

МЕТАЛУРГІЯ ЧАВУНУ

УДК 622.781:622.788.3(622.788.5)

doi: 10.31498/2225-6733.36.2018.142462

© Кассім Д.О.¹, Лялюк В.П.², Журавльов Ф.М.³,
Ляхова І.А.⁴, Чупринов Є.В.⁵**ГОЛОВНИЙ НАПРЯМОК ІННОВАЦІЙНОГО ВДОСКОНАЛЕННЯ
ДОМЕННОЇ ТЕХНОЛОГІЇ – ВИКОРИСТАННЯ ОДНОГО ВИДУ
ЗАЛІЗОРУДНОЇ СИРОВИНИ, ЩО ПОЄДНУЄ КРАЩІ ВЛАСТИВОСТІ
АГЛОМЕРАТУ ТА ОКАТИШІВ**

Ефективна виплавка чавуну в доменних печах давно вимагає використання однорідного офлюсованого і окускованого залізозмісного матеріалу – «локальних спеків», отриманих за технологією виробництва окатишів з високим вмістом заліза і залишковим вуглецем, мінімальним вмістом кремнезему, високими характеристиками міцності в холодному стані, а також в процесі нагрівання і відновлення в доменній печі.
Ключові слова: окатиші, агломерат, залишковий вуглець, металізована сировина, локальні спеки.

*Кассим Д.А., Лялюк В.П., Журавлёв Ф.М., Ляхова И.А., Чупринов Е.В. Главное направление инновационного совершенствования доменной плавки – использование одного вида железорудного сырья, объединяющего лучшие свойства агломерата и окатышей. Эффективная выплавка чугуна в доменных печах давно требует использования однородного офлюсованного и окускованного железосодержащего материала – «локальных спеков», полученных по технологии производства окатышей с высоким содержанием железа и остаточного углерода, минимальным содержанием кремнезема, высокими прочностными характеристиками в холодном состоянии, а также в процессе нагрева и восстановления в доменной печи.
Ключевые слова: окатыши, агломерат, остаточный углерод, металлизированное сырье, локальные спеки.*

D.O. Kassim, V.P. Lyalyuk, F.M. Zhuravlev, I.A. Lyakhova, E.V. Chuprinov. Main direction of the innovative improving of the blast furnace technologies – use of one type of iron raw material, combining the best properties of agglomerate and pellets. The known reserves of intensification and development of blast furnace technology are almost exhausted, which requires the search for new advanced technologies of improving the blast furnace smelting. One such area is the use of new types of iron ore in the blast furnace, without the shortcomings of traditional iron ore materials – agglomerate and pellets. Use of iron ore which will not only meet all the requirements of modern blast furnaces, but also does not require expensive re-equipment of agglomeration factories is an urgent task. Effective smelting of cast iron in blast furnaces necessitates the use of a uniformly fluxed and agglomerated iron-containing material – «local specs» obtained by the production technology of pellets with a high iron content and residual carbon, minimal silica content, high strength characteristics in cold condition, as well as during heating and reduction in a blast

¹ канд. техн. наук, доцент, Криворізький металургійний інститут НМетАУ, м. Кривий Ріг

² д-р техн. наук, професор, Криворізький металургійний інститут НМетАУ, м. Кривий Ріг, lyalyuk.vitalij@mail.ru

³ канд. техн. наук, доцент, Криворізький металургійний інститут НМетАУ, м. Кривий Ріг

⁴ канд. техн. наук, доцент, Криворізький металургійний інститут НМетАУ, м. Кривий Ріг

⁵ канд. техн. наук, ст. викладач, Криворізький металургійний інститут НМетАУ, м. Кривий Ріг, itchupa@gmail.com

furnace. The developed technology makes it possible to obtain a uniform fluxed agglomerated material with high metallurgical characteristics. The research allowed to work out optimal charge composition for obtaining a mixture of high- and low-temperature pellets, their proportion, and thermohardening modes, making it possible to carry out the process both at high temperatures of heating and cooling, and in an atmosphere with a reduced oxidation potential as well to reduce carbon burnout and to protect the metallized part of the charge from oxidation. Comparative characteristics of technological production indicators and metallurgical properties of the produced agglomerated iron-ore materials (agglomerate and pellets) and the obtained agglomerated material show, that it has the best properties of traditional types of iron ore (granulometric composition, total Fe content, residual carbon content, basicity, strength characteristics in the cold state and during the reduction process, pressure drop of the layer during the reduction, shrinkage of the layer, final reduction degree and angle of repose), and also does not have their negative properties.

Keywords: pellets, agglomerate, residual carbon, metallized raw materials, local specs.

Постановка проблеми. Ще в минулому столітті були визначені основні напрямки розвитку технології виплавки чавуну в доменних печах. До них відносили збільшення об'єму доменних печей, підвищення температури гарячого дуття, збагачення дуття киснем, підвищення тиску газу на колошнику, вдування в піч природного і коксового газів, мазуту і пиловугільного палива, оптимізацію розподілу шихтових матеріалів на колошнику із застосуванням нових завантажувальних пристроїв, вдосконалення розподілу газового потоку в горні доменної печі, автоматизацію доменної плавки.

В даний час зазначені вище основні напрямки розвитку технології виплавки чавуну в доменних печах практично освоєні. Питання про збільшення об'єму доменних печей на порядку денному вже не стоїть. Об'єм печей 5000-5500 м³ достатній не тільки з технологічної, а й з економічної точки зору. Безшахтні повітрянагрівачі Калугіна забезпечують температуру гарячого дуття до 1300°C і вище. Підвищення тиску колошникового газу, яке в СРСР не опускалося нижче 250 кПа, з метою інтенсифікації доменної плавки в даний час використовується на доменних печах частіше для підтримки на оптимальному рівні загального перепаду статичного тиску газу в печі. Технологія вдування природного і коксового газів, а також мазуту, добре освоєна. Сьогодні найбільш широко використовується технологія вдування в фурми доменної печі природного газу і пиловугільного палива (ПВП). Причому при вдуванні ПВП досягаються найвищі техніко-економічні показники доменної плавки. Сучасні засипні апарати, наприклад лотковий апарат фірми «Paul Wurth» і роторний завантажувальний пристрій, можуть забезпечити будь-який необхідний розподіл шихтових матеріалів на колошнику доменної печі. Питання контролю розмірів зон горіння і регулювання розподілу газового потоку в горні доменної печі також добре відпрацьовані. З появою сучасної обчислювальної техніки і нових приладів багато проблемних питань контролю технологічних параметрів доменної плавки в основному вирішені.

Найважливішим напрямком удосконалення технології доменної плавки, який залишається актуальним і має випереджати в своєму розвитку всі інші, – це забезпечення доменних печей високоякісними шихтовими матеріалами (коксом і залізовмісною сировиною).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Якість коксу є одним з головних параметрів, що визначають хід і результати доменної плавки. Оцінюється вона за фізичними показниками (міцність, стиранність, фракційний склад), хімічним складом і реакційною здатністю. За хімічним складом кокс повинен містити максимальну кількість вуглецю, а також мінімальну кількість золи і сірки. За ситовим (фракційним) складом кокс повинен бути однорідним за крупністю, мати мінімальний вміст дрібних (менше 25 мм) і крупних (понад 80 мм) фракцій, мати високу міцність в холодному і гарячому станах.

Для сучасної доменної плавки кокс повинен відповідати вимогам, запропонованим, наприклад, за підсумками роботи V Міжнародного конгресу доменників [1]: показник міцності M_{25} – не менше 90%; показник стирання M_{10} – не більше 6%; вміст фракції +80 мм – не більше 5%; вміст фракції –25 мм – не більше 5%; коливання вологості в обидві сторони – не більше 0,5%; реакційна здатність CRI – 23-26%, міцність після обробки CO_2 CSR – 70%.

Кокс з високими показниками холодної міцності ($M_{25} = 90\%$) і стирання ($M_{10} = 5\%$) при

вмісті класу –25 мм 3,5%, $CRI \leq 27\%$ і $CSR \geq 65\%$ виробляють на батареї №10-біс ПАТ «Алчевськкокс», де використовуються технології трамбування шихти і сухого гасіння коксу. При цьому високоякісний кокс отримують з шихти, в якій частка добреспіклого вугілля (при відсутності марки К) дорівнює 33,9%, а частка газового і слабоспіклого вугілля – 66,1% [2]. В даний час технологія трамбування вугільної шихти впроваджується на нових коксових батареях №5 і №6 коксохімічного виробництва ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» (АМКР).

Можна констатувати, що доменники визначилися з вимогами до якості коксу, а виробники коксу можуть виробляти кокс потрібної якості. Але проблема підвищення якості залізородної сировини в повній мірі поки не вирішена. Ще з середини минулого століття З.І. Некрасов із співавторами відзначали, що в використанні нових методів підготовки шихтових матеріалів до доменної плавки зроблено невиправдано мало, хоча рішення цієї проблеми є визначальною умовою досягнення високих технічних та економічних показників виробництва чавуну. Суттєве поліпшення рудопідготовки до рівня, що відповідає вимогам сучасного доменного виробництва, є однією з найважливіших задач. Тільки за цієї умови може бути досягнутий к.в.к.о. доменних печей 0,3-0,4 м³·доб./т і питома витрата коксу 300-350 кг/т переробного чавуну [3].

Ця проблема залишається такою ж гострою і сьогодні. Більш того, вона загострилася у зв'язку зі зниженням якості залізних руд, що видобуваються, викликаним вичерпанням запасів багатих руд і необхідністю розробки бідніших родовищ. Збіднення сировини, що видобувається, сприяло широкому поширенню глибокого збагачення залізних руд, яке супроводжується збільшенням обсягу виробництва тонкоподрібненого концентрату. В даний час існує три можливих способи окускування дрібних залізородних матеріалів: агломерація, виробництво окатишів і брикетування.

Різні способи брикетування через низьку продуктивність агрегатів не можуть скласти конкуренцію виробництву агломерату та окатишів. Крім цього, брикети на будь-якій зв'язці не мають необхідної гарячої міцності і, руйнуючись в доменній печі, створюють газодинамічні проблеми для забезпечення рівного ходу доменної печі. Брикетування використовується, головним чином, для утилізації металургійних відходів. Завантажувати в доменну піч брикети можна тільки за спеціальною технологією – циклічно з основними залізородними матеріалами і в невеликих кількостях. Наприклад, в аглодоменному департаменті (АДД) АМКР в період капітального ремонту з реконструкцією доменної печі №8 об'ємом 2700 м³ введено в експлуатацію ділянку брикетування відходів (відсіву залізородних матеріалів та аспіраційного пилу). Брикети завантажуються тільки в печі об'ємом 2000 м³ доменного цеху №1.

Процес агломерації дозволяє отримувати шляхом спікання якісний окускований залізовмісний матеріал з різних матеріалів в широкому діапазоні необхідної для доменної плавки основності і при цьому утилізувати різні гірничо-металургійного відходи (рудний дріб'язок, колошниковий пил, відсіву коксу і агломерату, а також інші матеріали).

Для виробництва окатишів використовують тонкоподрібнений залізородний концентрат, зв'язуючі та, при необхідності, флюсуючі добавки. З цих матеріалів спочатку в огрудкувачах отримують сирі окатиші, які потім піддають термозміцненню і охолодженню.

Агломерація і виробництво окатишів були і залишаються основними способами отримання окускованої залізородної сировини для доменної плавки. Однак на підставі великої кількості досліджень окускованої сировини багатьох фабрик, автори роботи [3] показали, що і окатиші, і агломерат не задовольняють повною мірою збільшеним вимогам доменної плавки. Вони відзначають, що необхідний пошук нових способів окускування залізородної сировини, які дозволяли б отримувати металургійну сировину, що поєднує кращі металургійні властивості агломерату та окатишів.

Вимоги до якості агломерату та окатишів давно визначені і практично не змінюються. Це – максимально високий вміст заліза, мінімальна кількість шкідливих домішок, сталість хімічного і гранулометричного складів, необхідна основність, висока міцність, низький вміст дрібних фракцій в початковому стані і в доменній печі, висока відновлюваність і вузький температурний інтервал розм'якшення.

За підсумками роботи вже згаданого V Міжнародного конгресу доменників, залізородна сировина повинна відповідати вимогам (табл. 1), які необхідно забезпечувати на агломераційних фабриках і ГЗК, що існують або реконструюються [1].

Одним із прикладів реконструкції металургійних заводів в СРСР була реконструкція в 1976 році введеної в експлуатацію в 1962 році аглофабрики НКГОК-2 (в даний час це аглофабрика №2 АДД АМКР). Реконструкція була виконана за проектом інституту Гіпросталь в зв'язку з необхідністю забезпечення високоякісною сировиною найбільшої в той час доменної печі №9 об'ємом 5000 м³ заводу «Криворіжсталь». На реконструйованій фабриці аглоспек із агломераційної стрічки послідовно проходить дроблення в шоккових дробарках, гаряче просівання, охолодження на лінійному пластинчастому охолоджувачі і остаточне просівання перед відправкою в цех. З цього періоду на доменну піч №9 став надходити охолоджений, звільнений від дріб'язку класу 0-5 мм (не більше 3-5%), високоосновний агломерат (основністю CaO/SiO₂ = 1,5-1,6 ч. од.).

Таблиця 1

Вимоги доменної плавки до якості залізорудної сировини

Показники	Агломерат	Окатиші
Припустимі відхилення від середнього:		
вмісту заліза, %	±0,50	±0,25
основності, од.	±0,05	±0,025
вмісту FeO, %	±1,0	–
Вміст дріб'язку -5 мм у скіповому продукті, не більше, %	5	2
Опір стисканню за ГОСТ 24765-81 більше 200 кг/ок, % випадків	–	> 90
Вихід фракції +5 мм при випробуванні на міцність за ГОСТ 15137-77, %	> 80	> 95
Вихід фракції +5 мм після відновлення за ГОСТ 19575-84, %	> 50	> 80
Вихід фракції –0,5 мм при випробуванні на стираність за ГОСТ 15137-77, %	< 4	< 3
Вихід фракції –0,5 мм після відновлення за ГОСТ 19575-84, %	< 5	< 5
Перепад тиску газу в шарі при відновленні за ГОСТ 21707-76, Па (мм вод. ст.)	< 147 (15)	< 196 (20)

Ефективність використання цього агломерату можна проілюструвати на прикладі його завантаження в доменну піч №8 об'ємом 2700 м³ заводу «Криворіжсталь» в період одного з ремонтів доменної печі №9. Високоякісний агломерат НКГОК-2 надійшов на доменну піч №8, змінивши в шихті доменної плавки агломерати ПГЗК і НКГОК-1 основністю 1,2-1,25 ч. од., що відрізняються гіршими показниками міцності і великим вмістом фракції 0-5 мм (17-25%). Продуктивність печі збільшилася на 927 т/добу, а витрата коксу знизилась на 40 кг/т чавуну [4, 5].

Агломерат і окатиші мають як позитивні для доменної плавки, так і негативні металургійні характеристики [6]. До металургійних характеристик агломерату, що позитивно впливають як на технології його виробництва, так і на хід доменної плавки, слід віднести наступне: використання будь-яких залізовмісних матеріалів в технології отримання агломерату, можливість офлюсування у широкому діапазоні основність (0,1-4,5 ч. од.), відповідний до доменного коксу кут природного укусу, низький показник усадки шару та перепаду тиску в ньому, а також низький температурний діапазон між початком розм'якшення і плавлення під час високотемпературного відновлення.

Серед негативних властивостей агломерату слід відзначити наступне: низький вміст заліза, наявність значної кількості дріб'язку (0-5 мм), складність отримання готового продукту, рівномірного за крупністю, низький показник міцності на удар та високу стираність як в процесі транспортування продукту до доменної печі, так і під час низькотемпературного відновлення, а також відносно низьку відновлюваність.

До позитивних металургійних характеристики окатишів слід віднести більш високий вміст заліза, в порівнянні з агломератом, рівномірність готового продукту за крупністю, можливість отримання окатишів з широким діапазоном необхідної основності при використанні залізорудних концентратів з вмістом кремнезему менше 5%, незначну кількість дрібнофракції в готовому продукті, високі показники міцності як в процесі транспортування, так і в ході низькотемпературного відновлення, а також високу відновлюваність.

До негативних властивостей окатишів відносять технологічну неможливість їх виробниц-

тву з основністю вищою 0,8 ч. од. при використанні концентрату з вмістом SiO_2 вище 5%, низький кут природного укусу, високі значення величин усадки шару і перепаду тиску газу в ході високотемпературного відновлення окатишів [7].

Усунути два головні недоліки агломерату, а саме: низький вміст заліза і високий вміст дріб'язку, в принципі можливо [8]. Так, наприклад, для підвищення вмісту заліза в агломераті необхідно: використовувати концентрат з підвищеним вмістом заліза; виключити з агломераційної шихти залізну руду або істотно підвищити в ній вміст заліза; ввести в аглошихту подрібнений до крупності 0-10 мм металевий скрап.

По кожному із запропонованих варіантів необхідно виконати певні організаційно-технічні заходи: використовувати магнітно-флотаційний концентрат із вмістом заліза не нижче 68-70%; виключаючи з агломераційної шихти руду, необхідно збільшити кількість огрудковувачів, що забезпечують грануляцію всієї шихти без штучних зародків; застосовувати необхідну кількість зв'язуючого, що поліпшує процес огрудкування агломераційної шихти без використання руди (вапно, органіку та ін.); використовувати замість агломераційної руди обпалений зворот розміром 0-5 мм; використовувати агломераційну руду розміром 0-5 мм після відсіву цієї фракції з багатих, що містять 65-68% заліза, залізних руд для доменної шихти; збагачувати відносно бідні кускові залізні руди до вмісту заліза в них 65-68%.

Знизити вміст фракції 0-5 мм в агломераті можна шляхом підвищення або зниження основності по співвідношенню CaO/SiO_2 , виходячи від її значень 1,2-1,4 ч. од., що потребує використання в доменній шихті додатково в одному випадку вапняку, а в іншому – нефлюсованих окатишів або багатой руди, що буває не цілком раціонально.

Непереборною негативною властивістю окатишів є істотно нижчий, ніж у коксу і агломерату, кут природного укусу, через що окатиші при завантаженні в доменну піч окремою порцією переміщуються в низькі ділянки профілю поверхні шихти (до стінки колошника або в центр печі), що може негативно позначатися на стійкості футерівки або рівності ходу доменної печі.

Багатьма дослідниками розроблялися технології по обмеженню довільного переміщення окатишів по поверхні засипу шихти на колошнику доменної печі – це, перш за все, технологія змішування окатишів з агломератом. Наприклад, на доменній печі №9 комбінату «Криворіжсталь» при використанні окатишів їх вивантажували завжди на горизонтальний стрічковий конвеєр шихтоподачі поверх порції агломерату. При перевантаженнях по тракту конвеєрів і в засипному апараті відбувалося їх змішування, що дозволяло значно підняти частку окатишів в залізородній сировині без погіршення рівності ходу печі. Однак завантаження 100% окатишів залишається технологічно неприйнятним.

Раціональним виходом з існуючої ситуації зі звичайним використанням в шихті двох видів залізородного матеріалу може бути перехід на один вид залізородної сировини, який поєднує в собі кращі металургійні характеристики агломерату та окатишів. В даний час ефективна виплавка чавуну в доменних печах вимагає використання однорідного офлюсованого і окускованого залізовмісного матеріалу з високим вмістом заліза, мінімальним вмістом кремнезему, високими характеристиками міцності в холодному стані, а також в процесі нагрівання і відновлення в доменній печі. Важливо також розташувати всередині нового виду залізородного матеріалу шматочки вугілля, наприклад, антрациту, і зберегти при обпаленні долю залишкового вуглецю, що послужить додатковим джерелом скорочення витрат коксу в доменній плавці.

Свого часу вже були запропоновані технології отримання огрудкованої залізородної сировини, що поєднує кращі властивості агломерату та окатишів (локальні спеки, аглоокатиші, агломератиші, вюститні брикети, гібридний окускований матеріал та ін.), що мають кут природного укусу, аналогічний коксу (37-41°), що виключає їх довільне переміщення по поверхні засипу шихти на колошнику доменної печі. Однак досягти повної відповідності вимогам сучасної доменної плавки металургійних характеристик для локальних спеків, а також забезпечити економічні і технологічні можливості реалізації їх виробництва до цього часу не вдавалося.

Мета статті – розробка технології отримання офлюсованих локальних спеків, що поєднують кращі металургійні характеристики агломерату та окатишів.

Виклад основного матеріалу. Авторами даної роботи запропонована технологія отримання однорідного за хімічним і гранулометричним складом окускованого, повністю офлюсованого залізородного матеріалу (офлюсованих локальних спеків), що мають практично всі по-

зитивні металургійні характеристики агломерату та окатишів, при цьому дана технологія не вимагає значних капітальних вкладень при реконструкції цехів з виробництва окатишів [6, 8].

Сутність технології полягає в попередньому виготовленні двох видів сирих окатишів: з високою (понад 1350°C) і низькою (менше 1150°C) температурами плавлення (відповідно названі високотемпературними і низькотемпературними). Шихта для отримання високотемпературних сирих окатишів може бути неофлюсованою, низькоофлюсованою або офлюсованою в залежності від вмісту кремнезему в залізородному концентраті, а також включати: тверде паливо (антрацит) розміром 0-12 мм в кількості 3,9-15,1% для отримання в готовому окускованому матеріалі залишкового вуглецю; при необхідності високотемпературні мінерали, бажано корисні для доменної плавки, в невеликих (0-3%) кількостях і такі залізовмісні компоненти: залізородний концентрат з високотемпературною нерудною частиною і низьким (1-5%) або відносно високим (5-10%) вмістом кремнезему, при відповідному вмісті заліза; або багату руду розміром 8-20 мм і вмістом заліза 68-71%; або металізовані окатиші або руду розміром 8-20 мм з економічно доцільною мірою металізації (5-95%). Шихта для отримання низькотемпературних сирих окатишів складається із залізородного концентрату будь-якого складу і повинна бути високоофлюсованою (бажано вапняком) до основності 3,5-8,7 ч. од., щоб забезпечити необхідну для доменної плавки середню основність всього окускованого матеріалу. Крім того, до складу цієї шихти можна вводити при необхідності легкоплавкі мінерали і тонкоподрібнене тверде паливо в кількості 0,5-2,5% для прискорення розплавлення цих окатишів. З кожної шихти в окремих огрудкувачах виготовляються сирі окатиші, причому розмір високотемпературних повинен бути 10-20 мм, а низькотемпературних – 8-14 мм. Високотемпературні і низькотемпературні сирі окатиші змішуються на конвеєрах при перевантаженнях в процесі транспортування від огрудкувача до обпалювального агрегату, причому кількість перших в суміші має бути 71-79%, а других – 29-21%.

Термообробка та утворення однорідного офлюсованого окускованого матеріалу може здійснюватися в будь-якому з використовуваних в даний час обпалювальних агрегатах для термозміцнення окатишів (конвеєрна обпалювальна машина, решітка – трубчаста піч – охолоджувач, шахтна піч) з невеликою реконструкцією (установка зубчастої дробарки на розвантаженні матеріалу). Режим термообробки включає сушку, нагрів, обпалення і охолодження продуктами повного спалювання будь-яких видів палива. Для збереження в готовому окускованому матеріалі після термозміцнення і охолодження максимально можливої кількості залишкового вуглецю і заліза (в разі використання металізованих окатишів або руди) температурно-часові режими нагрівання та охолодження здійснюються або з підвищеними швидкостями (150-600°C/хв), або в продуктах спалювання палива в забаластованому теплоносії, що містить менше 1-5% кисню.

Після високотемпературного обпалення і охолодження окатиші з високою температурою плавлення є каркасом, а розплав з окатишів з низькою температурою плавлення – сполучною цього каркасу в окускованому матеріалі і, огортаючи після розплавлення тверде паливо та металізовані окатиші, захищає їх від окислення і надає необхідні готовому окускованому матеріалу форму (рисунок), крупність і міцність.



Рисунок – Офлюсовані локальні спеки з підвищеним вмістом заліза і залишковим вуглецем

Для ефективного використання технології виробництва розробленого окускованого матеріалу і його плавки в доменній печі необхідне якісне усереднення компонентів його шихти з мінімальними ($\pm 0,2-0,3\%$) коливаннями основних оксидів і точне їх дозування в шихту, ефективне (більше 95%) змішування шихти, ефективне змішування високотемпературних і низькотемпературних сирих окатишів перед термообробкою і мінімальними ($\pm 25^\circ\text{C}$) коливаннями максимальних температур в шарі. В цьому випадку отриманий однорідний окускований матеріал буде мати стабільні металургійні характеристики і повністю відповідати вимогам сучасної доменної плавки (табл. 2).

Таблиця 2

Технологічні параметри отримання і металургійні характеристики різних видів окускованої сировини для доменної плавки

Найменування показників	Промисловий офлюсований агломерат різних країн	Промислові офлюсовані і неофлюсовані окатиші різних країн	Офлюсовані локальні спеки з підвищеним вмістом заліза і залишковим вуглецем
Питома продуктивність агрегату, т/м ² ·год	1,1-1,4 ¹	0,79-1,2 ²	1,1-1,4 ²
Питома витрата тепла, МДж/т	1947-2452	367-840	391-728
Питома витрата електроенергії, кВт·год/т	43,1-71,3	38,7-68,1	37,4-59,5
Вміст, %:			
Fe _{общ}	51,2-64,1 ³	61,5-65,8 ³	63,5-74,8 ³
FeO	9,1-15,6	1,3-5,4	7,6-25,2
SiO ₂	8,2-3,7	7,7-0,9	4,1-2,3
C	0	0	1,6-2,5
Основність (CaO/SiO ₂) готового продукту, ч. од.	1,8-1,2	1,25-0,1	1,25-1,5
Вміст класів, %:			
60-100 мм	23,7-35,6	0	0
20-60 мм	55,9-34,3	0	89,9-71,8
5-20 мм	12,3-7,8	91,7-98,9	11,9-24,8
0-5 мм	8,1-20,4	5,2-1,8	2,2-3,4
Міцність в барабані, ДСТУ ISO 3271:2012, %:			
на удар (+5 мм)	57,4-93,1	92,4-97,1	93,5-96,4
стиранність (-0,5 мм)	13,6-2,6	5,8-1,1	3,6-2,5
Міцність при відновленні, ДСТУ ISO 7215:2008, %:			
міцність (+5 мм)	37,8-62,2	53,6-95,1	72,9-93,1
стиранність (-0,5 мм)	10,4-5,3	7,4-4,2	4,2-3,3
Газопроникність та усадка шару при відновленні, ДСТУ 3205-95:			
усадка шару, %	15-18	23-67	13-19
перепад тиску, Па	68-71	108-154	60-72
Кінцевий ступінь відновлення, ДСТУ ISO 7215:2008, %	65,1-96,0	72,8-91,4	89,1-93,8
Кут природного укусу, град.	38-41	25-32	37-40

¹ робоча площа агломашини включає тільки зону спікання, без зони охолодження;

² робоча площа обпалювальної машини включає зони сушки, нагріву, обпалення і охолодження;

³ вміст заліза в окускованому матеріалі (не враховуючи в ньому вмісту CaO та залишкового вуглецю).

Висновки

Таким чином, для підвищення техніко-економічних показників доменної плавки необхідно організувати виробництво і використання розробленого комплексного залізозмісного окускованого матеріалу, який має кращі металургійні характеристики агломерату та окатишів, що дозволить постійно мати в доменній шихті тільки два компоненти: кокс та офлюсовані локальні спеки з високими металургійними характеристиками.

Список використаних джерел:

1. Товаровский И.Г. V Международный конгресс доменщиков «Производство кокса на рубеже столетий» / И.Г. Товаровский, В.П. Лялюк // Сталь. – 1999. – № 9. – С. 5-10.
2. Совершенствование технологии производства кокса для доменной плавки / В.П. Лялюк [и др.]. – Кривой Рог : Дионат, 2017. – 272 с.
3. Металлургическая и экономическая оценка применения агломерата и окатышей в доменном производстве / З.И. Некрасов [и др.] // Metallurgiya chuguna : Сб. науч. тр. – М. : Metallurgiya, 1973. – № 1. – С. 15-17.
4. Работа доменной печи с использованием освобожденного от мелочи высокоосновного агломерата / И.А. Прокофьев [и др.] // Сталь. – 1979. – № 5. – С. 332-333.
5. Теоретические и экспериментальные исследования доменной плавки / В.П. Лялюк [и др.]. – Кривой Рог : Дионат, 2016. – 621 с.
6. Комплексный окускованный железосодержащий материал с улучшенными металлургическими характеристиками для современной доменной плавки / Ф.М. Журавлев [и др.] // Сталь. – 2016. – № 12. – С. 11-17.
7. Сравнительная характеристика металлургических свойств агломерата и окатышей разных предприятий / И.Ф. Дворниченко [и др.] // Сталь. – 1986. – № 10. – С. 21-23.
8. Совершенствование технологии и оборудования производства железорудного сырья для современной доменной плавки / В.П. Лялюк [и др.]. – Кривой Рог: Дионат, 2017. – 368 с.

References:

1. Tovarovsky I.G., Lyalyuk V.P. V Mezhdunarodnyj kongress domenshnikov «Proizvodstvo koksa na rubezhe stoletij» [V International congress of blast-furnace operators «Coke production at the turn of the century»]. *Stal – Steel*, 1999, vol. 9, pp. 5-10. (Rus.)
2. Lialiuk V.P., Liakhova I.A., Kassim D.A., Sokolova V.P., Shmel'tser E.O. *Sovershenstvovanie tehnologii proizvodstva koksa dlja domennoj plavki* [Improving the technology of coke production for blast furnace smelting]. Krivoy Rog, Dionat Publ., 2017. 272 p. (Rus.)
3. Nekrasov Z.I., Emel'ianov A.V., Gladkov N.A. Metallurgicheskaja i jekonomicheskaja ocenka primeneniya aglomerata i okatyshej v domennom proizvodstve [Metallurgical and economic evaluation of the use of agglomerate and pellets in blast-furnace production]. *Metallurgija chuguna – Metallurgy of cast iron*, 1973, no. 1, pp. 15-17. (Rus.)
4. Prokof'ev I.A., Tovarovskii I.G., Bondarenko V.I. Rabota domennoj pechi s ispol'zovaniem osvobozhdenogo ot melochi vysokoosnovnogo aglomerata [The operation of a blast furnace using a high-basic agglomerate freed from small fines]. *Stal – Steel*, 1979, vol. 5, pp. 332-333. (Rus.)
5. Lialiuk V.P., Kassim D.A., Onopa V.N., Donskov E.E. *Teoreticheskie i jeksperimental'nye issledovanija domennoj plavki* [Theoretical and experimental studies of blast furnace smelting]. Krivoy Rog, Dionat Publ., 2016. 621 p. (Rus.)
6. Zhuravlev F.M., Lialiuk V.P., Stupnik N.I., Chuprinov E.V., Liakhova I.A. Kompleksnyj okuskovannyj zhelezosoderzhashhij material s uluchshennymi metallurgicheskimi harakteristikami dlja sovremennoj domennoj plavki [Complex agglomerated iron-containing material with improved metallurgical characteristics for modern blast furnace smelting]. *Stal – Steel*, 2016, vol. 12, pp.11-17. (Rus.)
7. Dvornichenko I.F., Zhuravlev F.M., Astaf'ev V.D. Sravnitel'naja harakteristika metallurgicheskikh svojstv aglomerata i okatyshej raznyh predprijatij [Comparative characteristics of metallurgical properties of agglomerate and pellets of different enterprises]. *Stal – Steel*, 1986, vol. 10, pp. 21-23. (Rus.)
8. Lialiuk V.P., Stupnik N.I., Zhuravlev F.M., Chuprinov E.V., Liakhova I.A., Kassim D.A. Sover-

shenstvovanie tehnologii i oborudovanija proizvodstva zhelezorudnogo syr'ja dlja sovremennoj domennoj plavki [Improvement of technology and equipment for the production of iron ore for modern blast furnaces]. Krivoy Rog, Dionat Publ., 2017. 368 p. (Rus.)

Рецензент: О.Д. Учитель
д-р техн. наук, проф., КМІ НметАУ

Стаття надійшла 12.03.2018

УДК 669.162.1

doi: 10.31498/2225-6733.36.2018.142465

© Ожогин В.В.¹, Ковалевский И.А.², Тарасюк Л.И.³

МИКРОТЕХНОЛОГИИ В ПОДГОТОВКЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО СЫРЬЯ

Рассмотрена ситуация, сложившаяся в черной металлургии в сфере подготовки сырья, и выявлена ее взаимосвязь с интенсификацией производства, на основании чего сделан вывод о закономерности перехода от традиционных технологий окучкования сырья к микротехнологиям. Под этим углом зрения выполнен обзор важнейших достижений преимущественно украинских ученых в сфере подготовки сырья, на основании которого выявлены приоритетные направления в сфере окучкования, характерные для национальной металлургии. Представлена эффективность этих способов. Внедрение в производство рассмотренных разработок создает предпосылки для кардинального увеличения производительности металлургических агрегатов за счет интенсификации их процессов, что полностью соответствует направлениям совершенствования металлургии. Внедрение только части этих разработок способно повысить интенсивность аглодоменного производства в 1,2-1,5 раза без снижения качества выплавляемого чугуна. В практической части статьи исследованы возможность и выявлены условия, обеспечивающие глубокую подготовку исходного сырья, отвечающего требованиям повышения интенсивности производства и качества продукции. В качестве эффективного способа окучкования выбрано брикетирование, позволяющее осуществлять окучкование тонкоизмельченного исходного сырья и пылевидных отходов производства. При этом степень металлизации составляет более 99%. Получение из микрочастиц металлизированных брикетов по сравнению с традиционными способами восстановления агломерата и окатышей показывает, что в сфере подготовки сырья имеются значительные резервы, реализация которых позволит интенсифицировать процессы восстановления в 20 и более раз.

Ключевые слова: сырье, отходы, подготовка, измельчение, окучкование, агломерация, брикеты, окатыши, металлизация.

Ожогин В.В., Ковалевський І.А., Тарасюк Л.І. Мікротехнології в підготовці металургійної сировини. Розглянута ситуація, що склалася в чорній металургії у сфері підготовки сировини, і виявлен її взаємозв'язок з інтенсифікацією виробництва, на підставі чого зроблений висновок про закономірність переходу від традиційних технологій кускування сировини до мікротехнологій. Під цим кутом зору виконаний огляд найважливіших досягнень переважно українських учених у сфері під-

¹ канд. техн. наук, ст. науч. сотр., ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

² канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, i_koval@ukr.net

³ канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, sstts@list.ru