Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАНУ, м. Дніпро

²Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

Molchanov Lavr, Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Physical and Technical Problems of Steel Metallurgy

Kislyakov Volodymyr, Candidate of Technical Sciences, Head of the Out-of-Furnace Cast Iron Processing Department

Z.I. Nekrasov Iron and Steel Institute, National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro

Chubin Kostyantyn, Candidate of Technical Sciences, Docent of the Department of Metallurgy of Ferrous Metals and Metalworking of Pressure

Pohvalityi Artem, Candidate of Technical Sciences, Docent of the Department of Metallurgy of Ferrous Metals and Metalworking of Pressure

Chubina Olena, Candidate of Technical Sciences, Docent of the Department of Metallurgy of Ferrous Metals and Metalworking of Pressure

Dniprovsky State Technical University, Kamianske

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ПОЗАПІЧНОГО РАФІНУВАННЯ ЧАВУНУ В КОНТЕКСТІ ВІТЧИЗНЯНОГО МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

Метою роботи є встановлення можливостей та особливостей використання різних технологій з позапічної обробки чавуну перед виплавою сталі з урахуванням особливостей вітчизняного металургійного виробництва в сучасних умовах. Виконана загальна класифікація технічних рішень з позапічного рафінування чавуну та зроблено порівняльний аналіз ефективності розглянутих технологій. Виконано інженерні розрахунки з використанням математичних моделей матеріального та теплового балансів конвертерної плавки, адаптованих для 250-т кисневих конвертерів, при використанні верхньої фурми класичної конструкції. Проведено аналіз впливу розглянутих технічних рішень з позапічної обробки чавуну на такі основні технологічні показники конвертерної плавки. Порівняння проводилося відносно до показників базової плавки без використання технологій позапічної обробки розплавів. Підтверджено доцільність використання методів позапічного рафінування на основі інжекції зернистого магнію та сумішею системи CaO-Mg. Стосовно технологій комплексного рафінування визначено, що для вітчизняних умов доцільно розробити технологію, яка передбачає видалення сірки та фосфору з розплаву без суттєвого зниження концентрації кремнію в розплаві.

Ключові слова: рафінування чавуну; шихта; домішки; комплексне рафінування.

The aim of the study is to establish the possibilities and peculiarities of using various technologies for out-of-furnace treatment of cast iron before steelmaking, taking into account the peculiarities of domestic metallurgical production in modern conditions. A general classification of technical solutions for out-of-furnace pig iron refining has been made and a comparative analysis of the efficiency of the technologies under consideration has been performed. Engineering calculations were performed using mathematical models of material and heat balances of converter smelting, adapted for 250-ton oxygen converters, using a top tuyere of classical design. The influence of the considered

technical solutions for out-of-furnace iron treatment on such basic technological indicators of BOF melting was analyzed. The comparison was carried out in relation to the indicators of basic melting without the use of out-of-furnace melt treatment technologies. The expediency of using out-of-furnace refining methods based on the injection of globular magnesium and mixtures of the CaO-Mg system was confirmed. As for the complex refining technologies, it was determined that it is advisable to develop a technology for domestic conditions that provides for the removal of sulfur and phosphorus from the melt without significantly reducing the concentration of silicon in the melt.

Keywords: cast iron refining; charge; impurities; complex refining.

Постановка проблеми

В сучасних умовах вітчизняні металургійні підприємства, а особливо сталеплавильне виробництво в їх складі, зазнають значного негативного впливу дефіциту якісної сировини, відсутності стабільності шихтових матеріалів, що надходять. При цьому в світовій практиці для подолання зазначених проблем використовують технічні рішення, що до позапічної обробки шихтових матеріалів, зокрема й рідкого чавуну. Таким чином, актуальним питанням вітчизняної металургійної науки є встановлення ефективності найбільш розповсюджених методів позапічної обробки чавуну стосовно сучасних реалій існування вітчизняного сталеплавильного виробництва.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

На даний момент операції з позапічної обробки чавуну є обов'язковою складовою виробничого циклу виплавки сталі. Загальна схема класифікації технічних рішень з позапічного рафінування чавуну представлена на рис. 1.

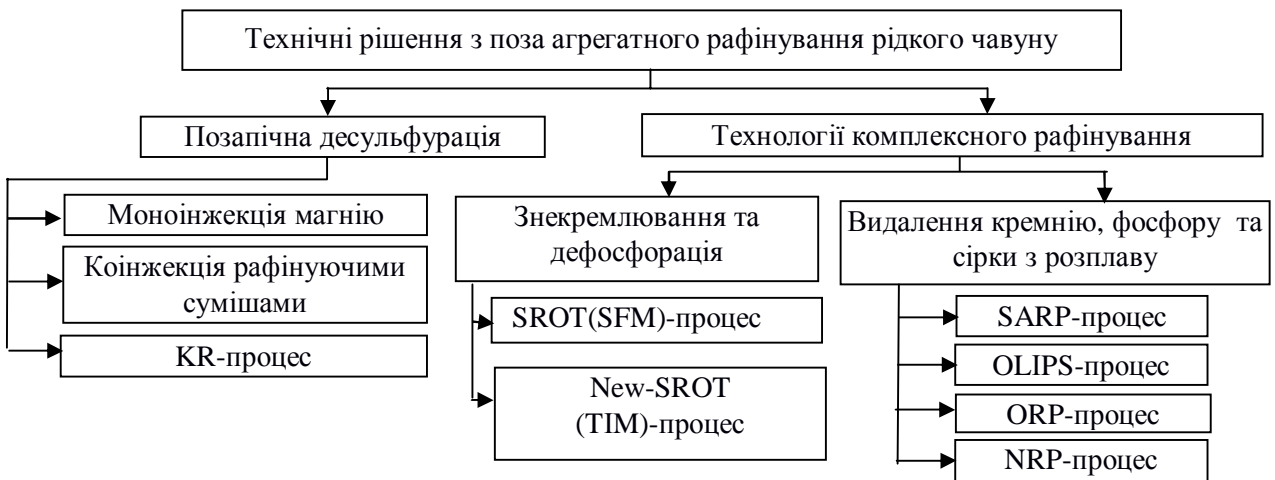


Рис. 1. Загальна схема класифікації технічних рішень з позапічного рафінування чавуну

Серед існуючих технологій позапічного рафінування рідкого чавуну найбільше поширення отримали процеси видалення сірки з розплаву. Це зумовлено, в першу чергу, фізико-хімічними особливостями її видалення, зокрема необхідністю помірно не високих температур розплаву та низької окисленості металевого та шлакових розплавів. Виходячи з наведеного вище можна резюмувати, що здійснення операції десульфурації металевого розплаву на етапі виплавки сталі відрізняється низькою ефективністю. Тому процес рафінування металевого розплаву від сірки здійснюють безпосередньо перед виплавою сталі. На даний момент в світі розповсюджено три технічні рішення з позапічної десульфурації чавуну: за рахунок інжекції зернистого магнію; за рахунок коінжекції сумішей системи CaO – Mg; KR-процес — механічне перемішування металевого розплаву з вапном різної фракції [1].

Враховуючи, що з розвитком металургійних процесів значно проявився дефіцит якісної метало шихти, то у 80-х роках 20 сторіччя, зокрема в Японії, з'явилися технічні рішення що до комплексного рафінування чавуну від домішок, вони передбачали видалення декількох компо-

ментів чавуну [2—4]. Так до найбільш відомих з них відносяться [5]: SROT(SFM)-процес — передбачав послідовне знекремлення та дефосфорацію розплаву на жолобі доменної печі за рахунок введення реагентів на поверхню розплаву; New-SROT (TIM)-процес — також передбачав послідовне знекремлення та дефосфорацію розплаву на жолобі доменної печі, проте реагенти при цьому вводилися у розплав за рахунок інжекції; SARP-процес — послідовне знекремлення та дефосфорація / десульфурація розплаву в ковшах міксерного типу за рахунок інжекції; OLIPS-процес — передбачав здійснення знекремлення на жолобі доменної печі, а дефосфорацію / десульфурацію у плавильному агрегаті спеціальної конструкції; ORP-процес — передбачав знекремлення на жолобі доменної печі, а десульфурацію та дефосфорацію у ковшах міксерного типу за рахунок інжекції вапна та введення окисленого шлаку; NRP-процес — послідовне видалення кремнію на жолобі доменної печі, сірки на установці KR та фосфору за рахунок поверхневого обдуву розплаву киснем при додаванні вапна. Узагальнена інформація про технологічні показники розглянутих процесів представлена у табл. 1.

Таблиця 1. Узагальнені технологічні показники різних процесів позапічної обробки чавуну [1—19]

№	Назва процесу позапічної обробки чавуну	Призначення	Ступінь видалення домішок, %	Зниження температури чавуну при обробці, °C
1	Інжекція зернистого магнію	десульфурація	S = 90 – 95	10 - 15
2	Коінжекції сумішей системи CaO – Mg	десульфурація	S = 85 - 90	15 – 20
3	KR-процес	десульфурація	S = 80	100 - 120
4	SROT(SFM)-процес	знекремлення, дефосфорація	Si = 50 P = 65	170 – 220
5	New-SROT (TIM)-процес	знекремлення, дефосфорація	Si = 65 P = 60	≈80
6	SARP-процес	знекремлення, дефосфорація, десульфурація	Si = 87,5 P = 97 S = 96	125 – 160
7	OLIPS-процес	знекремлення, дефосфорація, десульфурація	Si = 65 P = 62,5 S = 60	45 – 50
8	ORP-процес	знекремлення, дефосфорація, десульфурація	Si = 50 P = 60 S = 60	25 - 30
9	NRP-процес	знекремлення, дефосфорація, десульфурація	Si = 50 P = 65 S = 80	≈40

Формулювання мети дослідження

Метою роботи є встановлення можливостей та особливостей використання різних технологій з позапічної обробки чавуну перед виплавою сталі з урахуванням особливостей вітчизняного металургійного виробництва в сучасних умовах.

Виклад основного матеріалу

Порівняльний аналіз ефективності розглянутих технологій позапічного рафінування рідкого чавуну проводився шляхом порівняння результатів інженерних розрахунків з використанням математичних моделей матеріального та теплового балансів конвертерної плавки, адаптованих для 250-т кисневих конвертерів, при використанні верхньої фурми класичної конструкції. Розрахунки матеріального та теплового балансів конвертерної плавки базувалися на до-

триманні рівнянь матеріального та теплового балансів [20, 21], а загальна схема алгоритму розрахунків представлена на рис. 2.

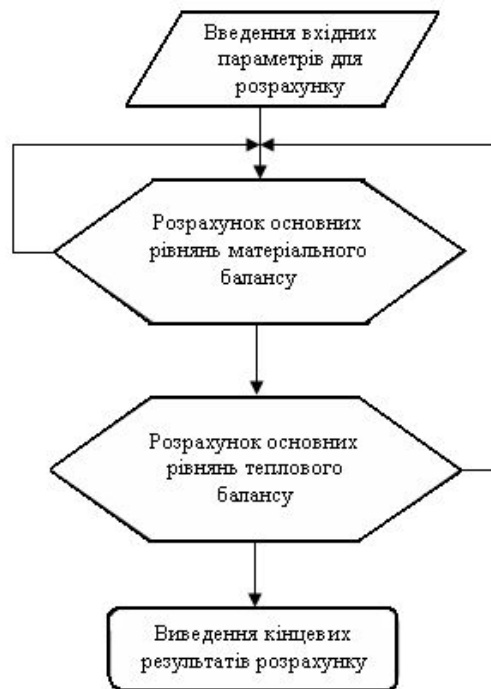


Рис. 2. Загальна схема алгоритму розрахунку матеріального та теплового балансів конвертерної плавки

У якості вихідних параметрів для розрахунків використовувалися наступні виробничі фактори: хімічний склад та температура чавуну і готового залізобуглецевого напівпродукту; хімічний склад металевго скрапу та неметалевих шихтових матеріалів; ступінь чистоти технічного кисню (табл. 2)

Таблиця 2. Вихідні параметри для розрахунково-аналітичної оцінки впливу конструкції кисневої фурми на ефективність виробництва залізобуглецевого напівпродукту в 250-т конвертерах*

№	Параметр	Одиниці виміру	Значення
1	Вміст вуглецю в чавуні / металевому скрапі / залізобуглецевому напівпродукті	%	4,5/0,18/0,12
2	Вміст кремнію в чавуні / металевому скрапі / залізобуглецевому напівпродукті	%	0,67/0,1/0
3	Вміст марганцю в чавуні / металевому скрапі / залізобуглецевому напівпродукті	%	0,32/0,53/0,06
4	Вміст сірки в чавуні / металевому скрапі / залізобуглецевому напівпродукті	%	0,022/0,05/0,022
5	Вміст фосфору в чавуні / металевому скрапі / залізобуглецевому напівпродукті	%	0,05/0,04/0,01

Продовження таблиці 2.

6	Температура рідкого чавуну / залізовуглецевого напівпродукту	°C	1316/1619
7	Забруднення металевого скрапу / вміст міксерного шлаку у чавуні	%	2,2/0,5
8	Ступінь чистоти дуттєвого кисню	%	99,5
9	Вміст CaO у вапні / відношення (CaO/SiO ₂)	%/од.	89/29,7
10	Тип футерівки кисневого конвертера	-	ПВП**
11	Основність конвертерного шлаку	од.	3,3

* — хімічний склад і температуру чавуну вказано без використання технологій позапічного рафінування;

** — периклазовуглецева плавлена (ТУ 26.2-00190503-223-2002)

З метою визначення вірності результатів розрахунків та їх наближення до умов реального виробництва для випадку використання кисневої фурми класичної конструкції проводилося співставлення з результатами фактичного виробництва сталі марки ОС (ДСТУ 4728-96), виробленої відповідно до технологічної інструкції [22] у 250-т кисневих конвертерах. Узагальнені статистичні показники для вказаного випадку представлені у табл. 3.

Таблиця 3. Узагальнені показники виробництва сталі марки ОС (ДСТУ 4728-96) у 250-т кисневих конвертерах з верхньою продувкою***

№	Параметр	Одиниці виміру	Значення
1	Вміст вуглецю в металі на повалці конвертера	%	<u>0,12</u> 0,04 – 0,14
2	Вміст марганцю в металі на повалці конвертера	%	<u>0,10</u> 0,21 – 0,05
3	Вміст фосфору в металі на повалці конвертера	%	<u>0,018</u> 0,010 – 0,038
4	Температура металу на випуску з конвертера	°C	<u>1619</u> 1690 – 1635
5	Вміст сірки в металі на повалці конвертера	%	<u>0,039</u> 0,007 – 0,059
6	Питома витрата металевого скрапу	кг/т сталі	<u>196,2</u> 259,8 – 92,8
7	Питома витрата чавуну	кг/т сталі	<u>822,1</u> 925,7 – 563,5
8	Питома витрата вапна	кг/т сталі	<u>76,8</u> 104,5 – 52,7
9	Питома витрата кисню	м ³ /т сталі	<u>54,4</u> 43,9 – 69,2
10	Вихід придатного рідкої сталі	%	<u>90,1</u> 96,1 – 83,2
11	Вміст кремнію в чавуні	%	<u>0,67</u> 1,18 – 0,33
12	Вміст марганцю в чавуні	%	<u>0,32</u> 0,90 – 0,10
13	Вміст сірки в чавуні	%	<u>0,022</u> 0,061 – 0,010
14	Вміст фосфору в чавуні	%	<u>0,050</u> 0,068 – 0,036

Продовження таблиці 3.

15	Температура чавуну	°С	$\frac{1316}{1395 - 1257}$
16	Основність шлаку	од.	$\frac{3,31}{2,13 - 5,06}$

*** — в чисельнику вказано середнє значення, в знаменнику — діапазон максимального та мінімального

Використовуючи данні представлені в табл. 1 був скорегований хімічний склад та температура чавуну, що використовується у конвертерній плавці відповідно до кожного процесу позапічного рафінування. Порівняння отриманих результатів розрахунків матеріального і теплового балансів конвертерної плавки дозволило проаналізувати вплив розглянутих технічних рішень з позапічної обробки чавуну на основні технологічні показники конвертерної плавки: питома витрата рідкого чавуну, питома витрата вапна та вихід придатного. Співставлення проводилося відносно до показників базової плавки (без використання технологій позапічної обробки розплавів). Результати проведеного аналізу представлені на рис. 3—5.

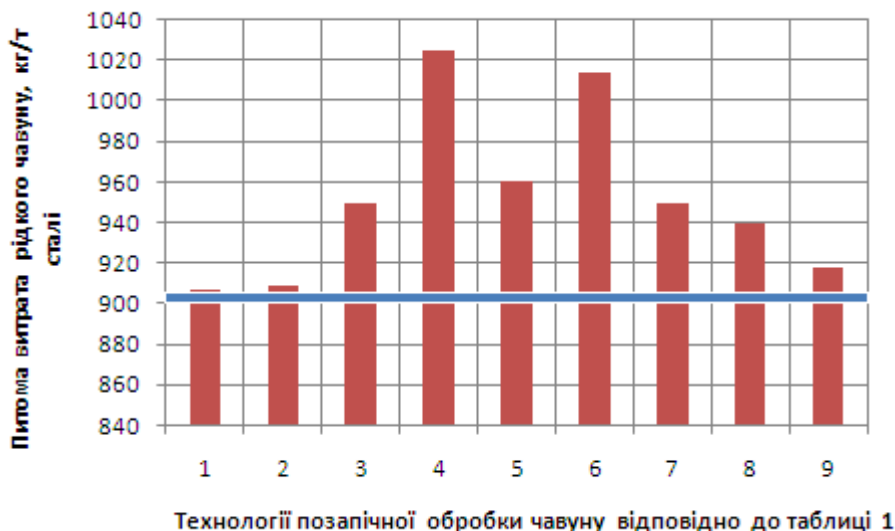


Рис. 3. Зміна питомої витрати чавуну в шихті 250-т конвертера при використанні різних технологій з його позапічної обробки: синя горизонтальна лінія — питома витрата рідкого чавуну без використання методів позапічної обробки чавуну

Відповідно до даних представлених на рис. 3 можна зробити висновок про значне збільшення питомої витрати рідкого чавуну при застосуванні технічних рішень з позапічної його обробки це викликано тим, що в процесі додаткової обробки чавун втрачає фізичну теплоту, а також при видаленні кремнію і фосфору і хімічну.

Проте необхідно відзначити, що за даним параметром лише технології позапічної десульфурзації зернистим магнієм та сумішами системи Mg-CaO є прийнятними для використання в сучасних умовах, що зумовлено особливістю ринку метало шихти, а саме більшою вартістю рідкого чавуну, та складностями з його виробництва в умовах нестабільного постачання енергоресурсів та електроенергії.

Відповідно до даних представлених на рис. 4 можна зробити висновок, що витрата вапна на пряму залежить від кількості кремнію в чавуні й тому при використанні технічних рішень, що включають у свій склад операцію знекремлення витрата вапна відповідно зменшується. Проте, питома витрата вапна не є критичним показником для організації сталеплавильного виробництва в сучасних умовах.

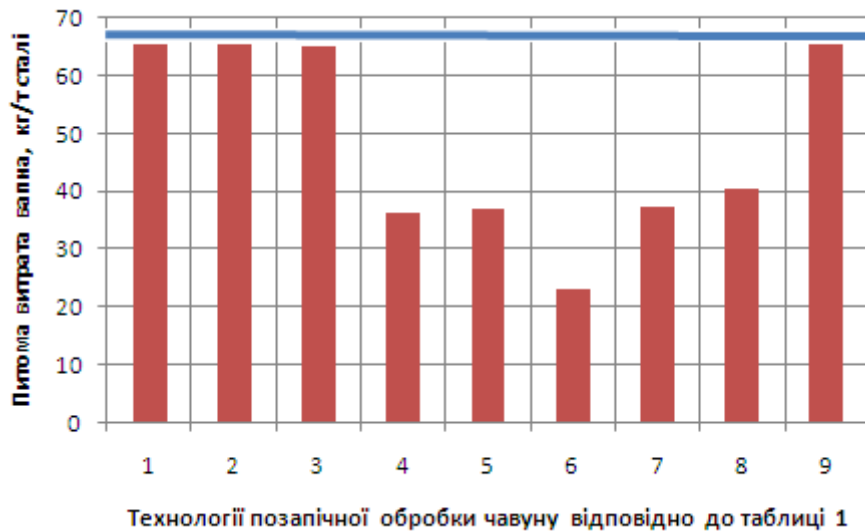


Рис. 4. Зміна питомої витрати вапна в шихті 250-т конвертера при використанні різних технологій з його позапічної обробки: синя горизонтальна лінія — питома витрата рідкого чавуну без використання методів позапічної обробки чавуну

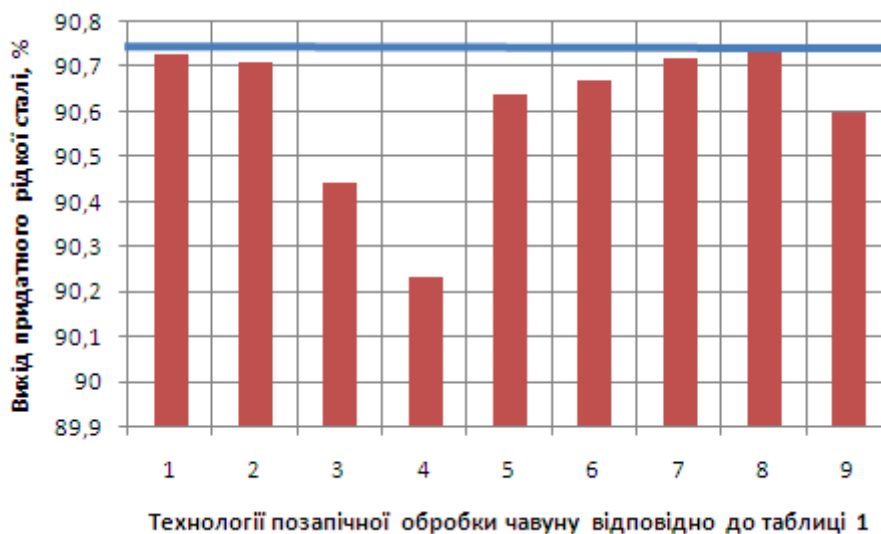


Рис. 5. Зміна виходу придатного залізовуглецевого напівпродукту, що виплавляється у 250-т конвертері при використанні різних технологій з його позапічної обробки: синя горизонтальна лінія — питома витрата рідкого чавуну без використання методів позапічної обробки чавуну

Відповідно до даних представлених на рис. 5 можна зробити висновок, що певні технологічні рішення з позапічної обробки рідкого чавуну (десульфурація чавуну зернистим магнієм та сумішами системи CaO-Mg; OLIPS-процес; ORP-процес) відповідають рівню базової технології за показником виходу придатного рідкої сталі, що робить їх можливим для використання. Це забезпечується за рахунок зниження кількості шлаку, що утворюється на етапі конвертерного виробництва.

Таким чином, необхідно відзначити, що лише технології з позапічної десульфурації рідкого чавуну зернистим магнієм та сумішами системи CaO-Mg відповідають потребам і умовам існування сучасної металургійної промисловості в Україні. Що стосується технологій комплексного рафінування рідкого чавуну, то враховуючи кон'юнктурні особливості ринку металоши-

хти необхідна розробка технології позапічного рафінування, якаб дозволяла проводити десульфурацію та дефосфорацію рідкого чавуну без суттєвого зниження концентрації кремнію. Зазначений аспект дозволить без суттєвої зміни технології зберегти витрати металевого брухту на існуючому рівні.

Висновки

Проаналізовано методи позапічного рафінування рідкого чавуну в контексті використання на вітчизняних металургійних підприємствах в сучасних умовах. Підтверджено доцільність використання методів позапічного рафінування на основі інжекції зернистого магнію та сумішей системи CaO-Mg. При цьому технологія з використанням зернистого магнію приблизно у 1,7 разів менше за витратами у порівнянні з технологією з використанням суміші CaO-Mg [23]. Стосовно технологій комплексного рафінування визначено, що для вітчизняних умов доцільно розробити технологію, яка передбачає видалення сірки та фосфору з розплаву без суттєвого зниження концентрації кремнію в розплаві.

Список використаної літератури

1. Шевченко А.Ф. та ін. Внепечная десульфурация чугуна в ковшах. Технология, исследование, анализ, совершенствование: монографія. Дніпро: Дніпро-VAL. 2017. 252 с.
2. Ueda M., Shiota Y., Yamamoto T. Development of continuous impurity removal process on blast furnace chute (Розвиток процесу безперервного видалення домішок на жолобі доменної печі). Scaninject IV. 4th International Conference on Injection Metallurgy, Lulea, Sweden, June 11–13, 1986, Proceedings.
3. Eawasaki Sh., Aoki M., Kashimori A., Takagi H., Kshiwaku, Onishi T. Dephosphorization and desulfurization in the pretreatment of pig iron (Дефосфорація і десульфурація під час попередньої обробки чавуну). 4th International Conference on Injection Metallurgy, Lulea, Sweden, June 11–13, 1986, Proceedings.
4. Yoshimura M., Yoshikawa S. Production of ultrapure steels and their fatigue properties (Виробництво надчистих сталей та їхні втомні властивості). Scaninject II. 2nd International Conference on Injection Metallurgy, Luleå, Sweden, June 12–13, 1980, Proceedings.
5. Молчанов Л.С., Вакульчук В.В., Кобеляцький О.С. Аналіз сучасних технологій позапічної обробки чавуну. Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра: матеріали XVI Всеукраїнської науково-практичної конференції, Київ, 17 квітня 2018 р. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. С. 273–286.
6. Moriya A., Nagahata T., Ieda K., Ichihara K., Shikawa M. Improvement of steel quality by flux injection (Поліпшення якості сталі інжекцією флюсів) Scaninject IV. 4th International Conference on Injection Metallurgy, Lulea, Sweden, June 11–13, 1986, Proceedings.
7. Elie T, Yida Y. Effect of injection metallurgy on the quality of steel products (Вплив інжекційної металургії на якість сталевих виробів) Scaninject IV. 4th International Conference on Injection Metallurgy, Lulea, Sweden, June 11–13, 1986, Proceedings.
8. Marukawa K, Shiota I, Ikkeshiya K. Effect of injection metallurgy on silicon and phosphorus removal from liquid pig iron (Вплив інжекційної металургії на видалення кремнію і фосфору з рідкого чавуну) Scaninject IV. 4th International Conference on Injection Metallurgy, Lulea, Sweden, June 11–13, 1986, Proceedings.
9. GavriloV, E.E., Burgutin, Y.I., Marder, B.F. Condition of the cooling system and lining of a blast furnace after making 27 million tons of pig iron. Metallurgist 30, 1986, P.107–110
10. Houck, Gerald. "Iron and Steel." From Minerals Yearbook Volume 1. Metals and Minerals. U.S. Bureau of Mines, 1992, P. 642–659.
11. Yamawaki, Hideki. "The Steel Industry." In Industrial Policy of Japan. New York: Academic Press, 1988, P. 281–302.
12. The Iron and Steel Institute of Japan, Volum 25, Number 7, 1985. 656 p.
13. Kikuchi I., Takahashi K., Kawai I., Kawakashi K., Tenma H., Taguchi K. Development of steel ladle dephosphorization process at NKK Company (Розвиток процесу дефосфорації сталі в ко-

- вші на фірмі NKK) Scaninject IV. 4th International Conference on Injection Metallurgy, Lulea, Sweden, June 11–13, 1986, Proceedings.
14. Bloom, T.A.; Fosnacht, D.R.; Haezebrouck, D.M.: Iron and Steelmaker, Vol 17 (1990), P. 35-41.
 15. 1-st European Oxygen Steelmaking Congress. Düsseldorf Neuss; June 21–23, 1993. 24 p.
 16. Turkdogan E.T. Technological improvements in injection metallurgy and ladle metal refining processes in the 80s (Технологічні удосконалення в інжекційній металургії та в процесах рафінування металу в ковші у 80-х роках) Scaninject IV. 4th International Conference on Injection Metallurgy, Lulea, Sweden, June 11–13, 1986, Proceedings.
 17. 8-st European Oxygen Steelmaking Congress. Düsseldorf Neuss; June 20–22, 2001. 32 p.
 18. Masaki Iwasaki, Michitaka Matsuo. Change and Development of Steelmaking Technology (Зміна та розвиток технології виплавки сталі). Nippon steel technical report No. 101 November 2012. P. 89–94.
 19. Masato Kobayashi, Kohichi Isobe, Masayuki Arai. Technical Progress in Steelmaking and Casting for Special Bar and Wire Steel at Muroran Works (Технічний прогрес у виплавці та розливанні спеціальної пруткової та дрової сталі на заводі «Муроран»). Nippon steel technical report No. 104 August 2013. P. 117–122.
 20. Voichenko V.M., Molchanov L.S., Synegin I.V. Comprehensive analysis of technological variants of crude steel production in oxygen blown converters (Комплексний аналіз технологічних варіантів виробництва нерафінованої сталі в конвертерах з кисневим дуттям). The potential of modern science [edited by Babych Mykola Mykolayovich]. London: Sciemsee Publishing. 2019. p.p. 156–169.
 21. Молчанов Л.С., Чернятевич А.Г., Вакульчук В.В., Чубіна О.А. Комплексний техніко-економічний аналіз впливу конструкції верхніх продувальних пристроїв на основні показники виробництва сталі в кисневих конвертерах. Наукові вісті. Сучасні проблеми металургії. № 22. 2019. С. 62–72.
 22. Технологическая инструкция ТИ 230-С320-12 «Выплавка конвертерной стали». – ПАО ДМК: Днепропетровск. 2012. 53 с.
 23. Шевченко А.Ф., Маначин И.А., Двоскин Б.В., Башмаков А.М., Кисляков В.Г., Шевченко С.А. Оценка и промышленная проверка показателей процессов ковшевой десульфурации. Республиканский журнал «Вестник Карагандинского государственного индустриального университета» (вестник КГИУ), г. Темиртау, Казахстан, 2022. № 3 (38). С. 12–28.

PROSPECTS FOR THE USE OF OUT-OF-FURNACE CAST IRON REFINING TECHNOLOGIES IN THE CONTEXT OF DOMESTIC METALLURGICAL PRODUCTION

Abstract

In today's environment, domestic steelmaking enterprises, and especially steelmaking within them, are experiencing a significant negative impact from the shortage of high-quality raw materials and the lack of stability of incoming charge materials. At the same time, in order to overcome these problems, technical solutions are used in the world practice for out-of-furnace treatment of charge materials, including liquid iron. Thus, an urgent issue of domestic metallurgical science is to determine the effectiveness of the most common methods of out-of-furnace pig iron treatment in relation to the current realities of domestic steelmaking.

A general classification of technical solutions for out-of-furnace pig iron refining has been made and a comparative analysis of the efficiency of the technologies under consideration has been performed. Engineering calculations were performed using mathematical models of material and heat balances of converter smelting, adapted for 250-ton oxygen converters, using a top tuyere of classical design. The influence of the considered technical solutions for out-of-furnace iron treatment on such basic technological indicators of BOF melting as specific consumption of liquid iron, specific consumption of lime, and yield of usable iron was analyzed. The comparison was carried out in relation to the indicators of basic melting without the use of out-of-furnace melt treatment technologies. The ex-

pediency of using out-of-furnace refining methods based on the injection of globular magnesium and mixtures of the CaO-Mg system was confirmed. As for the complex refining technologies, it was determined that it is advisable to develop a technology for domestic conditions that provides for the removal of sulfur and phosphorus from the melt without significantly reducing the concentration of silicon in the melt.

References

- [1] Shevchenko A. F. and etc. (2017) *Vnepechnaya desulfuraciya chuguna v kovshah. Tekhnologiya, issledovaniya, analiz, sovershenstvovanie [Out-of-furnace desulphurization of cast iron in ladles. Technology, research, analysis, improvement]: monografiya. Dnipro: Dnipro-VAL.. 252 p. [in Ukrainian].*
- [2] Ueda M., Shiota Y., Yamamota T. (1986) *Development of continuous impurity removal process on blast furnace chute* Scaninject IV. 4th International Conference on Injection Metallurgy, Lulea, Sweden, June 11–13, Proceedings [in English].
- [3] Eawasaki Sh., Aoki M., Kashimori A., Takagi H., Kshiwaku, Onishi T. (1986) *Dephosphorization and desulfurization in the pretreatment of pig iron.* 4th International Conference on Injection Metallurgy, Lulea, Sweden, June 11–13, Proceedings [in English].
- [4] Yoshimura M., Yoshikawa S. (1980) *Production of ultrapure steels and their fatigue properties.* Scaninject II. 2nd International Conference on Injection Metallurgy, Lulea, Sweden, June 12–13, Proceedings [in English].
- [5] Molchanov L.S., Vakul'chuk V.V., Kobelyac'kij O.S. (2018) *Analiz suchasnih tekhnologij pozapichnoi obrobki chavunu [Analysis of modern technologies for out-of-furnace cast iron processing]* Special'na metalurgiya: vchora, s'ogodni, zavtra: materiali XVI Vseukraïns'koï naukovo-praktichnoi konferencii, Kiïv, 17 kvitnya 2018 r. K.: KPI im. Igorya Sikors'kogo, P. 273–286 [in Ukrainian].
- [6] Moriya A., Nagahata T., Ieda K., Ichihara K., Shikawa M. (1986) *Improvement of steel quality by flux injection.* Scaninject IV. 4th International Conference on Injection Metallurgy, Lulea, Sweden, June 11–13, Proceedings [in English].
- [7] Elie T, Yida Y. *Effect of injection metallurgy on the quality of steel products.* Scaninject IV. 4th International Conference on Injection Metallurgy, Lulea, Sweden, June 11–13, 1986, Proceedings [in English].
- [8] Marukawa K, Shiota I, Ikkeshiya K. (1986) *Effect of injection metallurgy on silicon and phosphorus removal from liquid pig iron.* Scaninject IV. 4th International Conference on Injection Metallurgy, Lulea, Sweden, June 11–13, Proceedings [in English].
- [9] Gavrillov, E.E., Burgutin, Y.I., Marder, B.F. (1986) *Condition of the cooling system and lining of a blast furnace after making 27 million tons of pig iron.* Metallurgist 30, P.107–110 [in English].
- [10] Houck, Gerald. (1992) "Iron and Steel." From Minerals Yearbook Volume 1. Metals and Minerals. U.S. Bureau of Mines, p.p. 642–659. [in English].
- [11] Yamawaki, Hideki. (1988) "The Steel Industry." In Industrial Policy of Japan. New York: Academic Press, p.p. 281–302. [in English].
- [12] The Iron and Steel Institute of Japan 1985) Volum 25, Number 7, 656 p.
- [13] Kikuchi I., Takahashi K., Kawai I., Kawakashi K., Tenma H., Taguchi K. (1986) *Development of steel ladle dephosphorization process at NKK Company* Scaninject IV. 4th International Conference on Injection Metallurgy, Lulea, Sweden, June 11–13, Proceedings [in English].
- [14] Bloom, T.A.; Fosnacht, D.R.; Haezebrouck, D.M. (1990) *Iron and Steelmaker*, Vol 17, P. 35–41. [in English].
- [15] 1-st European Oxygen Steelmaking Congress. Düsseldorf/Neuss; June 21–23, 1993. P. 24. [in English].
- [16] Turkdogan E.T. *Technological improvements in injection metallurgy and ladle metal refining processes in the 80s.* Scaninject IV. 4th International Conference on Injection Metallurgy, Lulea, Sweden, June 11–13, 1986, Proceedings [in English].

- [17] 8-st European Oxygen Steelmaking Congress (2001) Düsseldorf; Neuss; June 20–22, P. 32 [in English].
- [18] Masaki Iwasaki, Michitaka Matsuo. *Change and Development of Steelmaking Technology* (2012) Nippon steel technical report No. 101 November P. 89–94 [in English].
- [19] Masato Kobayashi, Kohichi Isobe, Masayuki Arai. (2013) *Technical Progress in Steelmaking and Casting for Special Bar and Wire Steel at Muroran Works*. Nippon steel technical report No. 104 August P. 117–122 [in English].
- [20] Boichenko B.M., Molchanov L.S., Synegin I.V. (2019) *Comprehensive analysis of technological variants of crude steel production in oxygen blown converters*. The potential of modern science [edited by Babych Mykola Mykolayovich]. London: Sciemcee Publishing. P. 156–169 [in English].
- [21] Molchanov L.S., Chernyatevich A.G., Vakul'chuk V.V., Chubina O.A. (2019) *Kompleksnij tehniko-ekonomichnij analiz vplivu konstrukcii verhnih produval'nih pristroiv na osnovni pokazniki virobництва stali v kisnevih konverterah [Comprehensive technical and economic analysis of the impact of the design of top blowers on the main indicators of steel production in oxygen converters]* Naukovi visti. Suchasni problemi metalurgii. № 22. P. 62–72 [in Ukrainian].
- [22] Tehnologicheskaya instrukciya TI 230-S320-12 (2012) «Vyplavka konverternoj stali [BOF steel-making]». DMK: Dneprodzerzhinsk.. 53 p. [in Ukrainian].
- [23] Shevchenko A.F., Manachin I.A., Dvoskin B.V., Bashmakov A.M., Kislyakov V.G., Shevchenko S.A. (2022) *Ocenka i promyshlennaya proverka pokazatelej processov kovshevoj desulfuracii [Evaluation and industrial validation of the performance of ladle desulfurization processes]* Respublikanskij zhurnal «Vestnik Karagandinskogo gosudarstvennogo industrial'nogo universiteta» (vestnik KGIU), Temirtau, Kazahstan., № 3 (38). P. 12–28 [in Ukrainian].

Надійшла до редколегії 24.10.2023