

- of experiments and polynomial surface regression methodology», *Powder Technology*, vol. 211, no. 1, pp. 54-59, 2011. doi: 10.1016/j.powtec.2011.03.027.
10. S. Dwarapudi, T. U. Devi, S. M. Rao, and M. Ranjan, «Influence of Pellet Size on Quality and Microstructure of Iron Ore Pellets», *ISIJ International*, vol. 48, no. 6, pp. 768-776, 2008. doi: 10.2355/isijinternational.48.768.
11. M. Iljana, T. Paananen, O. Mattila, M. Kondrakov, and T. Fabritius, «Effect of Iron Ore Pellet Size on Metallurgical Properties», *Metals*, vol. 12, no. 2, article 302, 2022. doi: 10.3390/met12020302.
12. M. Javaheri, A. Yarahmadi, H. Salari, M. Salari, E. Musaeipoor, and B. Azartoos, «Influence Of Iron Ore Pellet Size On Some Properties Of Sponge Iron In Midrex Technology», *Exploratory Materials Science Research*, vol. 4, no. 2, pp. 122-124, 2023. doi: 10.47204/emsr.4.2.2023.122-124.
13. S. Tan, J. Peng, H. Shi, «Modeling and simulation of iron ore pellet drying and induration process with accurate bed void fraction calculation», *Drying Technology*, vol. 34, no. 6, pp. 651-664, 2015. doi: 10.1080/07373937.2015.1070357.
14. F.A. Riabokon, «Sposob obzhyha okatyshnei na konveiernoi mashyne» [«Method of firing pellets on a conveyor machine [Sposob obzhiga okatishei na konveiernoi mashine]», *USSR certificate of authorship 1010144*, Apr. 7, 1983. (Rus.)

Стаття надійшла 07.08.2024

Стаття прийнята 28.08.2024

УДК 669.182.71

doi: 10.31498/2225-6733.49.1.2024.321241

© Бакланський В.М.¹, Каргін С.Б.², Хвостов Д.В.³

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ КОНВЕРТЕРНОЇ ПЛАВКИ ІЗ ЗАМІНОЮ ЧАСТИНИ ВАПНА КІНЦЕВИМ КОНВЕРТЕРНИМ ШЛАКОМ І ВАПНЯКОМ

Об'єктом дослідження є технологія ведення конвертерної плавки із заміною частини вапна вапняком і кінцевим конвертерним шлаком. Ціль роботи: визначення технологічної можливості ведення конвертерної плавки із заміною частини вапна вапняком і кінцевим конвертерним шлаком. У результаті проведеної роботи виконані літературний аналіз питання заміни вапна в киснево-конвертерному процесі іншими шлакоутворюючими матеріалами, лабораторні дослідження з визначенням розчинності вапна в конвертерному шлаку з різною кількістю недопалу від 2,20 до 38,10%. Доведено, що оксид вуглецю, що виділяється, при дисоціації вапняку, руйнуючи скоринку, сприяє розчиненню вапна. При використанні матеріалів, що містять СаО, кращі властивості, що рафінують, мали шлаки плавки при застосуванні чистого слабо обожженого доломіту в кількості більш 3 т на плавку. Присадки доломіту забезпечували зниження витрати плавикового шпату на 0,7 кг/т сталі й досить високий ступінь обезсірювання (38,3%), разом з тим вміст фосфору був трохи вище, чим на звичайних плавках, хоча й не перевищувало меж ДСТ. Експериментально встановлено, що застосування вапна з різним ступенем випалу, заміна частини вапна вапняком, а також заміна частини вапна вапняком і кінцевим конвертерним шлаком не вносить особливих змін у ведення технології конвертерної плавки. Розроблені рекомендації в ТІ 232-143-96 за технологією конвертерної плавки з використанням вапняку й кінцевого конвертерного шлаку.

¹ канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, ORCID: 0009-0000-4437-562X, Baklanskiy_v_m@pstu.edu

² канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, ORCID: 0000-0002-8102-4578, kargin_s_b@pstu.edu

³ перший заступник генерального директора, ПрАТ «Дніпровський металургійний завод», м. Дніпро

Ключові слова: конвертер, вапно, вапняк, агломерат, флюс, технологічний шлак, основність, сляб, якість.

V.M. Baklanskiy, S.B. Kargin, D.V. Khvostov. Development of converter smelting technology with replacement of part of lime with final converter slag and limestone. The object of research is the technology of converter smelting with the replacement of a part of lime with limestone and the final converter slag. The purpose of the work: to determine the technological possibility of conducting a converter smelter with the replacement of part of the lime with limestone and the final converter slag. As a result of the work carried out, a literature analysis of the issue of replacing lime in the oxygen-converter process with other slag-forming materials, laboratory studies with the determination of the solubility of lime in converter slag with different amounts of underfired from 2,20 to 38,10% were performed. It has been proven that the carbon monoxide released during the dissociation of limestone, destroying the crust, contributes to the dissolution of lime. When using materials containing CaO, smelter slags had the best refining properties when using pure weakly deionized dolomite in the amount of more than 3 tons per smelter. Additives of dolomite ensured a decrease in the consumption of fluorspar by 0,7 kg/t of steel and a fairly high degree of desulfurization (38,3%), at the same time, the phosphorus content was slightly higher than in conventional melts, although it did not exceed the DST limits. It has been experimentally established that the use of lime with different degrees of firing, the replacement of part of lime with limestone, as well as the replacement of part of lime with limestone and the final converter slag does not make any significant changes in the operation of converter smelting technology. Recommendations were developed in TI 232-143-96 on converter smelting technology using limestone and final converter slag.

Keywords: converter, lime, limestone, agglomerate, flux, technological slag, basicity, slab, quality.

Постановка проблеми. Технологія конвертерної плавки, а саме процес шлакоутворення, протікає задовільно тільки в тому випадку, якщо під час продувки використовується необхідна кількість вапна. Вапно одержують в обортових або в шахтних вапняно-випалювальних печах, що працюють на природному газі. У випадку зниження поставки природного газу виробництво і якість вапна знижуються, що приводить до скорочення виробництва сталі. З цим фактом конвертерні цеха зустрічаються вже не один рік, і особливо актуально це питання піднімається в зимовий період часу.

У світовій і вітчизняній практиці відомі технології з часткової або з повної заміни вапна вапняком. Можливі домішки щебіркою, доломітованим вапном, агломератом різної основності, різними синтетичними флюсами, частково (тобто половиною) або ж повністю залишеним від попередньої плавки технологічним шлаком.

Для безперебійної роботи конвертерного цеху пропонується технологія, що включає використання вапняку, у тому числі обпаленого шлаку попередньої плавки, застосування частини кінцевого шлаку і проміжне скачування шлаку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У якості шлакоутворюючих матеріалів замість звичайного вапна можна застосовувати вапняк і агломерат. Однак добавка вапняку супроводжується хімічними реакціями, що поглинають тепло. Авторами роботи [1] у киснево-конвертерному цеху вивчена можливість поліпшення показників конвертерної плавки шляхом застосування високоосновного агломерату металургійного заводу. Основність агломерату 3,15 (до 25,0% CaO) і 2,5 (до 15,0% CaO) [2]. Присадка агломерату виключила введення охолоджувача (руди) і значної частини флюсу.

Заміна руди й частини вапна високоосновним агломератом збільшує вихід придатного на 0,5-2,1%, що дозволяє скоротити загальну витрату оксиду кальцію на ~50 % без шкоди для основності шлаків і ступеня десульфурації й дефосфорації металу.

Дослідження показали, що збільшення основності й вмісту окису кальцію у високоосновному агломераті є бажаним заходом підвищення ефективності його впливу на показники конвертерного процесу. Згідно з результатами проведених досліджень [2], вапно може бути повністю

замінено вапняком, але це сповільнює процес шлакоутворення, збільшує тривалість продувки, викликає не завжди бажане спінювання шлаків. Позитивною стороною заміни вапна вапняком є додаткове перемішування металевої ванни при виділенні діоксиду вуглецю – вапнякове кипіння.

Сильна охолодна дія вапняку (в 1,15 рази більше, ніж руди) змушує зменшити присадку руди або лома, у результаті цього трохи знижується вихід металу. Недоліком охолодження ванни вапняком є викиди під час бурхливого розкладання вапняку.

Звичайно, дрібно-дробленим вапняком замінюють частину вапна, що не перевищує 25%. Застосування вапняково-рудних брикетів [3, 4] прискорює шлакоутворення при більш швидкому і повному засвоєнні оксидів кальцію шлаками, збільшує рідку рухомість шлаків і підвищує вихід придатного на 0,5-1,3 рази. Состав брикетів, %: 24,5-27,2 Fe_{заг.}; 2,6-3,3 SiO₂; 21,5-35,5 CaO. Брикети присаджують після заливання чавуну в конвертор.

На деяких заводах США й СНД частину вапна замінюють щебіркою доломітованого вапна [1]. Результати його застосування свідчать про прискорення шлакоутворення внаслідок більш низької температури його плавлення. Застосування даного матеріалу аналогічне результатам, отриманим під час роботи з м'яким високоактивним вапном з високим вмістом CaO й Fe₂O₃.

Витрата вапняку й вапна на плавку залежить від кількості рідкого чавуну в конвертері, вмісту кремнію в чавуні й його температури, з якої він заливається в конвертер [5].

При нагріванні вапняку відбувається ендотермічна реакція $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2 \uparrow$ – 42500 ккал/моль з утвором CaO й CO₂. Нормальний вміст у вапняку CaO більш 54%, домішки, особливо SiO₂, небажані. Припустима межа вмісту фосфору – 0,03%. Для одержання шлаків з найкращою основністю рекомендується використовувати вапняк з вмістом CaO близько 55%. Однак, оскільки під час продувки відразу ж відбувається реакція утвору CaO, то у первісний період продувки теча шлакоутворення трохи запізнюється. Разом з тим при розкладанні вапняку поглинається велика кількість тепла і інтенсивність охолодження рідкої сталі вище. Крім цього, вапняк дешевше вапна. Ураховуючи ці особливості, бажано використовувати вапняк у наступних випадках:

а) при високій витраті рідкого чавуну гарний ефект дає завантаження його в початковий період, більш зручний з теплової точки зору;

б) для регулювання охолодження, шлакоутворення й запобігання викидам у процесі плавки необхідно завантажувати вапняк порціями по 100 кг;

в) для використання вапняку в ЛД-конвертері з метою поліпшення реактивної здатності шлаку вапняк звичайно подрібнюють до 10-30 мм.

Ураховуючи дешевину вапняку і його властивості, бажане, по можливості, застосовувати вапняк замість вапна.

У якості комбінованого флюсу, з метою поліпшення шлакоутворення, застосовують обпалені ферити кальцію [5]. Наприклад, до конвертерного пилу додають 40-95% вапна, формують брикети величиною приблизно 40 мм і обпалюють при температурі 1100-1200°C в звичайних випалювальних печах. Крапка плавлення цього фериту кальцію близько 1400°C. Застосовують його в первісний період плавки. Обпалений ферит кальцію поліпшує шлакоутворювальну здатність вапна, підвищує дефосфоруєчу здатність шлаків.

В інших випадках до вапняку з крупністю шматків 5-20 мм додають 2% пилу, що містить оксиди заліза (конвертерний пил) і 2% води, змішують і обпалюють в обертовій випалювальній печі при 1300°C. На поверхні обпаленого вапна частково утворюється ферит кальцію. Застосування даного флюсу також прискорює засвоєння вапна, підвищує дефосфоруєчу й десульфуєчу здатність шлаків.

Особливості шлакоутворення в кисневому конвертері при застосуванні високо основного агломерату розглянуті в роботі [6]. Авторами показане, що високоосновний агломерат має низьку температуру плавлення (не більш 1300°C) і містить CaO, в основному, у вигляді феритів. Прискорення, що спостерігається, формування шлаків на всіх етапах продувки при використанні високоосновного агломерату дозволяє одержати більш високі значення коефіцієнту розподілу сірки (L_s) або низький вміст сірки в металі.

Прискорене формування шлаків у плавках з високоосновним агломератом визначається як швидким розчиненням вапна в шлаках плавки, що вводиться в різних періодах у ванну разом з агломератом, так і утвором з перших хвилин продувки основних шлаків зі зниженою

концентрацією й активністю кремнезему. Це прискорює зовнішній масоперенос у початковий період плавки в результаті зниження в'язкості й ускладнює в цей період утворіння на шматках вапна труднорозчинених оболонок ортосилікату кальцію.

На Єнакіївському металургійному заводі авторами роботи [7] проведені промислові дослідження по спіканню агломерату високої основності (до 5-7) і досліди процесу шлакоутворення в кисневих конвертерах садкою 130-т. Найкращі результати по прискоренню процесу шлакоутворення були отримані при роботі з агломератом основністю 5. Застосування окатишів також ефективно.

Мета статті – проведення промислових досліджень з метою визначення можливості використання у киснево-конвертерному процесі замість вапна (або частини його) вапняку, попередньо обпаленого в конвертері кінцевого конвертерного шлаку, разом з частиною кінцевого конвертерного шлаку.

Виклад основного матеріалу. Був проведений ряд серій плавок у киснево-конвертерному цеху при різних варіантах технологічного процесу.

Варіанти з заміною частини вапна вапняком з витратою його від 3,5 до 10 т і витратою вапна від 25 до 30 т, з відповідним зниженням його витрати в міру збільшення витрати вапняку. Результати основних технологічних показників здійснених плавок наведено в таблиці 1, 2 та 3.

Таблиця 1

Значення технологічних параметрів порівняльних плавок,
проведених з витратою вапняку в завалку від 1,0 до 3,0 тон

№ п/п	Номер плавки	Марка сталі	Q _m , CaO, т	Q, CaCO ₃ , т	Основність кінце- вого шлаку, В	Витрата, т	
						чавун	лом
1	2	3	4	5	6	7	8
1	1600090	09Г2С	25	1,5	3,1	300	60
2	1600685	Г7Г1СУ	30	3,0	3,1	295	80
3	1601244	ЗГсп	27	1,0	3,3	290	70
4	1601266	Д32	25	1,0	3,3	295	70
5	2601487	А36	26	3,0	3,3	295	85
6	1601982	ІЗГІСУ	21	1,0	3,5	295	75
7	1601984	А36	23	1,0	3,3	295	75
8	1602033	St 52,3	27	1,0	3,1	295	78
9	1602712	SS 400	27	1,0	3,2	300	70

Продовження таблиці 1

№ п/п	Вихід рід- кого, т	Час проду- вання, хв	Концентрація сірки, %			Коефіцієнт розподілу сірки, L _s	Вміст (FeO) %	Темпе- ратура поверх- ні, t °C	Вміст у чавуні, [Si] %
			чавун	опісля продувці	готовий сталі				
1	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	351,4	16	0,015	0,013	0,010	13,33	17	1680	1,25
2	335,2	14	0,016	0,015	0,013	6,25	12	1670	0,83
3	340,1	14'20"	0,019	0,018	0,015	5,26	13	1705	0,79
4	334,3	14	0,019	0,017	0,013	10,53	11	1675	0,81
5	341,9	15	0,013	0,012	0,011	7,69	12	1655	0,85
6	322,3	14'15"	0,018	0,014	0,012	22,22	13	1685	0,76
7	295,5	14	0,013	0,011	0,008	15,39	12	1720	1,19
8	327,4	13'50"	0,015	0,012	0,007	20,00	12	1650	0,73
9	334,3	14'39"	0,0149	0,0139	0,0112	6,71	12,45	1675	0,96

Аналіз технологічних показників дослідних плавов, що наведені у таблиці 3, показує, що такі основні показники, як витрата рідкого чавуну й лома, час продувки, температура металу наприкінці продувки та вміст заліза в шлаках, практично не відрізняються від показників серії порівняльних плавов.

Таблиця 2

Значення технологічних параметрів порівняльних плавов,
проведених з витратою вапняку в завалку від 3 до 10 тон

№ п/п	Номер плавки	Марка сталі	Витрата, т			Основність конечного шлаку, В	Витрата, т	
			CaO	CaCO ₃	ΣCaO		чавун	лом
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1603655	A36	25	3,5	26,7	3,1	300	60
2	1604257	13Г1СУ	25	4,0	27,0	3,1	285	75
3	1604301	3Гсп	24	6,0	27,0	3,4	300	60
4	1604469	SS400	24	6,0	27,0	3,2	290	60
5	1603654	A36	23	8,0	27,0	3,1	300	60
6	2604024	Д32	22	9,0	26,5	3,0	285	80
7	1604857	3сп	22	9,0	26,5	3,0	295	70
8	1603569	A516-70	21	10	26	3,2	290	70
9	1603674	E32	21	10	26	3,4	290	70
10	1603675	E32	21	10	26	3,2	290	70
11	1603678	SS400	21	10	26	3,3	290	70

Продовження таблиці 2

№ п/п	Вихід рід- кого, т	Час про- ду- вання, хв	Концентрація сірки, %			Коефіці- єнт роз- поділу сірки, L _s	Вміст (FeO) %	Темпера- тура по- верхні, t °C	Вміст у чавуні, [Si] %
			чавун	після про- ду- вання	готова сталь				
1	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	338,6	15	0,033	0,016	0,010	51,5	13	1675	0,92
2	316,3	14	0,019	0,019	0,003	0,9	14	1670	0,92
3	295,1	19	0,020	0,014	0,007	30,00	17	1675	0,79
4	282,0	18	0,016	0,013	0,010	18,75	14	1680	0,77
5	317,30	14'56"	0,017	0,013	0,010	28,24	14	1678	0,787
6	310,8	14	0,016	0,013	0,010	18,75	14	1680	0,63
7	320,0	12	0,015	0,009	0,006	66,67	10	1660	1,34
8	322,64	14'61"	0,0224	0,0161	0,010	28,13	13,61	1674	0,71
9	308,7	15	0,018	0,010	0,006	44,44	10	1665	0,90
10	313,9	16	0,030	0,027	0,014	10,00	16	1675	0,71
11	329,2	15	0,029	0,018	0,016	37,93	17	1675	0,76

Спостережувані деякі коливання основності шлаків від плавки до плавки пояснюються як коливаннями витрати чавуну від плавки до плавки, так і коливаннями в ньому вмісту кремнію. Однак цей показник у всіх серіях плавов практично не відрізняється від показника основності порівняльних плавов. Такий показник як ступінь десульфурзації також коливається від плавки до плавки на порівняльних (від 0 до 14,44% й від 0 до 66,67% на дослідних плавках), в основному, визначаючись вихідним вмістом сірки в чавуні й вимогами ТІ 232-143-96 по вмісту її в готовому металі. Однак загальним для всіх серій проведених дослідних плавов є позитивний ступінь десульфурзації металу.

З метою визначення можливості застосування в кисневих конвертерах замість вапна (частини її) вапняка разом із частиною залишеного від попередньої плавки технологічного шлаку було проведено три серії плавов по трьом варіантам, результати технологічних показників яких

представлено в таблиці 3.

Варіант I. Плавки проведені з витратою на плавку: вапна 20 т, вапняку 10-11 т і залишенням близько 10-15 т технологічного шлаку від попередньої плавки, який згущали вище зазначеною кількістю вапняку за методикою, викладеної в рекомендаціях. По даному варіанту проведено 6 плавок.

Варіант II. Плавки проводилися з витратою на плавку: вапна 18-19 т, вапняку 12 т і залишенням ~50 % шлаку (~20-30 т) з згущенням його вапняком. По даному варіанту проведено 3 плавки.

Варіант III. Плавки проводилися з витратою на плавку: 12 т вапна, 12 т вапняку й залишенням 100 % шлаку і згущенням його вапняком. По даному варіанту проведено 3 плавки.

Таблиця 3

Значення технологічних параметрів дослідних плавок, проведених з витратою вапняку в завалку від 10 до 12 тон із залишенням кінцевого шлаку попередньої плавки

№ п/п	Марка сталі	Витрата, т			Основність кінцевого шлаку, В	Витрата, т	
		CaO	CaCO ₃	ΣCaO		чавун	лом
1	2	4	5	6	7	8	9
Варіант 1. Залишено кінцевого шлаку від попередньої плавки 20%							
1	Зсп	20	10	25,0	3,1	300	70
3	А суд	20	10	25,0	3,1	285	80
4	А36	20	10	25,0	2,8	345	60
5	АН-32	20	11	25,0	3,0	300	60
6	В суд	20	11	25,0	3,2	290	68
Варіант 2. Залишено кінцевого шлаку від попередньої плавки 50%							
1	Зсп	18	12	24,0	3,2	295	65
2	АН-32	19	12	25,0	3,2	295	60
3	SS400	18	12	24,0	3,1	285	70
Варіант 3. Залишено кінцевого шлаку від плавки 100%							
1	SS400	12	12	18,0	3,1	285	80
2	SS400	12	12	18,0	3,1	250	50
3	А36	15	12	21,0	3,1	270	75

Продовження таблиці 3

Вихід рідкого, т	Час продування, хв	Концентрація сірки, %			Коефіцієнт розподілу сірки, L_s	Вміст (FeO) %	Температура поверхні, t °C	Вміст у чавуні, [Si] %
		чавун	після продування	готова сталь				
10	11	12	13	14	15	16	17	18
Варіант 1 Залишено шлаку від попередньої плавки 20%								
315,1	15	0,016	0,016	0,014	0	11	1665	0,96
278,2	14	0,022	0,015	0,013	0	14	1665	1,00
327,8	13'30"	0,013	0,020	0,016	31,82	14	1695	0,60
306,1	14	0,021	0,011	0,011	35,00	14	1675	0,97
331,4	13'20"	0,017	0,017	0,014	47,62	16	1675	0,51
307,7	14'60"	0,018	0,0154	0,0126	0	14	1680	1,05
Варіант 2 Залишено шлаку від попередньої плавки 50%								
326,4	16	0,016	0,020	0,016	25,00	11	1670	0,65
320,6	13'30"	0,009	0,011	0,009	22,22	18	1660	0,62
315,6	13'35"	0,0125	0,011	0,0095	30,00	13	1705	1,10
Варіант 3 Залишено шлаку від плавки 100%								
292,6	15	0,007	0,007	0,011	0	14	1675	1,05
282,4	14	0,007	0,013	0,010	85,71	11	1695	1,16
334,4	13'20"	0,011	0,009	0,010	18,18	15	1690	0,83

Аналіз технологічних показників, проведених по трьом варіантам плавки, показує, що жоден із трьох варіантів не вніс змін у витрату чавуну й лома, не відбився на основності й окиснюваності шлаку, не вплинув на температуру металу на випуску. Ступінь десульфурації металу при проведенні плавки по всіх трьом варіантам залишалася позитивною (див. табл. 3.).

Очевидно, що тепло, витрачене на дисоціацію вапняку, було компенсовано фізичним теплом шлаку, залишеного від попередньої плавки, й тому не відбилося суттєво на веденні плавки. Однак при веденні конвертерного процесу із заміною частини вапна вапняком, враховуючи охолодну дію вапняку в співвідношенні з ломом 2:1, необхідно знижувати витрату лома на 2 тонни на кожну тонну присаджувочного вапняку, збільшуючи, відповідно, на таку ж величину масу чавуну на плавку.

Однак ведення плавки із залишенням частини або всього кінцевого конвертерного шлаку пов'язане з деякими труднощами.

Це полягає в тому, що його кількість, склад, температура й в'язкість не залишаються постійними, що може негативно позначитися на ході продувки й тривалості процесу.

Забезпечення зважування конвертерного шлаку, стабілізація шлакового й теплового режимів можуть привести до висновку, що використання рідкого кінцевого шлаку стане одним з найбільш ефективних засобів для поліпшення шлакоутворення, зниження видаткових показників вапна й плавикового шпату при переробці як звичайних, так і низькомарганцевистих чавунів.

Висновки й рекомендації:

На підстав виконаних літературних, лабораторних і промислових досліджень зроблені висновки:

- показані умови й можливість застосування як у світовий, так і у вітчизняній практиці замість вапна різних шлакоутворювальних матеріалів, таких як вапняк, щебінка, доломітозоване вапно, агломерату різної основності, різних синтетичних флюсів, половини або повністю залишеного від попередньої плавки технологічного шлаку, а також у комбінаціях залишеного шлаку (частково або повністю) разом з іншими матеріалами (вапняк, флюси і тому подібне). Відзначаються особливості технології ведення плавки при заміні частини вапна вапняком. Розглядається ефективність застосування тих або інших матеріалів, що флюсують, для умов конвертерного цеху;

- визначено, що незважаючи на те, що роль недопалу (CaCO_3) у вапні з однієї сторони зводиться до зниження температури через дисоціацію $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$, а з іншої сторони до інтенсифікації розчинення вапна в шлаках за рахунок кипіння, все-таки залежно від розмірів шматка (10-50 мм для нашого випадку) і температури шлаків (1300-1650°C), час розкладання становить від 10 секунд до 1,5 хвилин, тобто тривалість його порівняна із тривалістю розчинення вапна в шлаку;

- показано, що технологія застосування в конвертерному процесі вапна з різною кількістю недопалу (з відхиленням питомих втрат при прожарюванні від вимог ТІ 232-143-96 у бік її збільшення) є цілком придатною при виплавці сталей з вмістом сірки в готовому металі 0,015-0,020% із застосуванням десульфурованого чавуну з вмістом сірки до 0,020%;

- показано, що застосування замість частини вапна вапняка від 1 до 3 т на плавку, попередньо обпаленого кінцевим конвертерним шлаком від попередньої плавки, не вносить особливих змін у ведення технології конвертерної плавки;

- показано також, що використання в киснево-конвертерному процесі замість вапна (або його частини) вапняку (з витратою від 3,5 до 12,0 т), обпаленого кінцевим конвертерним шлаком, при витраті вапна (від 25 до 13 т) та частковому, половинному або повному використанні кінцевого конвертерного шлаку попередньої плавки не суттєво впливає на хід конвертерної плавки. Однак має місце зниження ступеня десульфурації в міру збільшення витрати вапняку й кількості конвертерного шлаку;

- розроблені рекомендації для технологічних інструкцій з ведення конвертерної плавки з використанням вапняку;

- розроблена технологія рекомендується до впровадження.

Перелік використаних джерел:

1. Явойский А. В., Харлашин П. С., Чаудри Т. М. Научные основы современных сталеплавильных процессов. Мариуполь : ПГТУ, 2003. 276 с.
2. Харлашин П. С., Меджибожский М. Я. Теоретические основы сталеплавильных процессов: Учебник. Київ : ВИПОЛ, 1998. 305 с.
3. Самойленко Н. М., Аверченко В. І., Байрачний В. Б. Системи технологій та промислової екології. Ч. І. Металургійний та енергетичний комплекс: навч. посіб. Харків: НТУ «ХПІ», Лідер, 2020. 212 с.
4. Внепечная обработка стали в ККЦ ОАО «ММК им. Ильича» / В. С. Бойко, В. В. Климанчук, Э. Н. Шебаниц, Б. В. Небога. Мариуполь: Рената, 2005. 164 с.
5. Бойченко Б. М., Охотський В. Б., Харлашин П. С. Конвертерне виробництво сталі: теорія, технологія, якість сталі, конструкції агрегатів, рециркуляція матеріалів і екологія: Підручник. Дніпропетровськ: РВА «Дніпро-ВАЛ», 2006. 454 с.
6. Umadevi T., Sah R., Mahapatra P. C. Influence of sinter basicity (CaO/SiO₂) on low and high alumina iron ore sinter quality. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy IMM Transactions section C*. 2014. № 123 (2). Pp. 75-85. DOI: <https://doi.org/10.1179/1743285514Y.0000000052>.
7. Mežibřícký R., Fröhlichová M. Silico-ferrite of Calcium and Aluminum Characterization by Crystal Morphology in Iron Ore Sinter Microstructure. *ISIJ International*. 2016. Vol. 56. Iss. 6. Pp. 1111–1113. DOI: <https://doi.org/10.2355/isijinternational.ISIJINT-2016-044>.

References:

1. A.V. Iavoiskyi, P.S. Kharlashyn, and T.M. Chaudry, *Nauchnie osnovi sovremennikh staleplavilnykh protsessov* [Scientific basis of modern steelmaking processes]. Mariupol, Ukraine: PHTU Publ., 2003. (Rus.)
2. P.S. Kharlashyn, and M.Ya. Medzhybozhskiy, *Teoretycheskiye osnovi staleplavilnykh protsessov: Uchebnyk* [Theoretical Foundations of Steelmaking Processes: Textbook]. Kyiv, Ukraine: VYPOL Publ., 1998. (Rus.)
3. N.M. Samoilenko, V.I. Averchenko, and V.B. Bairachnyi, «Metalurhiinyi ta enerhetychnyi kompleks: navch. posib.» [«Metallurgical and energy complex: a textbook»], in *Systemy tekhnolohii ta promyslova ekolohiia* [Technology Systems and Industrial Ecology], vol. I. Kharkiv, Ukraine: NTU «KhPI», Lider Publ., 2020. (Ukr.)
4. V.S. Boiko, V.V. Klymanchuk, E.N. Shebanyts, and B.V. Neboha, *Vnepechnaia obrabotka staly v KKTs OAO «MМК im. Ylycha»* [Out-of-furnace steel treatment at the Ilyich Iron and Steel Works OJSC]. Mariupol, Ukraine: Renata Publ., 2005. (Rus.)
5. B.M. Boichenko, V.B. Okhotskyi, and P.S. Kharlashyn, *Konverterne vyrobnytstvo stali: teoriia, tekhnolohiia, yakist stali, konstruktzii ahrehativ, retsyrkuliatsiia materialiv i ekolohiia: Pidruchnyk* [Converter steel production: theory, technology, steel quality, unit designs, material recycling and ecology: Textbook]. Dnipropetrovsk, Ukraine: RVA «Dnipro-VAL» Publ., 2006. (Ukr.)
6. T. Umadevi, R. Sah, and P.C. Mahapatra, Influence of sinter basicity (CaO/SiO₂) on low and high alumina iron ore sinter quality, *Mineral Processing and Extractive Metallurgy IMM Transactions section C*, № 123 (2), pp. 75-85, 2014. doi: 1743285514Y.0000000052.
7. R. Mežibřícký, and M. Fröhlichová, Silico-ferrite of Calcium and Aluminum Characterization by Crystal Morphology in Iron Ore Sinter Microstructure, *ISIJ International*, vol. 56, № 6, pp. 1111–1113, 2016. doi: 10.2355/isijinternational.ISIJINT-2016-044.

Стаття надійшла 13.02.2024

Стаття прийнята 02.04.2024