

УДК 66.046.58

Остроушко А.В.¹, Альошин О.О.², Тарасюк Л.І.³

ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ УТИЛІЗАЦІЇ ШЛАКІВ МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

На сучасному етапі розвитку вітчизняної металургії одним з актуальних завдань є зниження викидів вуглекислого газу і втрат тепла в навколишнє середовище. Аналіз літературних даних, а також результатів проведених експериментів в лабораторних та промислових умовах на ВАТ „МК „Азовсталь” показали економічну і екологічну доцільність використання конвертерних і відвальних шлаків фракції 10 – 0 мм як складової аглошихти у кількості 15 – 30 кг/т агломерату. Можливість впровадження подібної технології у виробництво з високою ефективністю підтверджується результатами переробки шлакових відвалів на ВАТ „ММК ім. Ілліча.”

В результаті багаторічної наукової і практичної діяльності авторами [1] переконливо доведено, що рішення ресурсо-екологічних проблем в такій галузі, як гірничометалургійна (ГМК) повинне здійснюватися за рахунок впровадження інноваційної моделі перетворення виробництв з пріоритетним освоєнням ресурсозберігаючих технологій, що забезпечують скорочення баластних відходів і виробничих витрат.

Інтегруючись в цивілізований економічний простір, в 2004 році Україна ратифікувала Киотський протокол, згідно якому з метою сприяння стійкому розвитку встановлені вимоги по кількісному обмеженню і скороченню викидів парникових газів, а також підвищенню ефективності використання енергії у відповідних секторах національної економіки. В той же час, при аналізі екологічних показників металургійного виробництва багато вітчизняних дослідників наводять дані по кількості викидів тільки таких шкідливих газів як монооксид вуглецю, діоксид сірки і азоту, але не приділяють належної уваги вмісту у викидах вуглекислого газу, кількість якого при цьому достатньо велика. Багатьом фахівцям ГМК відомий також факт щодо високої питомої витрати енергії, яка, наприклад, в сталеплавильному виробництві України вище, ніж на сталеливарних компаніях Європи в 4,7 разу.

Одним з найбільш доступних способів поліпшення економічних і екологічних показників сталеплавильного виробництва в даний час є, в першу чергу, використання внутрішніх резервів шляхом підвищення частки вторинних матеріальних ресурсів, зокрема шлаків, в технологічних процесах замість природної сировини за принципом рециклінга.

В роботі [2] підкреслюється, що з розвитком конвертерного виробництва сталі все більша увага приділяється використанню конвертерних шлаків, що містять 80 % корисних для доменної плавки компонентів – Fe, Mn, CaO, Mg, F та інш. Конвертерний шлак більшості заводів містить 14 – 18 % заліза, вихід чавуну з однієї тонни шлаку складає 0,19 – 0,22 т. Вихід чавуну з 1 т агломерату більшості аглофабрик коливається від 0,5 до 0,55 т.

Таким чином, кожні 10 кг конвертерного шлаку, використовувані для заміни сирого вапняку в шихті доменної печі, забезпечують зниження витрати вапняку на 5,0 – 5,5 кг і агломерату на 2,5 – 3,0 кг, але і збільшення виходу шлаку на 2,5 – 3,0 кг.

При цьому необхідно врахувати, що при розкладанні 1кг вапняку виділяється 0,4 кг вуглекислого газу і витрачається близько 1700 кДж енергії.

Розрахунки показують, що заміна сирого вапняку конвертерним шлаком більш ефективний захід ніж підвищення основності агломерату шляхом збільшення витрати вапняку.

¹ПГТУ, канд. техн. наук, доц.

²Департамент техногенних ресурсів УкрАПчормет.

³ПГТУ, канд. техн. наук, доц.

Однак цілеспрямованого, комплексного використання конвертерних шлаків з метою повного використання корисних елементів дотепер не було.

Метою даної роботи є еколого-економічна оцінка досліджуваних способів і визначення раціональної технології використання металургійних шлаків в аглодоменному виробництві, зокрема на ВАТ «МК «Азовсталь».

При незначних витратах на підготовку конвертерного шлаку його можна з успіхом використовувати в доменному виробництві, що підтверджується роботою деяких металургійних підприємств [1, 2 – 6].

Найбільше доцільно використовувати сталеплавильні шлаки у доменних печах, де застосовується сирий вапняк, на розкладання якого значно збільшується витрата коксу [2, 4].

На Єнакіївському металургійному заводі використовують конвертерний шлак як флюсуючий компонент доменної шихти. Він містить 44,5 % CaO; 17,4 % SiO₂; 5,97 % MgO; 5,06 % MnO; 1,24 % Al₂O₃; 14,34 % FeO; 8,39 % Fe₂O₃; 19,45 % Fe_{общ}; 0,118 % S і 0,95 % P₂O₅. Десульфурція чавуну поліпшилася за рахунок формування основного доменного шлаку у горні печі. Поліпшали техніко-економічні показники роботи печей, екологічні умови на ділянці шлакопереробки. Ефективність використання 1т конвертерного шлаку у доменній плавці становила 12,4 руб. [5].

В роботі [2] підкреслюється, що на деяких металургійних заводах сирий вапняк використовується тільки для коригування шлакового режиму і його витрата складає 5 – 10 кг/т чавуну. У цих умовах недоцільно замінити сирий вапняк конвертерним шлаком, тому що коригувати шлаковий режим добавкою, що має перемінний хімічний склад, важко.

Заміна вапняку конвертерним шлаком без підвищення основності агломерату приводить до збільшення витрати коксу і зниженню продуктивності доменних печей. Використання конвертерного шлаку для цих цілей не ефективно.

Використання конвертерного шлаку для підвищення основності агломерату забезпечує збільшення продуктивності доменних печей на 0,3 – 0,32 т і зниження витрати коксу на 0,15 – 0,47 т на 1 т конвертерного шлаку.

Таким чином, використання конвертерного шлаку доцільно й ефективно для заміни сирого вапняку шляхом уведення конвертерного шлаку безпосередньо в доменну піч, чи шляхом підвищення основності агломерату в результаті використання конвертерного шлаку.

Так на Єнакіївському заводі установлений ефект від застосування конвертерного шлаку поточного виробництва з відвалів у доменному цеху, а також на аглофабриці без підвищення і з підвищенням основності агломерату; на ВАТ «МК «Азовсталь» – у доменному виробництві і на аглофабриці без підвищення основності, оскільки наприкінці 1983 р. основність агломерату була підвищена тут до 1,8. На ВАТ «ММК ім. Ілліча» можливо лише введення конвертерного шлаку в аглошихту без підвищення основності, тому що в доменному цеху витрата сирого вапняку є мінімальною.

Аналіз економічної ефективності використання конвертерних шлаків на Єнакіївському заводі, ВАТ «МК «Азовсталь» і «ММК ім. Ілліча» у доменному та агломераційному виробництвах свідчить що використання конвертерного шлаку для заміни вапняку при агломерації і збільшення основності агломерату знижує вміст заліза в агломераті на 0,2 – 1,3 %.

Негативними сторонами використання конвертерного шлаку у доменній плавці є підвищення виходу шлаку, вмісту фосфору в чавуні, теплового навантаження на горн у зв'язку з низькою відновлюваністю конвертерного шлаку і високою температурою плавлення, приходу сірки на тонну чавуну за рахунок внесення її зі шлаком; значні коливання хімічного складу від партії до партії, що впливає на сталість шлакового режиму доменної печі.

Дослідження доцільності застосування сталеплавильних шлаків при виробництві агломерату проводилися на багатьох підприємствах чорної металургії. У результаті виконаних робіт установлено, що практично всі коштовні елементи переходять зі шлаку в агломерат [6 – 8].

Виконаний аналіз літературних джерел і патентних матеріалів щодо використання сталеплавильних шлаків у аглодоменному виробництві показав, що найбільш ефективні відомі способи їх застосування мають поряд з низькою достойнств і деякі недоліки, які зашкоджують прийняття цих технологій до виробництва агломерату та чавуну.

На ВАТ «МК «Азовсталь» у 1998 році проводилося спікання агломерату з використанням в шихті шлаку конвертерного переділу фракції 0 – 10 мм, в кількості 7,8 %. При цьому основні

технологічні показники спікання залишилися на колишньому рівні, за винятком швидкості агломашин, яка підвищилася в середньому на 8,5 % при підвищеному розрідженні у вакуумкамерах в середньому на 10,3 %. Процес протікав рівніше, міцність агломерату підвищилася (барабанна проба зростає на 3,8 %) при деякому збільшенні стираності агломерату. Проте вміст заліза знизився на 1,32 %.

Обсяги шлаків, що зберігаються у відвалах, і заліза, що міститься в них, складають мільйони тонн. Тому для переробки поточних і відвальних шлаків на багатьох підприємствах створюють чи набувають сучасні високопродуктивні установки [7, 9, 10], магнітний продукт яких використовується в агломераційному та доменному виробництві з різною питомою витратою як металовмісний компонент.

Для визначення можливості утилізації продукту (скрапу), який виробляє нова високопродуктивна сепараційно-сортувальна установка і фракція якого становить 0 – 10 мм, було признаним за доцільне провести дослідження впливу його використання в агломераційній шихті на характеристики процесу.

Оцінка коливань хімічного складу конвертерного шлаку на ВАТ «МК «Азовсталь» за період з лютого 2003 р. по червень 2004 р. і суміші скрапу після розсіву й відмагнічування шлаків доменного, конвертерного, конвертерного захоплого, відвального і зі старих складів у серпні 2004 р. показала, що основні характеристики хімічного складу конвертерних шлаків: вміст оксидів заліза в них і основність коливаються в широких межах від 6,5 до 24 % і від 2,1 до 5,3 відповідно, але середні значення зазначених величин, обумовлених щомісячно, відрізняються незначно: у межах 6,0 і 4,5 % від середнього в цілому відповідно.

Склад суміші скрапу, призначеного для дослідження, після розсіву й відмагнічення шлаків (% мас.) за даними аналізу трьох проб приведений в таблиці 1.

Таблиця 1 – Склад суміші скрапу після відмагнічування шлаків (% мас.)

№№ зразків	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Основність	
						CaO/SiO ₂	(CaO+MgO)/SiO ₂
1	52,6	17,5	4,2	27,1	4,6	1,55	1,81
2	53,7	18,1	3,1	18,8	8,5	1,04	1,51
3	46,8	23,6	4,7	22,7	7,5	0,96	1,28
середнє	51,03	19,74	4,00	22,9	6,87	1,18	1,53
максимальна різниця	6,87	6,1	1,6	8,3	3,9	0,59	0,53

Із таблиці 1. видно, що суміші скрапу, отримані після розсіву й відмагнічування шлаків доменного, конвертерного, конвертерного захоплого та відвального мають вміст оксидів заліза значно більший, ніж у конвертерних шлаках поточного виробництва, а основність – нижчу і коливаються вони у менш широких межах: від 46,8 до 53,7 і від 0,96 до 1,81 % відповідно.

Виконані розрахунки щодо оцінки ступеня впливу питомої витрати конвертерного шлаку різного складу при введенні його в агломераційну шихту на зміну вмісту заліза в агломераті і його основності свідчать про те, що зі зростом частки суміші скрапу у складі шихти знижується вміст заліза.

Для підвищення ефективності використання конвертерного шлаку розрахунковим шляхом визначили раціональний склад шихти, при якому забезпечується мінімальне зниження вмісту заліза в шихті на 0,45 %, може бути досягнуто при введенні конвертерного шлаку в кількості 15 – 30 %.

Для уточнення складу шихти проводилися експерименти в лабораторних умовах. Досліджувався вплив вмісту конвертерного шлаку в аглошихті на швидкість її спікання. Пробні досліди показали, що максимальне підвищення швидкості спікання шламоторфяної суміші спостерігалось при використанні 2 % конвертерного шлаку (з $4 \cdot 10^{-4}$ до $6,9 \cdot 10^{-4}$ м/с). При використанні 3 % конвертерного шлаку зростання швидкості було незначним (з $4 \cdot 10^{-4}$ до $4,2 \cdot 10^{-4}$ м/с).

Згідно з розрахунками раціональною є питома витрата суміші скрапу близько 20 кг/т агломерату. Тому при проведенні дослідно-промислового спікання агломерату 25 серпня 2004 р. в цеху агломерації в продовж 7 годин вводили у аглошихту суміш скрапу фракції 0 – 10 мм в кількості 2 кг на погонний метр транспортерної стрічки, що забезпечило питому витрату

скрапу – 20 кг/т агломерату. За цей період виробництво дослідного агломерату становило 1885 т, витрата суміші скрапу – 37 т.

Коливання вмісту заліза й основності суміші скрапу після відмагнічування шлаків значні і вимагають більш ретельного усереднення.

Параметри процесу агломерації підтримувались на протязі дослідного періоду постійними і становили на агломераційних машинах (АМ):

	АМ №1	АМ №2
Швидкість посування аглострічок, м/хвил	1,6	1,6
Висота шару агломерату, мм	380	390
Розрідженість у колекторі, кПа	8	9
Температура у 12 в/к, °С	230	230

Хімічний склад і міцність агломерату, виробленого до і в період проведення дослідного спікання, приведені у таблиці 2.

Таблиця 2 – Хімічний склад і характеристики міцності агломерату, виробленого за поточною і дослідною технологіями

Технологія	Fe	FeO	CaO	SiO ₂	Основність	MgO	Барабанна міцність	Вміст фракції 0 – 5 мм під бункерами доменної печі, %
Поточна, середня за добу	57,2	10,7	9,72	8,14	1,19	1,55	68,4	19,5 (середня за місяць)
Дослідна	56,8	10,0	10,77	7,65	1,41	1,31	68,5	
	58,0	10,6	9,55	7,69	1,24	1,51	69,4	
	56,9	11,2	9,39	9,0	1,04	1,25	69,0	17,5
Середня, за дослідний період	57,2	10,6	9,9	8,1	1,22	1,36	69,0	

Аналіз результатів промислового випробування дослідного спікання агломерату свідчить, що в деякій мірі підвищилась міцність агломерату: барабанна проба дослідного агломерату зросла від 68,4 до 69,0 %. Розсів агломерату показав, що кількість дріб'язку у дослідному агломераті під бункерами доменного цеху становила – 17,5 % проти середнього у попередньому місяці – 19,5 %.

Випадок виробництва агломерату у дослідному періоді з пониженою основністю (1,04) за розрахунками пов'язується із коливанням хімічного складу суміші скрапу.

Показано (таблиця 2), що введення конвертерного шлаку до складу аглошихти в кількості близько 20 кг/т агломерату за рахунок зниження питомої витрати аглоруди і відсіву вапняку на 10 кг/т агломерату кожного викликає зниження вмісту заліза в агломераті на 0,42 – 0,54 % і незначне підвищення основності на 0,01, що в цілому створює можливість реалізувати технологію підготовки сталеплавильних шлаків у аглодоменному виробництві за рахунок зниження витрат на виробництво агломерату й утилізації конвертерного шлаку в кількості близько 30 тисяч тонн у рік.

Попередні висновки свідчать, що головною причиною порушення технології спікання агломерату і вироблення некондиції по основності є значні коливання хімічного складу скрапу по вмісту заліза і основності.

Для усереднення скрапу фракції 10 – 0 мм пропонується :

- Організувати усереднення скрапу на ділянці його відвантаження із відділення шлакопереробки шляхом формування штабелю ємністю не менше 1000 т, постачання скрапу в цех агломерації робити за узгодженим графіком із розвантаженням на аглоштабель по встановленому фронту аналогічно шламовапняковій суміші.

- Продовжити роботи по налагоджуванню устаткування і технології витягування металу зі шлаків фракції 10 – 0 мм на новій установці для підвищення вмісту заліза у скрапу.

За даними роботи [10] на ВАТ «ММК ім. Ілліча» за 2005 рік на сепараційно – сортувальній установці перероблено 900 тис. тонн відвального шлаку зі ступенем вилучення металу зі шлаку 7 – 8 %.

Показано, що завдяки присутності заліза у шлаку і його подальшого окислення виділяється значна кількість тепла і знижується витрата палива на агломерацію на 0,2 – 0,3 кг/кг металевого заліза. При цьому звільнюється територія від шлакових відвалів і знижується екологічна напруженість навколишнього середовища.

Висновки

1. Оцінка економічної ефективності утилізації конвертерних шлаків на Єнакіївському заводі, ВАТ «МК «Азовсталь» і ВАТ «ММК ім. Ілліча» в доменному й агломераційному виробництвах свідчить про його доцільність для заміни сирого вапняку шляхом уведення конвертерного шлаку безпосередньо в доменну піч, чи шляхом підвищення основності агломерату.
2. В результаті аналізу відомих технологічних рішень по використанню сталеплавильних шлаків в аглодоменному виробництві показано, що їх ефективність залежить від складу шихтових матеріалів, складу і питомої витрати шлаку, що вводиться.
3. На підставі розрахунку і лабораторних дослідів запропоновані раціональні варіанти утилізації конвертерного і відвального шлаків у аглошихті. Промислове випробування введення відвальних шлаків до складу аглошихти підтвердило перспективність дослідженого варіанту. Сформульовані рекомендації по зниженню коливань основності і вмісту заліза в агломераті шляхом додаткового усереднювання витягуваних з відвалів шлаків.
4. Виконану роботу доцільно продовжувати з метою відшукування раціональних методів підготовки побічних залізвмісних матеріалів у власному виробництві, зокрема замасленої окалини, як складової аглошихти.

Перелік посилань

1. *Алешин А.А.* Эколого-экономические и нормативно-правовые аспекты обращения с вторичными ресурсами и побочными продуктами промышленности / *А.А. Алешин, Е.А. Казачков, А.В. Остроушко* // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту: Зб. наук. пр. – 2006. – Вип. № 16. – С. 250 – 255.
2. Эффективность использования конвертерного шлака в аглодоменном производстве / *А.А. Бачинин, И.М. Мищенко, К.И. Тканич и др.* // Сталь. – 1985. – № 4. – С. 7 – 10.
3. Использование конвертерных шлаков в доменной плавке / *А.А. Шокул, Е.А. Царицын, Л.Д. Шаркевич, В.П. Лозовой* // Черная металлургия: Бюл. НТИ. – 1982. – № 21. – С. 41 – 43.
4. *Ильченко К.Д.* Использование конвертерных и ферросплавных шлаков в доменном производстве / *К.Д. Ильченко* // Тез. докл. 3 Всесоюзной конф. по проблемам энергосберегающих технологий «Интенсивное энергосбережение в промышленных технологиях». – М.: 1991. – С. 30.
5. Использование конвертерных шлаков в доменном производстве / *И.И. Шестопалов, Г.А. Петров, Г.М. Верцман и др.* // Металлург. – 1990. – № 12. – С. 37 – 38.
6. *Курбацкий М.Н.* Использование шлаков металлургического производства / *М.Н. Курбацкий, Т.А. Курган, Н.С. Игнатьева* // Сталь. – 1992. – № 12. – С. 73 – 74.
7. *Куксенко В.А.* Агломерация шихты с добавками отвального сталеплавильного шлака / *В.А. Куксенко, В.А. Коржавин, Ю.К. Латков* // Всесоюз. научно-технич. конф. «Проблемы теории и технологи подготовки железорудного сырья для доменного процесса и бескоксовой металлургии». – Днепропетровск. – 1990. – С. 134 – 135.
8. Опыт использования мартеновского шлака в аглодоменном производстве / *В.А. Кобелев, А.А. Бондарь, В.А. Зайцев* // 3-й Междунар. конгресс доменщиков «Современный опыт и перспективы развития доменного производства». – Новокузнецк. – 1995. – С.75 – 76.
9. *Голов Г.В.* Развитие переработки отвальных шлаков на НТМК / *Г.В. Голов* // Сталь. – № 1. – С. 73.
10. Внедрение технологии использования металлоотходов обогащенных сталеплавильных (МОС) и сталеплавильного шлака в аглодоменном производстве на ОАО «ММК им. Ильича» / *В.Б. Балаховцев, В.И. Жигарь, В.А. Струтинский и др.* // XIII регион. науч.-технич. конф.: Сб. тез. докл. в 2 т. – Мариуполь: ПГТУ, т. 1. – 2006. – С. 25 – 26.

Рецензент: С.Л. Макуров
д-р техн. наук, проф., ПГТУ

Стаття надійшла 07.04.2009