

DOI: 10.31319/2519-2884.46.2025.2

УДК 669.184

Руденко Р.М., здобувач третього (доктор філософії) рівня вищої освіти,

ORCID: 0009-0008-6207-0107, e-mail: 93rudenko@gmail.com

Сігарьов Є.М., д.т.н., професор, ORCID: 0000-0002-8229-7877, e-mail: en_sigarev@ua.fm**Руденко М.Р.**, к.т.н., доцент, ORCID: 0000-0002-8016-5221, e-mail: 18rudenko@gmail.com**Кашчєв М.А.**, к.т.н., доцент, ORCID: 0000-0002-0938-4384, e-mail: pmz@pmz.dp.ua**Чубіна О.А.**, к.т.н., доцент, ORCID: 0000-0003-2213-5013, e-mail: ms.chubina@ukr.net**Божко К.М.**, к.біол.н. доцент, ORCID: 0000-0002-1481-7164, e-mail: bozhkokn@gmail.com

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

Rudenko Rodion, Postgraduate student**Sigarev Yevhen**, Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Head of the Department of Metallurgy**Rudenko Mykola**, Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate Professor of the Department of Metallurgy**Kashcheev Mykhailo**, Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate Professor of the Department of Metallurgy**Chubina Olena**, Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate Professor of the Department of Metallurgy**Bozhko Kateryna**, Candidate of biological sciences Docent, Associate Professor of the Department of Metallurgy

Dniprovsky State Technical University, Kamianske

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ КОНВЕРТЕРНОГО ШЛАКУ В АГЛОМЕРАЦІЙНІЙ ШИХТІ

У статті представлені результати дослідження використання конвертерного шлаку в якості складових агломераційної шихти. Обґрунтована можливість повернення його основних складових CaO , FeO , Fe_2O_3 , MgO , Al_2O_3 , MnO в цикл металургійного виробництва. Встановлені особливості формування прошарків агломераційної шихти із різним модулем основності за рахунок введення до шихти конвертерного шлаку із розмірами визначеного діапазону, без використання додаткового тракту підготовки шихти. Наведено залежності питомої продуктивності агломераційної машини від фракційного складу частинок конвертерного шлаку, що завантажуються на спікальні візки агломераційної машини за запропонованою технологією, із раціональним вертикальним розподілом матеріалів за перерізом шару шихти. Визначено, що перенесення частини CaO -вмісних матеріалів до нижньої частини шару шихти здатне забезпечити на спікальному візку агломераційної машини більш раціональне використання тепла від згоряння твердого палива в верхній частині шару шихти.

Ключові слова: агломераційна шихта; конвертерний шлак; флюси; прошарки; газопроникність; продуктивність.

The article presents the results of research on the use of converter slag as components of the sintering charge. There is a well-founded possibility of returning its main components CaO , FeO , Fe_2O_3 , MgO , Al_2O_3 , MnO in the cycle of metallurgical production. The peculiarities of the formation of interlayers of the sintering charge with different modulus of basicity due to the introduction of converter slag with the dimensions of the specified range into the charge without using an additional tract of preparation of the charge have been established; the dependence of the specific productivity of the sintering machine on the fractional composition of the converter slag particles loaded onto the sintering carts of the sintering machine according to the proposed technology with a rational vertical distribution of materials across the cross section of the charge. Transferring part of the CaO -containing materials to the lower part of the charge layer can ensure a more rational use of heat from the combustion of solid fuel in the upper part of the charge layer on the sintering cart of the sintering machine.

Keywords: sintering charge; converter slag; fluxes; layers; gas permeability; productivity.

Постановка проблеми

Одним із основних способів підвищення ефективності доменної плавки залишається підвищення якості агломерату [1]. Сучасною технологією виробництва агломерату передбачається використання у складі агломераційної шихти не тільки залізної руди та концентрату, але й значної кількості вторинних матеріалів (відходів металургійного виробництва) у вигляді шламів, пилу, шлаків, що містять залізо, його оксиди та вуглець [2—4]. Ефективність використання вторинних матеріалів в агломераційному виробництві пов'язана із формуванням гранульованої структури та подальшими процесами спікання [5].

При проектуванні агломераційних машин та розробці технології агломерації руд передбачалось використання у шихті зернистої залізної руди, зворотної фракції агломерату та вапняків відносно крупних фракцій. У той же час, на сьогодні у складі шихти використовується значна частка тонкодисперсної сировини та матеріалів. Актуальність дослідження обґрунтовано перманентним збільшенням частки тонкодисперсних матеріалів у складі шихти та відсутністю стадії формування постелі, що укладається на колосникові ґрати (товщиною 20—50 мм у вигляді прошарку зворотної фракції агломерату крупністю 6—25 мм) перед її завантаженням. Указані зміни суттєво впливають на газопроникність шихти, продуктивність агломераційних машин, знижують техніко-економічні показники процесу та потребують енерговитратної ретельної підготовки сировини.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

У процесі агломерації залізорудної сировини використовується значна кількість добавок фракції 0—3 мм (вапно, вапняк), що призводить до погіршення процесу спікання внаслідок зниження газопроникності шару шихти, руйнування гранул та втрат частини шихти за рахунок просипу у колосниковій системі. Інша складова шихти, група вторинної сировини — конвертерний, мартенівський шлаки — відрізняються розмірами частинок, що перевищують 0,010 м.

Встановленими авторами [5] залежностями між швидкістю спікання агломерату та швидкістю фільтрації, підтверджено суттєвий вплив на процес агломерації шихти, якості її підготовки, параметри просмоктування крізь шар шихти газового потоку, швидкість і повноту згоряння твердого палива. Наявність залишків сировини та частинок агломерату у просторі між колосниками й елементами спікального візку призводить до збільшення маси конвеєрної стрічки, негативних змін у тепловому навантаженні корпусів візку та підвищення температури металоконструкцій та невиправданих перевитрат енергії на процес.

До одного із резервів покращення техніко-економічних показників роботи агломераційної машини відносять зниження газодинамічного опору колосникових ґрат за рахунок удосконалення конструкції колосників [6]. У вказаному дослідженні показано, що ділянка газового тракту від вакуум-камер до ексгаустера створює 10÷15 % опору і свідчить про визначну роль шару шихти на спікальних візках і колосниковому полі агломашини у створенні основного газодинамічного опору.

Порошкоподібний стан шламів, що використовують у складі шихти і високий ступень їх вологості, знижує ефективність їх застосування, що пов'язано із низькою якістю гранульованої структури після огрудування [4]. Зменшення вологості шламу за рахунок механічних схем або підсушування нагріванням, призводять до підвищення собівартості, збільшення тривалості підготовки сировини, порушення безперервності процесів, перевитрат флюсів (вапна, вапняку) і необхідності виділення площі для розміщення додаткових ланцюгів апаратів [6, 7].

У свою чергу, робота агломераційних машин без захисного прошарку, т. зв. постелі, призводить до значних втрат фракції тонкодисперсних шихтових матеріалів просипом крізь колосникові ґрати. Так, при використанні у складі агломераційної шихти на МК «ММК» (м. Маріуполь) значної кількості шламів (до 300—370 кг/т агломерату) висота шару шихти складала 250—270 мм [3, 7] при збільшенні висоти газопроникність шару знижувалась і процес спікання практично зупинявся.

Для сировинних умов виробництва агломерату у Дніпровському регіоні України раніше запропоновано [8] технологію виробництва агломерату, що включає рівномірне укладання карбонатного флюсу на постіль перед завантаженням шихти, при цьому завантаження шихти на колосникові ґрати здійснюється одночасно із формуванням постелі. Сформована за таким спо-

собою постіль являє собою шар флюсів із фракційним складом матеріалів між 0,050 м і величиною, що перевищує поперечний переріз зазору між колосниками спікальних візків.

Актуальність дослідження пов'язана також із необхідністю збільшення обсягів використання вторинної сировини — кінцевих конвертерних шлаків у якості замінича частини флюсів та залізовмісних матеріалів (залізної руди та концентратів), що сприятиме зменшенню екологічного навантаження на навколишнє середовище, обсягів їх накопичення у складі техногенних родовищ та реалізації концепції економіки замкнутого циклу в рамках рішень саміту ООН з клімату (2019 р.) і Європейської комісії щодо забезпечення вуглець нейтральності Європи до 2050 року (Green Deal або «зеленого курсу») у напрямку зменшення використання викопного вугілля [9].

Враховуючи технологічні можливості використання вторинних матеріалів у агломераційній шихті, доцільним є дослідження доцільності використання конвертерного шлаку у вигляді добавок визначеного фракційного складу в якості залізо- та CaO-вмісної вторинної сировини (табл. 1) для формування у агломераційному шарі прошарків із різним модулем основності. Заміна частини вапна та вапняку кінцевим конвертерним шлаком дозволяє зменшити витрату твердого палива, що пов'язано [10] зі зменшенням тривалості дисоціації карбонатних з'єднань та покращенням термодинамічних умов у зоні температур 610—800 °C при агломерації.

Звичайний та високозакисний агломерат із основністю 1,2—1,4 (табл. 1, [8]), що виготовляється на металургійних підприємствах України, відрізняється найменшою міцністю та відновлюваністю.

Таблиця 1. Хімічний склад залізородних агломератів, отриманих із використанням добавок металургійних відходів та типового конвертерного шлаку

Найменування	Хімічний склад, %							
	Fe _{заг.}	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Осн.
Агломерат звичайний	52,84	12,06	62,09	9,85	0,67	12,08	1,21	1,226
Агломерат високоосновний	50,48	13,75	56,84	6,42	0,53	20,03	1,07	3,12
Агломерат високозакисний	53,21	37,20	34,68	10,06	1,30	13,90	1,90	1,382
Шлак кінцевий конвертерний	17-19	14-21	-	13-15	0,5-2,6	49-52	4,4-8,7	2,3-2,6

Способи отримання агломерату з підвищеною міцністю, розроблені Колесановим Ф.Ф. зі співробітниками [11], Єфіменком Г.Г. зі співробітниками [12], Кривенком С.В. [13] та ін. є енерговитратними та складними для реалізації у промислових умовах. Так, згідно зі способом [12], передбачається роздільне дозування та огрудування компонентів шихти основністю 0,56 і 2,56 з подальшим формуванням шару шихти з меншою основністю у верхніх її горизонтах і більшою — у нижніх, що забезпечує середню основність 1,2. Ще більш складним виглядає двошарове спікання [12] із введенням у потік низькоосновної шихти через визначені проміжки часу додаткової кількості флюсу, палива та води. За таким способом можливим вважається [13] отримання шихт основністю 0,5—1,0 та вище 1,6. Завдяки реалізації способу двошарового спікання [12], передбачається отримання агломерату із більш рівномірним, ніж у [13], розподілом властивостей за висотою шару. Досягти зазначеного ефекту запропоновано за рахунок природної сегрегації шихти під час руху від барабана-огрудувача до аглострічки. В такому варіанті додатковий флюс (вапняк фракції 0—3 мм) подають у частину потоку огрудуваної шихти (з основністю < 1,0), яка при завантаженні на агломашину переважно потрапляє у нижню частину шару, що забезпечує основність останньої більше 2,0. За способом двошарового спікання шихти [8], верхній та нижній шари агломераційної шихти мають індекс основності до 0,8 і 2,5—3,0 відповідно. До основних недоліків способів [11—13] можна віднести необхідність попередньої багатоступеневої підготовки шихти та складність роздільного формування прошарків із заданим модулем основності.

Формулювання мети дослідження

Метою роботи є дослідження впливу фракційного складу добавок конвертерного шлаку у якості флюсу до агломераційної шихти на техніко-економічні та енергетичні показники процесу та розробка способу формування шару шихти з різним модулем основності по висоті шару без використання додаткового тракту підготовки шихти, з підвищенням механічної міцності агломерату та зниженням питомої витрати твердого палива та прошарку постелі із складових шихти.

Виклад основного матеріалу

До основних причин недостатньої міцності агломератів основністю 1,2—1,4 відносять [5] їх складний мінералогічний склад, що включає мінерали з підвищеною температурою плавлення: $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ($t_{\text{пл}} = 1478^\circ\text{C}$), $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ($t_{\text{пл}} = 1475^\circ\text{C}$), $\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ($t_{\text{пл}} = 1478^\circ\text{C}$) і складною відновлюваністю. Руйнування агломерату обумовлено переходом $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ при 675°C з β - у γ -фазу зі збільшенням об'єму на 12 %. Структура такого агломерату характеризується наявністю крупних ($> 2\text{—}70$ мкм) мікропор і відсутністю достатньої кількості рідкого зв'язуючого.

У свою чергу, по мірі збільшення основності в агломераті збільшується частка мінералів з FeO : $\text{CaO}\cdot\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$ ($t_{\text{пл}} = 1210^\circ\text{C}$), $\frac{1}{2}\text{CaO}\cdot\frac{1}{2}\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$ ($t_{\text{пл}} = 1130^\circ\text{C}$), $\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$, що забезпечує спрощення відновлюваності, підвищує об'єм рідких фаз-сполучних, щільність структури та зростання міцності агломерату.

Можливість використання цінних складових кінцевого конвертерного шлаку FeO , CaO , MgO та ін. (табл. 1) у якості додаткових джерел оксидів заліза та флюсуючих обмежено недостатнім обсягом даних стосовно характеру їх впливу на формування постелі, продуктивністю агломації, зміною витрат твердого палива та механічної міцності отриманого агломерату.

Порівняльний аналіз показників у даній роботі проводили із використанням промислових та експериментальних даних, отриманих в умовах агломераційного цеху ПрАТ «Камет-Сталь» та лабораторії агломераційних процесів кафедри металургії ДДТУ відповідно.

У даній роботі викладено результати експериментальних досліджень з використання кінцевого конвертерного шлаку в агломераційній шихті, наближеній за складом до типової агломераційного цеху ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ», згідно зі способом, запропонованим у [8]. В ході досліджень використовували залізорудний концентрат Інгuleцького гірничо-збагачувального комбінату, залізну руду, шлам металургійного виробництва, колошниковий пил, коксовий дріб'язок. У якості флюсів — вапно, вапняк звичайний, вапняк доломітизований і кінцевий конвертерний шлак конвертерного цеху ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ». В якості твердого палива використовувався коксовий дріб'язок.

Після дозування, згідно зі планом експерименту, шихтові матеріали змішувалися, зволювалися і огрудовувалися. У подальшому, за допомогою завантажувального пристрою, з підготовленої шихти формували прошарки на спікальних візках агломераційної машини та проводили її спікання. У ході експериментів забезпечували рівномірну укладку різних типів флюсу в постіль, при цьому завантаження шихти на постіль здійснювали одночасно із формуванням на колосниковій решітці прошарку заданого фракційного складу згідно зі способом [3, 8].

Середня витрата конвертерного шлаку у проведених експериментах складала 52—65 кг/т агломерату. Вміст оксидів заліза в шлаку коливався в межах 12—25 %, що за рахунок екзотермічного ефекту реакцій окислення внесеного FeO , забезпечило зниження на 7—10 % витрату твердого палива.

На рис. 1 зображено типовий завантажувальний пристрій агломераційної машини, за допомогою якого формуються прошарки шихтових матеріалів на спікальному візку в умовах агломераційного цеху. Кут нахилу лотка 1 завантажувального пристрою (рис. 1) складає $40\text{—}60^\circ$ до поверхні колосникової решітки спікальних візків 2. Указаний кут нахилу лотка дозволяє отримати максимальну складову швидкості скочування та заданий розподіл фракційного складу по висоті шару, що спікається. Згідно із запропонованою технологією [8], для подачі агломераційної шихти на спікальні візки приводиться в рух барабанний живильник 3, який за рахунок сил тертя витягує гранули шихти із прийомного бункера 4. При цьому при укладанні агломераційної шихти на візок за рахунок сегрегації формується постіль, що являє собою шар крупноогрудованої фракції шихти та конвертерного шлаку з широким інтервалом крупності при

низькому рівні вологості; прошарок основної шихти та верхній прошарок з дрібних фракцій аглошихти.

Сформовані гранули шихти, що потрапляють на робочу поверхню похилого лотка 3, набувають кінетичної енергії, величина якої відповідає їхньому розміру та питомій масі, та за рахунок сегрегації пошарово укладаються на спікальні візки 2 (рис. 1).

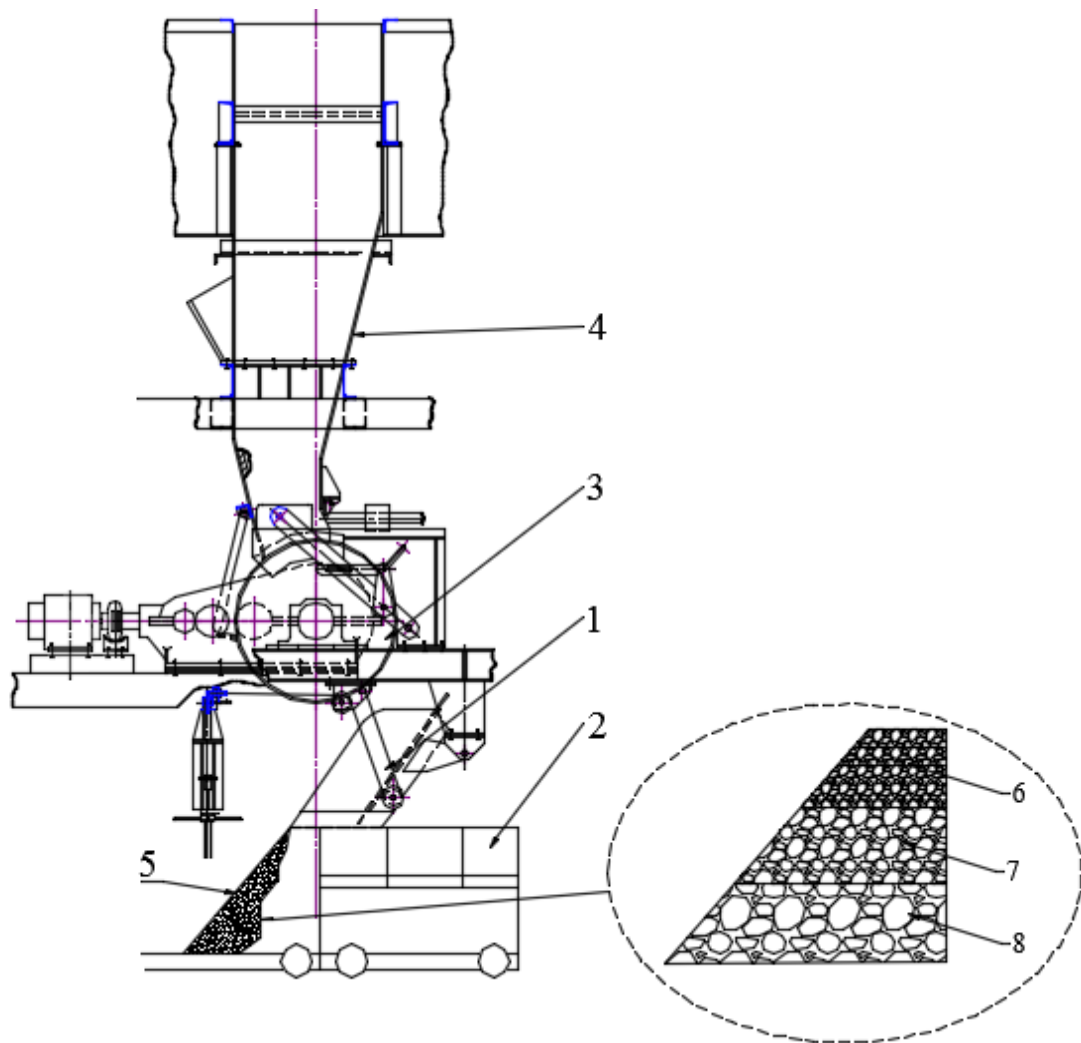


Рис. 1. Схема формування постелі та шару агломераційної шихти (б) з використанням завантажувального пристрою (а) агломераційної машини АКМ-75 ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»:

1 — приймальний бункер агломераційної шихти; 2 — живильник барабанного типу; 3 — похилий лоток для формування шару шихти; 4 — спікальний візок; 5 — шар шихти; 6 — верхній прошарок з дрібних фракцій аглошихти; 7 — середній прошарок — основний склад аглошихти; 8 — прошарок постелі (грубозерниста структура: крупнооградкована фракція шихти та конвертерний шлак з широким інтервалом крупності при низькому рівні вологості)

За результатами досліджень встановлено, що великі фракції агломераційної шихти, що складаються із флюсу 5 фракції 0,006—0,050 м, при сегрегації скочуються в нижні, а більш дрібні фракції шихти, включно зі флюсом, розміщуються у верхній частині шару 6, що спікається. Формування постелі 8 із флюсу, що складається в основному з кінцевого конвертерного

шлаку та крупнооградкованої шихти, забезпечує зменшення втрат: винесення дрібних частинок тонкодисперсної частини агломераційної шихти (шламів, пилу та залізородного концентрату), що не пройшли стадію огрудкування, знижує ступінь зносу колосників і лопаток ексгаустера.

У порівнянні зі штатною технологією спікання ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ», покращився гранулометричний склад агломерату та підвищилась газопроникність агломераційного шару. Останнє позитивно вплинуло на вертикальну швидкість спікання, що, у свою чергу, призвело до підвищення питомої продуктивності агломераційної установки у середньому на 5 % (рис. 2). Вміст фракції придатного агломерату (+ 6 мм) після обробки збільшено на 6,2 % (абс.), а частку дрібняку (< 6 мм) зменшено на 18 % (абс.) відповідно.

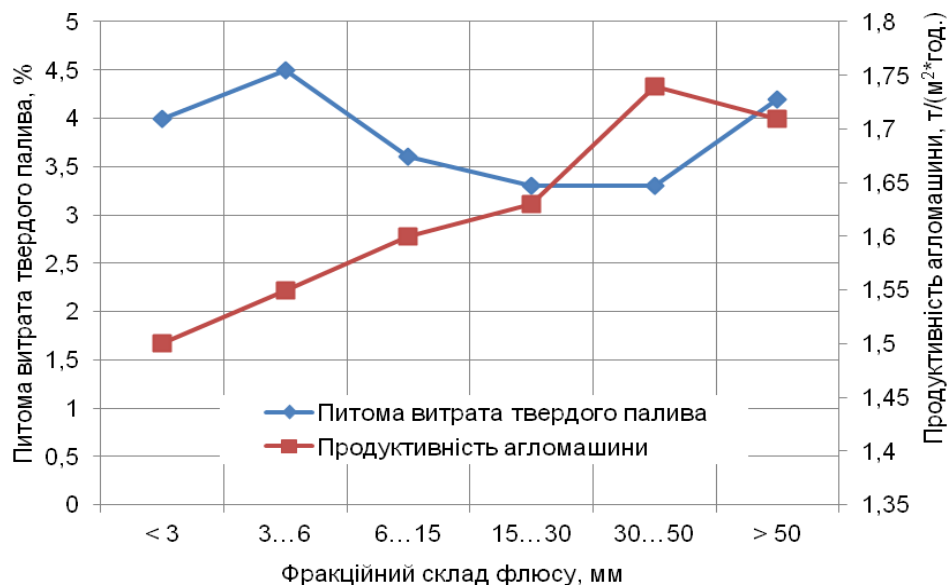


Рис. 2. Вплив фракційного складу флюсу на питому витрату твердого палива та продуктивність агломераційної машини

Згідно до результатів обробки отриманих даних, вплив крупності частинок конвертерного шлаку ($d_{\text{кш}}$) у складі флюсу на зміну продуктивності Π агломераційної машини може бути описано рівнянням:

$$\Pi = 0,0471d_{\text{кш}} + 1,4567; R^2 = 0,9198. \quad (1)$$

Лінійний характер впливу фракційного складу добавок конвертерного шлаку (1) пояснюється зменшенням витрати тонкодисперсної складової шихти зі збільшенням витрат і крупності конвертерного шлаку.

Вплив фракційного складу конвертерного шлаку на витрати Y твердого палива (коксового дрібняку), у свою чергу, може бути представлено у вигляді рівняння:

$$Y = 0,0981d_{\text{кш}}^3 - 0,9306d_{\text{кш}}^2 + 2,3284d_{\text{кш}} + 2,5667; R^2 = 0,9099. \quad (2)$$

Збільшення розмірів частинок флюсів призводить до зменшення кількості тонкоподрібнених матеріалів і витрати твердого палива (рис. 2).

Відповідно до отриманих результатів, залежність виходу зворотної фракції агломерату $M_{\text{зв}}$ при використанні кінцевого конвертерного шлаку у складі флюсу має наступний вигляд:

$$M_{\text{зв}} = 0,0194d_{\text{кш}}^3 - 0,0452d_{\text{кш}}^2 - 0,4361d_{\text{кш}} + 16,6; R^2 = 0,9298. \quad (3)$$

Встановлено, що при використанні конвертерного шлаку мінімізація виходу дрібняку (15,2 %) досягається при введенні частинок шлаку фракції 15—30 мм (рис. 3), що пояснюється зменшенням кількості частинок конвертерного шлаку, при незмінній їх частці у шихті, пропорційно збільшенню їх розмірів.

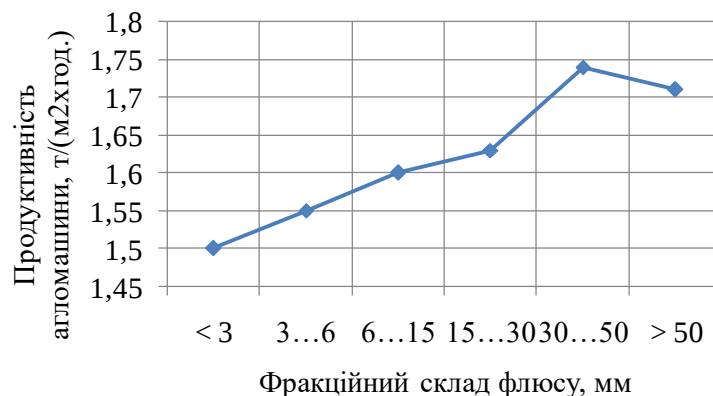


Рис. 3. Залежність виходу зворотної фракції агломерату та продуктивності агломераційної машини від фракційного складу флюсу

Висновки

Залучення кінцевого конвертерного шлаку до складу агломераційної шихти призводить до скорочення його накопичення у техногенних родовищах з поверненням його основних складових CaO , FeO , Fe_2O_3 , MgO , Al_2O_3 , MnO в цикл металургійного виробництва.

У порівнянні зі штатною технологією спікання, прийнятою на ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ», при використанні запропонованої технології досягнуто покращення гранулометричного складу агломерату, підвищення газопроникності агломераційного шару. Це позитивно вплинуло на вертикальну швидкість спікання та зумовило підвищення питомої продуктивності агломераційної установки у середньому на 5 %. Вміст фракції придатного агломерату (+ 6 мм) після обробки збільшено на 6,2 % (абс.), а частку дрібняку (< 6 мм) зменшено на 18 % (абс.) відповідно. Мінімізація виходу дрібняку (15,2 %) досягається при введенні частинок шлаку фракції 15—30 мм.

Доведено можливість формування прошарків агломераційної шихти із різним модулем основності за рахунок введення до шихти частинок конвертерного шлаку з розмірами визначеного діапазону, без використання додаткового тракту підготовки шихти, з підвищенням механічної міцності агломерату та зниженням питомої витрати твердого палива на 7—10 %.

Встановлено залежності питомої продуктивності агломераційної машини від крупності частинок конвертерного шлаку, що завантажуються на спікальні візки агломераційної машини з раціональним вертикальним розподілом матеріалів за перерізом шару шихти. Перенесення частини CaO -вмісних матеріалів в нижню частину шару шихти, за рахунок різної його крупності, забезпечить на спікальному візку агломераційної машини більш раціональне використання тепла від згоряння твердого палива в верхній частині шару шихти.

Використання в складі агломераційної шихти конвертерного шлаку обмежено вмістом у останньому шкідливих домішок S і P. Недостатню кількість заліза можливо компенсувати включенням до складу агломераційної шихти окалини прокатних цехів.

Список використаної літератури

1. Ефименко Г.Г., Ковалев Д.А., Мовчан В.П. и др. Состояние, проблемы и перспективы подготовки железорудного сырья для металлургического передела. // Теория и практика производства чугуна: Труды международной научно-технической конференции, посвященной 70-летию КГТМК Криворожсталь. Кривой Рог, 2004. С. 27–37.
2. Мищенко И.М. Утилизация металлургических шламов на аглофабриках Украины. *Металлург.* № 6. 2000. С. 30–41.
3. Добромиров Ю.Л., Якушев В.С., Нестеров А.С., Гладков Н.А. Разработка и реализация перспективной технологии утилизации железосодержащих отходов при производстве агломерата // Сб. науч. трудов «Фундаментальные и прикладные проблемы чёрной металлургии». Вып. 5. К.: Наукова думка. 2002. С. 74–77.
4. Назюта Л.Ю., Косолап Н.В., Губанова А.В. Анализ сырьевой базы металлургического про-

- изводства: стратегический аспект. Железородные материалы. «Металл и литье Украины», 2005, № 9–10. С. 3–7.
5. Ковалев Д.А., Ванюкова Н.Д., Иващенко В.П., Крикунов Б.П., Ягольник М.В., Бойко М.Н. Теоретические основы производства окучкованного сырья: учебное пособие для высших учебных заведений. НМетАУ. Днепропетровск: ИМА-пресс. 2011. 467 с.
 6. Sigarev, Ye.M., Rudenko, R.M., Chubin, K.I., Kashcheev, M.A., Rudenko, M.R., and Chubina, O.A. New technical solutions for increasing the active cross-section area of the fire grates of the sintering machine / Science and Innovation. № 20(1). P. 87–97.
 7. Нестеренко С.В., Овчинников Н.А., Хоменко В.М. Физические свойства металлургических шлаков. //Справочное издание. Донецк, «Донеччина», 2001. 224 с.
 8. Спосіб виробництва агломерату: пат. 52753 Україна, МПК C22B1/16, C22B1/20. опубл. 15.01.2003, Бюл. № 1.
 9. <https://ecolog-ua.com/news/ekonomika-zamknеноgo-tyklu-prynsyphu-ta-perspektyvy-vprovadzhennya-v-ukrayini>
 10. Ожогин В.В., Семакова В.Б., Русских В.П. Теория и практика утилизации измельченных металлургических отходов (современное состояние и перспективы развития): монография в 2 т. Т.1. Теория и технология использования отходов в аглодоменном производстве. Мариуполь: ПГТУ, 2018. 350 с.
 11. Совершенствование агломерационного процесса / Колесанов Ф.Ф., Хлопонин И.С., Кривошеев В.Н., Чикуров В.И. Київ: Техніка, 1983. 110 с.
 12. Способ двухслойного спекания агломерационной шихты. а.с. 245195 СРСР; заявл. 22.08.1967; опубл. 25.04.1969, бюл. №12.
 13. Кривенко С.В., Божков Г.Г. Рациональное распределение флюса по высоте агломерируемого слоя. *Металл и литье Украины*. 2015. № 6 (265). С. 23–25.

STUDY OF THE EFFICIENCY OF USE OF CONVERTER SLAG IN THE AGGLOMERATION CHARGE

Abstract

The article raises a question related to the need to increase the use of secondary raw materials — final converter slags as a substitute for part of the fluxes and iron-containing materials (iron ore and concentrates), which will contribute to reducing the ecological burden on the environment, the volume of their accumulation as part of man-made deposits and implementation of the concept of a closed-cycle economy within the framework of the decisions of the UN climate summit (2019) and the European Commission on ensuring carbon neutrality of Europe by 2050 (Green Deal or "green course") in the direction of reducing the use of fossil coal.

For the raw material conditions of agglomerate production, a technology of agglomerate production is proposed, which includes the uniform laying of carbonate flux on the "bed" before loading the charge, while loading the charge onto the grate grates is carried out simultaneously with the formation of the "bed". The "bed" formed in this way is a layer of fluxes with a fractional composition of materials between 0.050 m and a value exceeding the cross section between the grates of the spical carts.

The results of research on the use of converter slag as components of agglomeration charge are presented. There is a well-founded possibility of returning its main components CaO, FeO, Fe₂O₃, MgO, Al₂O₃, MnO in the cycle of metallurgical production.

The peculiarities of the formation of interlayers of the sintering charge with different modulus of basicity due to the introduction of converter slag with the dimensions of the specified range into the charge without using an additional tract of preparation of the charge have been established; dependence of the specific consumption of solid fuel, the output of the reverse fraction of agglomerate and the productivity of the sintering machine on the fractional composition of the converter slag particles loaded on the sintering carts of the sintering machine according to the proposed technology with a rational vertical distribution of materials along the section of the charge.

Transferring part of the CaO-containing materials to the lower part of the charge layer can ensure a more rational use of heat from the combustion of solid fuel in the upper part of the charge layer on the sintering cart of the sintering machine.

References

- [1] Efymenko Gh.Gh., Kovalev D.A. & Movchan V.P. (2004). Sostoianie, problemy i perspektivy podghotovki zhelezorudnogho syriia dlia metallurhicheskogho peredela [Condition, problems and prospects of preparation of iron ore raw materials for metallurgical processing] // *Teoryja i praktyka proyzvodstva chughuna – Theory and practice of cast iron production: Proceedings of the international scientific and technical conference dedicated to the 70th anniversary of KGGMK Krivorozhstal.* Krivoi Rogh. P. 27–37. [in Russian].
- [2] Mishhenko Y.M. (2000). Utilizatsiia metallurhicheskikh shlamov na aghlofabrikakh Ukrainy [Utilization of metallurgical sludge at sintering plants in Ukraine]. *Metallurgh – Metallurgist*, № 6. P. 30–41. [in Russian].
- [3] Dobromirov Ju.L., Jakushev V.S., Nesterov A.S. & Ghladkov N.A. (2002). Razrabotka i realy-zatsiia perspektivnoi tekhnolohii utilizatsii zhelezosoderzhashhikh otkhodov pri proyzvodstve aghlomerata [Development and implementation of a promising technology for the disposal of iron-containing waste in the production of agglomerate] // *Sb. nauch. trudov «Fundamentalnye i prikladnye problemy chernoï metallurghii» – «Fundamental and applied problems of ferrous metallurg»*. Issue 5. Kyiv: Naukova dumka. P. 74–77. [in Ukrainian].
- [4] Naziuta L.Ju., Kosolap N.V. & Ghubanov A.V. (2005). Analiz syr'evoi bazy metal-lurghicheskoho proyzvodstva: strateghicheskii aspekt. Zhelezorudnye materialy. [Analysis of the raw material base of metallurgical production: strategic aspect. Iron ore materials.] *Metall i lyt'e Ukrainy – Metal and casting of Ukraine*, № 9–10. P. 3–7. [in Ukrainian].
- [5] Kovalev D.A., Vanyukova N.D., Ivashhenko V.P., Krikunov B.P., Yagolnik M.V., & Boyko M.N. (2011). *Teoretycheskie osnovy proyzvodstva okuskovannogho syriia: uchebnoe posobyie dlia vysshnykh uchebnykh zavedenii. Theoretical foundations of the production of agglomerated raw materials. Textbook for higher educational institutions* NMetAU. Dnepropetrovsk: IMA-press. 467 p. [in Ukrainian].
- [6] Sigarev, Ye.M., Rudenko, R.M., Chubin, K.I., Kashcheev, M.A., Rudenko, M.R., and Chubina, O.A. (2024). New technical solutions for increasing the active cross-section area of the fire grates of the sintering machine / *Science and Innovation*. Vol. 20 №1. P. 87–97.
- [7] Nesterenko S.V., Ovchynnikov N.A., Khomenko V.M. (2001). *Fizicheskie svoistva metal-lurghicheskikh shlakov [Physical properties of metallurgical slags]* // *Spravochnoe izdanie*. Donetsk, «Donechchyna». 224 p. [in Russian].
- [8] Sposib vyrobnytsva aghlomeratu: pat. 52753 Ukrainia, MPK C22B 1/16, C22B 1/20. opubl. 15.01.2003, Bjul. №1. [in Ukrainian].
- [9] <https://ecolog-ua.com/news/ekonomika-zamknennogo-cyklu-pryncypy-ta-perspektyvy-vprovadzhennya-v-ukrayini>
- [10] Ozhoghin V.V., Semakova V.B. & Russkikh V.P. (2018). Teoriia i praktika utilizatsii izmelchen-nykh metallurghicheskikh otkhodov (sovremennoe sostoianie i perspektivy razvitiia) [Theory and practice of recycling crushed metallurgical waste (current status and development prospects)]: monoghrafiia v 2 t. T.1. *Teoriia i tekhnologhiia ispolzovaniia otkhodov v aghlodomennom pro-izvodstve – Theory and technology of waste utilization in agglomeration and blast furnace pro-duction*. Mariupol: PGhTU, 350 p. [in Russian].
- [11] Kolesanov F.F., Khloponin Y.S., Krivosheev V.N. & Chikurov V.Y. (1983). *Sovershenstvovanie aghlomeratsionnogho processa [Improving the agglomeration process]* Kyiv: Tekhnika. 110 p. [in Ukrainian].
- [12] Sposob dvukhsloinogho spekaniia aghlomeratsionnoi shykhty [Method of two-layer sintering of ag-glomeration batch.] a.s. 245195 SRSR; zaiavl. 22.08.1967; opubl. 25.04.1969, biul. №12. [in Russian].
- [13] Krivenko S.V., Bozhkov Gh.Gh. (2015). Ratsionalnoe raspredelenie fliusa po vysote aghlomeriruemogo sloia [Rational distribution of flux along the height of the agglomerated layer]. *Metall i lyt'e Ukrainy – Metal and casting of Ukraine*, № 6 (265). P. 23–25. [in Ukrainian].

Надійшла до редколегії 21.01.2025