

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Чупринова Євгена Валерійовича «Удосконалення процесу виробництва огрудкованої залізорудної сировини з підвищеним вмістом заліза та залишковим вуглецем для доменної плавки», що представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.16.02 – «Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів»

1. Актуальність теми дисертації

В сучасних умовах більшість вітчизняних металургійних підприємств використовує у складі доменної шихти залізорудні матеріали, які не в повному обсязі відповідають технологічним потребам доменної плавки за комплексом металургійних характеристик. Металурги зацікавлені у вдосконаленні існуючих та розробці принципово нових технологій огрудкування. Одним з можливих напрямків отримання залізорудних матеріалів із властивостями, які відповідають вимогам доменної плавки, є використання гібридних технологій отримання окушкованих матеріалів, які поєднують в собі в різному ступені елементи процесів агломерації, виробництва окатишів та металізації. Однак відомі технології мають ряд недоліків. Тому вдосконалення процесу виробництва огрудкованої залізорудної сировини з підвищеним вмістом заліза та залишковим вуглецем для доменної плавки, на що спрямована дисертаційна робота, є актуальною задачею.

Зміст роботи відповідає сучасним напрямкам «Державної програми розвитку та реформування гірничо-металургійного комплексу України до 2020 р.», планам науково-дослідних робіт Міністерства науки і освіти України, Національної металургійної академії України. Крім того, при безпосередній участі автора, виконується науково-дослідна робота «Наукове обґрунтування та розробка ефективних тепло-масообмінних процесів в інноваційних металургійних технологіях» (номер державної реєстрації 0115U003176).

2. Основні наукові положення, результати, висновки та рекомендації, їх новизна, ступінь обґрунтованості та достовірності

Отримані у дисертації результати характеризуються достатньо повною аргументацією наукових положень, використанням сучасних методів дослідження, підтверджуються аналізом науково-технічної літератури. Цьому сприяло використання широкого методологічного інструментарію та літературної бази. Дисертантом, як зазначається у рукописі дисертації, використано 177 джерел, у яких відображено різні аспекти проблематики дисертації. Теоретичні дослідження виконані при коректному застосуванні методів математичного моделювання, статистичного і технологічного аналізу. Достовірність експериментальних даних забезпечується використанням сучасних засобів і методик досліджень. Отримані результати і висновки базуються на фундаментальних положеннях теорії металургійних процесів, у тому числі теорії огрудкування залізородних матеріалів, теплових та окислювально-відновних процесів.

Основними найбільш вагомими науковими результатами є:

1. Розвинуті уявлення щодо впливу мінералів нерудної частини концентратів на кількість і хімічний склад силікатної зв'язки, яка утворюється з них, та показана можливість використання мінімальної кількості силікатної зв'язки для забезпечення високих характеристик міцності окатишів.

2. Обґрунтовано раціональне використання водного розчину лігносульфонату натрію, який забезпечує підвищення гідрофільності поверхні антрациту, що дозволило вдосконалити технологію виробництва сирих окатишів з ядром із твердого палива та режимів їх термозміцнення при збільшеній кількості залишкового вуглецю.

3. Встановлені закономірності вигорання вуглецю в залежності від швидкостей нагріву (в діапазоні 100-500 °С/хв.) та охолодження термозміцнених окатишів (в діапазоні 100-600 °С/хв.), а також при веденні процесу обпалення в атмосферах з різним окислювальним потенціалом. Ці законо-

мірності допомагають обґрунтувати швидкості нагріву та охолодження окатишів, а також використання атмосфер з різним окислювальним потенціалом з метою забезпечення зниження ступеню вигорання вуглецю до 7,7-10,3 %.

3. Значення отриманих у дисертації наукових та прикладних результатів для науки та практики

Практичне значення мають наступні результати дисертаційної роботи:

– розроблені практичні рекомендації щодо цілеспрямованого вибору видів концентратів з різним складом їх нерудної частини, що дозволяє забезпечувати отримання окатишів з металургійними характеристиками, які відповідають сучасним вимогам доменної плавки;

– запропонована комплексна технологія отримання окатишів з максимальним вмістом залишкового вуглецю в їх складі;

– розроблені технологічні способи отримання сирих окатишів із закатаним всередину антрацитом і режими термозміцнення даних окатишів в окислювальному або слабкоокислювальному середовищі;

– розроблені та вдосконалені технологічні прийоми виробництва різних типів офлюсованих локальних спеків із окатишів різної або однакової основності, з підвищеним вмістом заліза, з залишковим вуглецем, які забезпечують металургійні характеристики відповідно до вимог доменної плавки.

Основні результати теоретичних і експериментальних досліджень дисертаційної роботи прийняті до використання на ПАТ «Полтавський ГЗК» і ПАТ «Північний ГЗК», а також використовуються у навчальному процесі на кафедрі металургійних технологій Криворізького металургійного інституту НМетАУ при викладанні дисципліни «Підготовка металургійної сировини» та виконанні випускних кваліфікаційних робіт бакалаврів та магістрів спеціальності 136 «Металургія».

4. Загальна характеристика змісту дисертації.

Дисертація складається із вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел та 3 додатків.

Перший розділ дисертації присвячено аналізу сучасного стану теорії та технологій виробництва огрудкованих залізорудних матеріалів для доменної плавки. Автором виконано ґрунтовний аналіз промислових технологій виробництва окатишів, а також отримання інших видів огрудкованих залізорудних матеріалів для доменної плавки. Показані переваги та недоліки існуючих технологій. В результаті виконаного аналізу літературних даних визначені цілі та завдання запланованих досліджень.

У другому розділі представлені результати виконаних досліджень, які спрямовані на встановлення впливу способу збагачення руди і мінерального складу нерудної частини концентрату на металургійні характеристики не офлюсованих і офлюсованих обпалених окатишів. Автором розроблено методику, яка дозволила експериментальним шляхом вивчити вплив способів збагачення залізорудних концентратів на металургійні характеристики обпалених окатишів. Встановлено, що для отримання неофлюсованих окатишів з найкращими характеристиками міцності в початковому стані і в процесі відновлення необхідно переважно виробляти їх з магнетитових концентратів, отриманих магнітно-флотаційним способом збагачення. З двох розглянутих автором родовищ більш високі металургійні характеристики мають неофлюсовані окатиші з магнетитового концентрату ЛебГЗК.

Автором експериментально досліджено вплив мінерального складу нерудної фази концентрату на металургійні характеристики неофлюсованих і офлюсованих до основності 1,0 обпалених окатишів, виготовлених при однакових технологічних параметрах з концентрату магнітного збагачення ЦГЗК. Показано, що при необхідності виробництва неофлюсованих окатишів для доменної плавки доцільно, з точки зору отримання їх з най-

кращими металургійними характеристиками, використовувати залізорудні концентрати з низькотемпературними силікатами в нерудній частині.

Результати проведених досліджень дозволяють цілеспрямовано обирати види концентратів, склад їх нерудної частини і ступінь офлюсування для виробництва обпалених окатишів з металургійними характеристиками, що дозволяють найбільш ефективно виплавляти чавун в доменних печах.

У розділі 3 представлені основні результати досліджень, які були спрямовані на вдосконалення технології отримання окатишів, що містять у своєму складі залишковий вуглець. Особливості цих окатишів полягають в тому, що в процесі термозміцнення вони попередньо частково відновлюються зсередини за рахунок газифікації закатаного всередину вуглецю твердого палива, а потім при плавці відновлюється одночасно з поверхні відновними газами доменної печі і з центру шматка за рахунок газифікації залишкового вуглецю, що прискорює швидкість відновлення всього шматка і, відповідно, підвищує продуктивність доменної печі.

Автором показано, що для здійснення високотемпературної технології отримання огрудкованого залізорудного матеріалу з максимальною кількістю всередині нього залишкового вуглецю необхідно забезпечити дві основні технологічні умови: ефективне накочування дрібних компонентів шихти на шматочки твердого палива, що є зародками, із забезпеченням необхідної міцності отриманих окатишів і мінімального вигорання вуглецю цього твердого палива в процесі термічного зміцнення і охолодження огрудкованого матеріалу в газовій атмосфері з різним окислювальним потенціалом.

Згідно цих вимог автором запропоновано, по-перше, в якості вуглецевмісного матеріалу використовувати антрацит, який має мінімальну реакційну здатність. По-друге, ознакою вдосконалення технології є обробка антрациту (розміром 0-10 мм) водним розчином натрієвого лігносульфонату (питома витрата – 2,4-15,1 кг/т сухого вугілля) для підвищення гідрофільності поверхні вугільних частинок, що сприяє накочуванню на них ча-

стинок шихти за рахунок молекулярних і капілярних сил зчеплення з утворенням сирих окатишів необхідного розміру і міцності.

Автором по результатам випробувань показано, що після обробки антрациту розчином реагенту кількість придатної фракції (8-20 мм) в сирих окатишах з закатаним антрацитом склала 92,3-94,1 %, а їх характеристики міцності практично були аналогічні сирих окатишам без твердого палива.

Автором також розроблені технологічні режими термозміцнення сирих окатишів із закатаним всередину твердим паливом (антрацитом), які дозволяють отримати в атмосфері теплоносія з різним окислювальним потенціалом на конвеєрній обпалювальній машині обпалені окатиші, що містять залишковий вуглець в кількості від 2,8 до 3,6 % та дозволять при їх використанні знизити питомі витрати коксу в доменній плавці.

Рекомендації щодо удосконалення технології виробництва окатишів, що містять в своєму складі залишковий вуглець, є результатом значного об'єму досліджень, проведених в лабораторних умовах, максимально наближених до промислових.

У розділі 4 дисертаційної роботи представлена поетапна розробка технології отримання однорідного за хімічним і гранулометричним складом огрудкованого повністю офлюсованого залізородного матеріалу з металургійними характеристиками, що відповідають всім сучасним вимогам доменної плавки. Причому отриманий за даною технологією матеріал має високу міцність і відновлюваність, а також вузький інтервал температур між початком розм'якшення і плавлення, що важливо для формування раціональної пластичної зони, яка забезпечує ефективну роботу низу доменної печі.

Всі дослідження, результатом яких стала розробка технології отримання нової залізородної сировини, проводилися автором на лабораторній напівпромисловій установці.

На початку автором була запропонована технологія виробництва офлюсованих локальних спеків з окатишів та показано, що при викорис-

танні залізорудних концентратів різного ступеня збагачення можливо отримувати огрудкований залізовмісний матеріал, котрий практично за всіма показниками відповідає вимогам доменної плавки. Для забезпечення необхідної і контрольованої крупності і міцності огрудкованого матеріалу необхідно створити в шарі сирих окатишів, що обпалюють, жорсткий каркас з окатишів, що не розплавившись, і легкоплавкий розплав, який скріпить цей каркас в шматок певного розміру. Для досягнення цієї мети автором проведено дві серії випробувань з різним складом шихти для отримання сирих окатишів з низькою і високою температурами плавлення.

Далі автором запропонована технологія отримання локальних спеків з підвищеним складом заліза. Сутність технології полягає у попередньому отриманні двох видів окатишів, причому в якості високотемпературних окатишів використовували металізовані.

Автором також вдосконалена технологія отримання офлюсованого залізорудного матеріалу (локальних спеків) із залишковим вуглецем. Розроблені режими одержання сирих окатишів з високою температурою плавлення і закатаним всередину антрацитом і термообробки (нагрів, обпалення і охолодження) суміші окатишів з низькою і високою температурами плавлення, що дозволяють отримувати офлюсовані локальні спеки з максимальною кількістю залишкового вуглецю в готовому продукті. Розроблений огрудкований залізовмісний матеріал – офлюсовані локальні спеки із залишковим вуглецем мають кращі металургійні характеристики агломерату і окатишів і містять при цьому залишковий вуглець, що задовольняє сучасним вимогам доменної плавки до металургійних характеристик залізорудної сировини і сприяє зниженню питомої витрати коксу в доменній печі.

На основі синтезу наведених вище технологій автором вперше запропонована технологія виробництва огрудкованого залізорудного матеріалу, що поєднує кращі металургійні характеристики агломерату і окатишів і не поступається за даними показниками сировині, яка використовується

на металургійних підприємствах ЄС, США, Японії та ін. Суть технології полягає в складанні двох шихт з різними температурами плавлення. Для підвищення вмісту заліза в готовому продукті використовують металізовані окатиші, які є високотемпературною частиною шихти. В низькотемпературну частину шихти для отримання окатишів вводять всю необхідну кількість флюсу, легкоплавкі мінерали нерудної частини і незначну кількість палива (при необхідності). Обидва типи окатишів змішуються з твердим паливом, після чого піддаються термообробці та охолодженню безокислувальним нейтральним газом (азот, аргон та ін) або продуктами повного спалювання різних видів палива в атмосферному або забаластованому повітрі, що містять менше 0,2 % вільного кисню, з підвищеними швидкостями нагріву та охолодження (500 °С/хв і 600 °С/хв).

Автором виконаний аналіз роботи доменної печі №8 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» об'ємом 2700 м³ при повній заміні залізозмісної частини шихти (агломерат, скрап, руда) на розроблені офлюсовані локальні спеки, який показав, що використання локальних спеків у доменній плавці замість традиційних видів залізорудної сировини дозволить за рахунок підвищення вмісту заліза в шихті (з 54,44 до 63,3 %), зниження виходу шлаку (з 532 до 241 кг/т чавуну) і зменшення вмісту дріб'язку (-5 мм) в шихті (з 14,6 до 2,2 %) зменшити питому витрату коксу на 10,2 % та підвищити продуктивність доменної печі на 17,5 %, що навіть за рахунок підвищення собівартості виробництва локальних спеків дозволить отримати значний економічний ефект.

5. Конкретні напрями використання одержаних наукових і прикладних результатів роботи

Результати роботи можуть бути використані при дослідженнях, які спрямовані на удосконалення існуючих технологій отримання залізорудної сировини для доменної печі або створення нових видів залізорудних мате-

ріалів, а також можуть бути реалізовані в навчальному процесі Національної металургійної академії України та інших вузів, які здійснюють підготовку спеціалістів для чорної металургії.

6. Повнота викладення в опублікованих роботах основних наукових і прикладних результатів дисертаційної роботи

Основні результати, отримані у дисертації, опубліковані у 15 роботах, у тому числі: 7 – статті в спеціалізованих наукових виданнях, згідно вимог Департаменту атестації кадрів МОНУ, 3 – у вітчизняних виданнях. Отримано 5 патентів України.

Основні положення роботи викладені у формі доповідей на багатьох науково-практичних конференціях. В цілому публікації за темою дисертації в достатній мірі розкривають зміст роботи.

7. Основні недоліки роботи, яка захищається. Оцінка в цілому змісту роботи, її завершеності, головні недоліки в частині оформлення

1. З тексту дисертаційної роботи неясно, чи була автором проведена оцінка впливу добавки шкідливих елементів (Na та S), які є у складі лігносульфонату натрію, на доменну плавку та якість чавуну?

2. Ідея зниження ступеня вигорання вуглецю у самовідновлювальних окатишів шляхом підвищення швидкості фільтрації газу – теплоносія та зменшення вмісту кисню в газі була висловлена Ковальовим Д.А. У чому полягає новизна запропонованих автором ідей?

3. У роботах Д.А. Ковальова досягнута концентрація вуглецю у самовідновлювальних окатишах на рівні 0,75-1,5 %. При цьому він стверджує, що необхідно прагнути до компромісу складу вуглецю та міцності окатишів (монографія Д.А. Ковальова, стор. 464). Зрозуміло, що при збі-

льшенні вмісту вуглецю в окатишах підвищується їх пористість більше, ніж у 1,5 рази (с. 461). Підвищення пористості повинно приводити до зниження міцності. В роботах Д.А. Ковальова це є, а у автора при вмісті вуглецю 3,9 % характеристики міцності практично не змінюються. Чим автор це пояснює?

4. Неясне трактування однієї з задач досліджень «Розробити механізм цілеспрямованого вибору видів концентратів і їх нерудної частини для виробництва окатишів з оптимальними ступенями офлюсування і високими металургійними характеристиками» (стор. 38). Крім того, результати досліджень не можуть дозволити «цілеспрямовано обирати види концентратів...» (як це показано на стор. 102). Таким чином, доцільно говорити про розробку «методики обґрунтованого вибору» та сформулювати її.

5. Відсутнє посилання на розробника технології отримання окатишів з вуглецем. Хто все таки її запропонував?

6. Які перспективи широкого використання регресійних рівнянь, які представлені у табл. 2.6 (стор. 52) и табл. 2.7 (стор. 59)?

7. З роботи неясно, яка наочність вибірки даних, на основі яких побудовані графіки (стор. 48-51, 56-59)?

8. У зв'язку з тим, що мова йде про розробку технології, вважаю доцільним на рис. 3.2-3.10 – поміняти місцями функцію та аргумент. Для того, щоб її реалізувати необхідно визначити витрату реагенту та в процесі термозміцнення необхідно знати швидкість нагріву та охолодження.

9. Автор по тексту часто використовує термін «оптимальний», але ніяких задач оптимізації в роботі не вирішується.

10. З роботи неясно, чим автор пояснює наявність та фізичний сенс екстремумів функцій, які представлені на рисунках розділів 3 та 4?

11. Твердження автора у розділі 4 (стор. 152) про те, що менший (в зрівнянні з коксом та агломератом) кут природного укосу окатишів з вуглецем порушує необхідний розподіл матеріалів на колошнику доменної печі є не достатньо аргументованим та необґрунтованим. На працюючій

печі формування поверхні засипу шихти визначається не стільки кутом природного укосу, скільки впливом газового потоку.

Наведені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи. В цілому робота є завершеною науковою працею, характеризується наявністю елементів наукової і технічної новизни одержаних результатів. Дисертація написана технічно грамотно. Зміст дисертації відповідає спеціальності, за якою автор захищається.

8. Ідентичність автореферату щодо змісту дисертації

Автореферат повністю відповідає змісту дисертації і розкриває основні наукові та практичні результати.

9. Загальні висновки

Дисертаційна робота Чупринова Євгена Валерійовича за рівнем теоретичних і експериментальних досліджень є завершеною працею, в якій отримані нові науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати, що в сукупності дозволяють вирішити важливу задачу – розробити технологію одержання однорідного за хімічним і гранулометричним складом, огрудкованого, повністю офлюсованого залізородного матеріалу з будь-яким необхідним ступенем офлюсування, підвищеним вмістом заліза і залишковим вуглецем, який об'єднає кращі металургійні характеристики агломерату та окатишів і дозволить повністю замінити їх в шихті доменної плавки. За напрямком проведених досліджень дисертаційна робота відповідає паспорту спеціальності 05.16.02 – “Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів”.

Дисертація за науковим рівнем, практичним значенням отриманих результатів, об'ємом, змістом, оформленням відповідає вимогам пункту 8 «Положення про порядок присудження наукових ступенів», а її автор


Чупринов Євген Валерійович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.16.02 – “Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів”.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, завідувач відділом

технологічного обладнання та систем управління

Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова

НАН України, старший науковий співробітник  І.Г. Муравйова

Підпис Муравйової І.Г. засвідчую:

Вчений секретар Інституту чорної металургії, к.т.н.

О.Є. Меркулов

