

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Сови А.В. «Удосконалення технології виробництва агломерату шляхом формування раціональної блокової структури на основі роздільної підготовки шихти та механічної обробки спеченця», 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

Удосконалення технології виробництва високоякісного агломерату, який залишається найбільш масовим компонентом доменної шихти, є пріоритетною задачею, яка спрямована на підвищення ефективності доменної плавки. Особливого значення ця задача набуває в умовах використання технології вдування ПВП у доменну піч. При використанні традиційної технології, яка складається з заходів з підготовки та спікання шихти, а також механічної обробки спеченого продукту, отриманий агломерат має невисоку міцність. Для отримання якісного агломерату, стабілізованого за крупністю та міцністю, необхідно створення умов для формування блокової структури та мінералогічного складу в'язучої частини високої міцності. Крім того, для отримання якісного міцного агломерату важливою задачею є розв'язання уявлень про механізми його руйнування в агрегатах для механічної обробки та обґрунтування раціональних режимів роботи.

Незважаючи на значні досягнення, ці задачі не вирішені в повній мірі. У зв'язку з цим, дослідження, спрямовані на вивчення фізико-хімічних закономірностей формування в агломераті заданої структури та властивостей на стадіях підготовки шихти до спікання та механічної обробки спеченого продукту для отримання агломерату, стабілізованого за міцністю та крупністю, є актуальними.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Розглянуті в дисертаційній роботі питання і задачі складають результати досліджень, що виконані автором та викладені у звіті із науково-дослідної роботи «Розробка способів використання в металургії вуглецевих матеріалів, отриманих з поновлюваної сировини» (номер державної реєстрації Г001М10007). Дисертаційна робота виконувалася в рамках науково-дослідної діяльності кафедри металургії чавуну Національної металургійної академії України (НМетАУ).

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 114 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 грудкування залізородних матеріалів.

Основні найбільш вагомні наукові результати, отримані автором:

1. Встановлено на основі результатів досліджень капілярної здатності до змочування сумішей з різних компонентів агломераційної шихти їх оптимальне розподілення для формування більш однорідних за розмірами та складом гранул. Це відбувається завдяки врахуванню фізичних властивостей компонентів шихти та створенню умов для рівномірного просочування вологи в суміш та ефективної взаємодії компонентів між собою.

2. Встановлені умови для створення блокової структури з міцною зв'язкою, які припускають роздільну підготовку шихти основністю 0.9-1.0 для формування в агломераті залізо-кальцієвих олівінів та 1.6 од. - для формування в ньому феритів кальцію.

3. Вперше встановлена залежність виділення міцної складової спеченого агломерату блокової структури від прикладених енергетичних навантажень на нього. Обґрунтована та експериментально підтверджена ефективність створення в барабані робочих зон зі змінною дією сил та величиною енергетичного навантаження на матеріал шляхом зміни кількості та ширини полиць, що призводить до реалізації внутрішніх напружень в агломераті, подальшого надання йому округлої форми та стабілізації за крупністю (5-50 мм) та міцністю.

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

Практичне значення мають наступні результати дисертаційної роботи:

1. Розроблені технологічні рекомендації щодо підвищення ефективності підготовки агломераційної шихти до спікання. Показано, що для можливості отримання агломерату заданого складу та властивостей необхідно попередньо формувати композит шляхом спільного грудкування концентрату з залізною рудою крупністю 0-3 мм в кількості 9-12 % від маси концентрату, вапном та вапняком крупністю 0-3 мм, що забезпечує основність суміші на рівні до 1.0 од.. Залишкова частина агломераційної шихти, основністю від 1.6 од. грудкується окремо з подальшою грануляцією спільно з запропонованим композитом у барабані, з додаванням наприкінці коксу крупністю 0-7 мм.

2. Розроблені практичні рекомендації щодо конструкції та технологічних параметрів роботи барабана-стабілізатора, що забезпечує ефективну механічну обробку спеченця та отримання стабілізованого за крупністю та

міцністю агломерату. Барабан повинен бути обладнаний не менш ніж трьома робочими зонами та мати наступні характеристики: радіус – 1,25–1,75 м; частота обертання – 8-10 об/хв; кількість полиць: 6 (1 зона), 4 (2 зона) та 0-2 (3 зона); ширина полиць: 20-22 % від радіуса барабана (1 зона), 18-20% (2 зона) та 16-18 % (3 зона); ступінь завантаження барабана – 15-30%; кут нахилу 4-6 град.; довжина барабана 7,5-10 м.

3. Результати теоретичних і експериментальних досліджень дисертаційної роботи були використані при розробці проекту реконструкції агломераційних фабрик України в державному підприємстві «УкрдіпроМез», а також використовуються у навчальному процесі на кафедрі металургії чавуну Національної металургійної академії України при вивченні дисципліни «Підготовка металургійної сировини» спеціальності 136 - «Металургія».

4. Загальна характеристика змісту дисертації.

Дисертація складається із вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел та 2 додатків.

Перший розділ дисертації присвячено аналізу сучасного стану технологічного процесу та проблем виробництва якісного агломерату. Автором проаналізовані основні характеристики агломерату та сформульовані вимоги при його використанні в доменній печі. Показано, що існуюча технологічна схема підготовки шихти суттєво обмежує можливості формування та виробництва агломерату заданого складу та високої міцності, сприяючи зародженню неоднорідності шихти та внутрішніх напружень в спеченому продукті, що висуває необхідність розробки нових шляхів її удосконалення.

Автором показано, що досягти виробництва агломерату високої якості можливо шляхом покращення технології спікання агломерату, а також шляхом використання ефективної механічної обробки спеченця.

Виконаний автором аналітичний огляд шляхів удосконалення технологічного процесу отримання високоякісного агломерату показав, що залишаються невирішеними питання забезпечення формування у ньому блокової структури з оптимальним мінералогічним складом міжблокової зв'язки. Крім того, потребують подальшого розвитку та обґрунтування режими роботи агрегату-стабілізатора для механічної обробки спеченого агломерату, який забезпечить ефективне виділення з нього міцної складової з утворенням мінімальної кількості дріб'язку.

В результаті виконаного аналізу літературних даних визначені цілі та завдання запланованих досліджень.

У другому розділі роботи наведено теоретичне та експериментальне обґрунтування можливості формування агломерату заданого складу та властивостей на етапі підготовки шихти до спікання. Автором за допомогою програмного комплексу проведено термодинамічний аналіз вірогідності утворення різних мінералів в семикомпонентній системі (Fe, Si, Ca, Mg,

Al, O, C), яка відповідає в цілому складу агломераційної шихти, та залежність фазового складу від її основності та інших факторів. За допомогою розрахунків величин вільної енергії Гіббса встановлена вірогідність утворення в даному середовищі зв'язки з фаяліту, деяких залізо-кальцієвих олівінів і феритів кальцію.

Автором за допомогою теоретичних розрахунків підтверджено вплив основності на формування в агломераті міцних зв'язуючих компонентів: залізокальцієвих олівінів та феритів кальцію. Встановлено, що кількість олівінів збільшується при зменшенні основності до 0.9-1.0 од.; поява феритів кальцію потребує збільшення основності до 1.6-1.7 од. Теоретичний аналіз впливу різних факторів на фазовий склад агломерату дозволив обґрунтувати доцільність та можливість формування блокової структури з міцною зв'язкою шляхом роздільної підготовки шихти основністю 0.9-1.0 та 1.6-1.7 од. Автором показано, що цього можна досягти роздільним формуванням з агломераційної шихти композиту (суміші декількох компонентів шихти, яка грудкується окремо з метою покращення взаємодії компонентів між собою та вологою) та залишкової шихти заданого складу, який відповідатиме цим показникам основності, та властивостей.

Оскільки процес грудкування тонкодисперсних матеріалів визначається силами взаємодії вологи з поверхнями твердих часточок компонентів шихти, автором виконано дослідження впливу капілярних явищ різних компонентів шихти у складі композитів на процес формування гранул. Доведено, що роздільна підготовка шихти з використанням композитів на основі концентрату дозволяє отримувати більш однорідний гранулометричний склад сирих гранул, завдяки створенню умов ефективної взаємодії матеріалів при зволоженні та грудкуванні, та створює можливість оптимального розподілу флюсів у шихті, що дозволяє формувати між блокову зв'язку заданого складу та властивостей.

Автором запропоновано розподілення компонентів на дві частини: першу – композит основністю 0,9-1,0 од. із концентрату (крупністю 0-3 мм), залізної руди (0-3 мм), вапна (0-3 мм) та вапняку (0-3 мм); другу - залишкову шихту основністю 1,6-1,8 од. із залізної руди (3-10 мм), звороту (0-10 мм) та вапняку (0-3 мм); кожна з яких дозується, зволожується та змішується, а перша частина додатково грудкується, після чого вони спільно гранулюються з додаванням наприкінці твердого палива, крупністю 0-7 мм. Показано, що виробництво агломерату після грудкування запропонованим способом дозволяє забезпечити найкращі показники якості агломерату.

У третьому розділі представлені результати досліджень впливу механічної обробки в барабані-стабілізаторі на якість спеченого агломерату.

Автором встановлено, що знаходження в барабані-стабілізаторі крупних кусків призводить до переподібнення інших фракцій і збільшує час роботи агрегату. З метою рішення цієї задачі запропоновано здійснювати попередню підготовку спеченця до потрапляння в барабан та розроблені

технічні рішення, націлені на удосконалення завантажувального пристрою барабану-стабілізатора.

Для дослідження впливу конструкційних і технологічних параметрів роботи пристрою барабанного типу на руйнування агломерату на етапі механічної обробки автором розроблена математична модель. За допомогою моделі можуть бути обґрунтовані раціональні параметри конструкції пристрою барабанного типу та режими його роботи, які характеризуються його радіусом, частотою обертання, кількістю та шириною полиць, ступенем завантаження барабана матеріалом. Моделювання також дозволило автору визначити характер впливу цих факторів на величину та вид енергії навантаження на агломерат.

Показано, що отримання стабілізованого агломерату можна досягти контрольованим навантаженням на матеріал, за допомогою сил удару, розколювання, стирання і роздавлювання.

Автором доведено, що для стабілізації агломерату за крупністю та міцністю в пристрої барабанного типу необхідно виділити три характерні зони з різним механізмом руйнування, шляхом зменшення величини та кількості полиць в них: дроблення - з максимальною необхідною величиною загальних та ударних навантажень; стабілізації характеристик за крупністю за рахунок зменшення ударних навантажень; стирання, яке має забезпечити мінімізацію ударних навантажень, з основною дією сил, які дозволять видалити гострі виступи для надання агломерату кулястої форми. Запропоновані оптимальні конструкційні та технологічні параметри барабана-стабілізатора, які дозволять забезпечувати необхідний рівень початкових навантажень на агломерат в межах 60-100 Дж/кг з подальшим зменшенням енергетичних сил до 30-40 Дж/кг агломерату.

Виконана експериментальна перевірка ефективності запропонованих заходів на основі дослідження зміни гранулометричного складу агломерату впродовж 4 хв обробки в дослідних барабанах в умовах варіювання кількості та ширини полиць. На основі виконаних досліджень обґрунтовані основні конструктивні характеристики та режими роботи пристрою барабанного типу.

У четвертому розділі приведені результати оцінки ефективності розробленої технології виробництва якісного агломерату, стабілізованого за крупністю, складом та міцністю, шляхом порівняння характеристик отриманого агломерату з виготовленим за класичною схемою.

Автором доведено, що отримані навантаження в запропонованому барабані-стабілізаторі дозволяють виділити міцну складову спеченого продукту та уникнути подрібнення агломерату до потрапляння в доменну піч, на відміну від звичайного агломерату. Показано, що використання розробленої комплексної технологічної схеми отримання агломерату, стабілізованого за крупністю та міцністю, дозволяє зменшити вміст дріб'язку в ньому з 12 до 3-4% без збільшення кількості звороту, покращити хімічний склад та коефіцієнт форми кусків, що позитивно впливає на порозність і газопроникність шару шихти, в якій використовується такий матеріал.

Автором виконано аналіз ефективності використання стабілізованого агломерату в доменній печі, в результаті якого встановлено, що використання даного агломерату в доменному виробництві призведе до зниження питомої витрати коксу на виплавку чавуну на 4%, та збільшення продуктивності доменній печі на 8%.

5. Конкретні напрями використання одержаних наукових і прикладних результатів роботи

Результати роботи можуть бути використані при дослідженнях, які спрямовані на удосконалення існуючих технологій отримання агломерату, а також можуть бути реалізовані в навчальному процесі Національної металургійної академії України та інших ВНЗ, 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 21 роботі, з них: 6 – статті у спеціалізованих наукових виданнях, затверджених ДАК України; 1 – стаття у науковому виданні іншої держави; 2 – патенти на корисну модель; 12 - матеріали наукових конференцій.

В цілому публікації за темою дисертації достатньою мірою розкривають зміст роботи.

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

1. Відсутні посилання на роботи ІЧМ, які пов'язані з вимогами до агломерату та вдосконаленням технології його виробництва.

2. Незрозуміло, про який невисокий температурний інтервал йде мова в основних вимогах до якості агломерату для доменної плавки?

3. Не зовсім коректно писати «Для забезпечення рівномірного сходження шихти та високих техніко-економічних показників важливо скоротити її протяжність». Такий термін відсутній.

4. Незрозуміло та суперечливе твердження у 1-ому розділі роботи стосовно раціонального вмісту СаО в агломераційній шихті та доцільності утворення феритів у значній кількості.

5. На стор. 17 дисертації сказано, що позитивною властивістю агломерату є те, що кут його природного нахилу аналогічний коксу. Яке це має значення для доменної плавки?

6. Не зовсім зрозумілий графік, наведений на рис. 3.1 - Дослідження поведінки крупного агломерату при механічних навантаженнях в барабані стабілізаторі.

7. З дисертаційної роботи незрозуміло, як автор визначав коефіцієнт форми агломерату?

8. Чим автор пояснює зміну характеру перерозподілу енергій при збільшенні частоти обертання барабана?

9. Викликає сумнів графік, наведений на рис. 3.13. Невже ступінь завантаження матеріалом барабана не впливає на вид енергії навантаження?

10. Як узгоджуються висновки про те, що: "Рекомендується заповнювати робочий простір барабана в межах 15-30%, оскільки з урахуванням ваги самого пристрою збільшується механічне навантаження на привід барабана" з тими параметрами, які є?

11. Встановлено, що: «Для стабілізації агломерату за крупністю та міцністю в пристрої барабанного типу необхідно виділити три характерні зони з різним механізмом руйнування, шляхом зменшення величини та кількості полиць в них: дроблення - з максимальною необхідною величиною загальних та ударних навантажень; стабілізації характеристик за крупністю за рахунок зменшення ударних навантажень; стирання, яке має забезпечити мінімізацію ударних навантажень, з основною дією сил, які дозволять видалити гострі виступи для надання агломерату кулястої форми.»

З дисертації незрозуміло, як контролювалися і забезпечувалися такі значення навантажень.

12. Як автор може пояснити зменшення різниці перепадів тиску для звичайного і стабілізованого агломератів при збільшенні рудного навантаження. При цьому завантажують в якості залізородної складової тільки агломерат?

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 та розкриває основні наукові та практичні результати.

9. Загальні висновки

Дисертаційна робота Сиви Артема 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 – удосконалення технології виробництва високоякісного агломерату, стабілізованого за міцністю та крупністю. 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 Сова Артем 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.



Г.А. Кононенко