

ВІДГУК
офіційного опонента на дисертаційну роботу
СОВИ АРТЕМА ВАЛЕРІЙОВИЧА

на тему «**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА
АГЛОМЕРАТУ ШЛЯХОМ ФОРМУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ БЛОКОВОЇ
СТРУКТУРИ НА ОСНОВІ РОЗДІЛЬНОЇ ПІДГОТОВКИ ШИХТИ ТА
МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ СПЕЧЕНЦЯ**»

представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю
05.16.02 – Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів

**Актуальність теми дисертації та відповідність спеціальності 05.16.02 –
Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів.**

Агломераційні цехи Українських металургійних заводів проектувались для виробництва агломерату, що включає в основному залізну руду крупністю до 10×10^{-3} м. На сьогоднішній день склад шихти включає значну кількість тонкодисперсних матеріалів. Основним компонентом агломераційної шихти є залізорудний концентрат крупністю менше 75×10^{-6} м. Це пов'язано з появою технології що включає змільчення й збагачення бідних залізних руд. З однієї сторони це дозволило використовувати значну кількість руд з низьким вмістом заліза, а з другої вимагало зміни устаткування, технології виробництва і появи нових ланцюгів апаратів.

В металургійному виробництві крім тонкодисперсного залізорудного концентрату використовується значна кількість металургійних відходів, це шлами пил, відсів, збірний матеріал при очищенні транспортних засобів та просип з конвеєрів, перевантажувальних засобів тощо.

Таким чином отримання якісного агломерату, стабілізованого за крупністю та міцністю, залежить від можливості створення умов на етапі підготовки шихти до спікання для формування блокової структури та мінералогічного складу в'язучої частини високої міцності.

Крім того, спечений агломерат піддають механічній обробці, задачею якої є виділити з нього міцні куски. Для роботи доменної печі з високими техніко-економічними показниками стабілізація по крупності і міцності практично не проводиться. Існуючі схеми. Агрегати для механічної обробки не враховують механізм руйнування агломерату під дією різних типів навантаження, що суттєво обмежує можливості підвищення його якості. Існуючі схеми підготовки шихти не в змозі в повній мірі забезпечити виконання цих вимог.

Виходячи з вищевикладеного дисертаційна робота Сови А.В. присвячена вивченню і розвитку наукових уявлень про особливості формування в агломераті заданої структури та властивостей на стадіях підготовки шихти до спікання та механічної обробки спеченого продукту.

У зв'язку з цим удосконалення технології виробництва стабілізованого за міцністю та крупністю агломерата для підвищення ефективності процесів окискування залізородної сировини та доменної плавки є **актуальними** для отримання агломерату, стабілізованого за міцністю та крупністю.

Дисертаційна робота Сиви А.В. присвячена вирішенню актуальної науково-технічної задачі покращення якості агломерату за рахунок формування раціональної блокової структури зі зв'язкою: різні способи управління гранулометриєю та мінералогічним складом сирих гранул, використання комплексного флюсу, і повною мірою відповідає паспорту спеціальності 05.16.02 – Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів.

Ступінь обґрунтованості, повнота і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій.

Аналіз змісту дисертації та її автореферату показав, що наукові положення, висновки і рекомендації викладені в роботі, цілком обґрунтовані на підставі глибокого вивчення автором літературних джерел, патентно-ліцензійної літератури, результатів власних теоретичних і практичних досліджень і розрахунків. У роботі використані теоретичні та експериментальні методи досліджень. При проведенні експериментальних досліджень в лабораторних і промислових умовах використано стандартне обладнання та спеціально розроблені фізичні моделі, методики планування експерименту, контроль параметрів технологічного процесу. Обробку експериментальних даних, а також математичне моделювання процесів руйнування кусків агломерату в пристрої барабанного типу, визначення впливу конструкційних і технологічних параметрів роботи барабана-стабілізатора на величину та вид енергетичних навантажень на агломерат здійснено з використанням стандартних пакетів прикладних програм.

У першому розділі досить повно проаналізовано науково-технічну літературу за темою дисертації, сучасний стан технологічного процесу та проблеми виробництва якісного агломерату.

Однією з найбільш важливих проблем, яка вимагає вирішення для отримання агломерату високої якості, є його низькі показники міцності, що призводить до подальшого руйнування матеріалу під час транспортування, зберігання та завантаження в доменну піч з утворенням значної кількості дріб'язку (фракції 0-5 мм).

Показано, що виробництво агломерату високої якості здійснюється шляхом реалізації комплексу заходів щодо покращення, з одного боку, технології спікання агломерату, а з іншого – використання ефективної механічної обробки спеченця.

Незважаючи на значні досягнення у вирішенні вказаної проблеми, повноцінно забезпечити виробництво якісного агломерату не вдається. Основними причинами цього є те, що запропоновані раніше заходи щодо підвищення ефективності агломераційного процесу в значній мірі використали свій потенціал, а існуюча схема механічної обробки спеченця не забезпечує виділення з нього

агломерату заданої міцності та крупності з мінімальним вмістом дріб'язку.

На основі літературних даних показано, що для отримання якісного агломерату, стабілізованого за крупністю та міцністю, необхідно формувати у ньому блокову структуру з оптимальним мінералогічним складом міжблокової зв'язки, найбільш міцними компонентами якої є ферити кальцію та олівіни низької основності. Цього можна досягти шляхом використання роздільного грудкування шихти на етапі її підготовки до спікання, а також розробкою агрегату-стабілізатора для механічної обробки спеченого агломерату, який забезпечить ефективне виділення з нього міцної складової з утворенням мінімальної кількості дріб'язку.

У *другому розділі* наведено теоретичне та експериментальне обґрунтування можливості формування агломерату заданого складу та властивостей на етапі підготовки шихти до спікання.

За допомогою програмного комплексу HSC 5.1 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.

Залежність величин вільної енергії Гіббса від температури показала вірогідність утворення в даному середовищі зв'язки з фаяліту, деяких залізо-кальцієвих олівінів і феритів кальцію. Як показало дослідження ентальпії, утворення усіх мінералів характеризується екзотермічним ефектом. Лише в діапазоні температур 1473-1673 К формування 2FeOSiO_2 та однокальцієвого фериту відбувається в ендотермічних умовах.

Теоретичними розрахунками 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., а поява феритів кальцію потребує збільшення основності до 1.6-1.7 од..

Теоретичний аналіз впливу різних факторів на фазовий склад агломерату привів до висновку, що створення умов для виникнення блокової структури з міцною зв'язкою можливе шляхом роздільної підготовки шихти основністю 0.9-1.0 та 1.6-1.7 од. Це можливо забезпечити формуванням з усіх її компонентів композиту та залишкової частини заданих складів і властивостей.

Проведено дослідження способів підготовки агломераційної шихти з використанням попередньо підготовлених композитів на основі концентрату. Воно складалося з двох етапів. На першому етапі вивчали вплив вологи на грудкування різних композитів із компонентів шихти фракцією 40-63 мікрон, щоб унеможливити вплив їхньої крупності на капілярні явища.

На другому етапі досліджено вплив роздільної підготовки шихти з використанням композитів різного складу на якість сирих гранул й агломерату.

Запропонована схема підготовки шихти яка дозволяє формувати склад і основність самого композиту та залишкової частини шляхом зміни вмісту вапняку між ними.

Отримані результати підтвердили позитивний вплив роздільної підготовки на однорідність крупності сирих гранул. Найкращу якість агломерату отримали після використання чотирикомпонентного композиту з «концентрату – руди – вапна – вапняку». Для покращення ефективності роздільної підготовки, прийнято рішення розділити руду на фракції: 0-3 мм, яка подаватиметься до композиту, та 3-10 мм, яка буде використовуватися у залишковій шихті.

У *третьому розділі* проведена теоретична та експериментальна оцінка механізму стабілізації агломерату за крупністю та міцністю під час механічної обробки.

Визначені основні вимоги для ефективної стабілізації агломерату: спільна дія сил удару, стирання та розколювання; зменшення енергії навантаження по ходу обробки зі 100 до 30-40 Дж/кг. Розглянуто особливості механічної обробки в різних пристроях. Забезпечувати спільну дію сил удару, стирання та розколювання можливо в барабані-стабілізаторі, який використовується після дробарки. Обробка в ньому здійснюється при взаємодії кусків різної форми та крупності, що рухаються за своїми траєкторіями. Недоліком цього пристрою є відсутність достатнього аргументування у виборі конструкційних і технологічних параметрів роботи. Для дослідження впливу конструкції і технологічних параметрів роботи барабана-стабілізатора на енергію навантаження, діючи на агломерат, розроблена математична модель. Її концептуальна схема зображена на рис. 6.

Визначено, що енергія навантаження, яка діє на агломерат, залежить від наступних факторів: радіуса барабана, частоти обертання, кількості та ширини полиць, ступеню завантаження пристрою агломератом. Проведена оцінка впливу цих факторів на величину та вид енергії навантаження на 1 кг агломерату.

У результаті моделювання отримано рівняння множинної регресії залежності величини загальної (E_k) та ударної ($E_{уд}$) енергій від конструкції та технологічних факторів, які впливають на руйнування кусків в барабані.

Для перевірки ефективності запропонованих заходів в лабораторії кафедри металургії чавуну НМетАУ проведено експериментальне дослідження зміни гранулометричного складу агломерату впродовж обробки в дослідних барабанах.

Результатами моделювання та експериментальних досліджень встановлена оптимальна конструкція пристрою барабанного типу яка дозволяє забезпечувати необхідний рівень навантажень на агломерат.

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

Як видно з результатів, агломерат, виготовлений за запропонованою технологією, характеризується: рівномірністю гранулометричного складу, збільшенням коефіцієнту форми кусків та міцності. Це дозволяє позитивно впливати на порозність і газопроникність шару шихти, що покращує умови роботи доменної печі. Збільшення вмісту дріб'язку на 7.1% після обробки за запропонованою технологією компенсується збільшенням міцності після спікання шихти, підготовленої з використанням заданого композита.

Отримані навантаження в запропонованому барабані-стабілізаторі дозволяють виділити з агломерату міцну складову та уникнути його значного подрібнення до потрапляння в доменну піч. Використання даного агломерату в доменному виробництві призведе до зниження питомої витрати коксу на виплавку чавуну на 4%, та збільшення продуктивності доменній печі на 8%.

Наукова новизна отриманих результатів.

До найбільш суттєвих, з наукової точки зору, результатів дисертації Сови А.В. слід віднести:

- Розвинуто уявлення щодо відмінностей у взаємодії різних компонентів агломераційної шихти з водою під час роздільних процесів зволоження та грудкування. На основі результатів досліджень капілярної здатності до змочування запропоновано розподілення компонентів шихти, яке, ґрунтуючись на їхній пористості, властивостях поверхонь і їхній активності під час зволоження, забезпечує рівномірні показники просочування вологи в суміш та взаємодії компонентів між собою, що сприяє утворенню більш однорідних за розмірами та складом гранул, шляхом їхнього роздільного зародження не лише навколо крупних кусків звороту та руди, а й завдяки окремій взаємодії дрібних компонентів з активними поверхневими властивостями, і подальшої спільної грануляції зародків гранул з залишковою шихтою.
- Обґрунтовані та показані умови роздільної підготовки шихти до спікання, завдяки яким в агломераті під час спікання формується в'язуча частина переважно з залізо-кальцієвих олівінів і незначної кількості феритів кальцію, оскільки за рахунок утворення необхідних контактних взаємодій компонентів він має основність на рівні 0.9-1.0 од. для формування залізо-кальцієвих олівінів та 1.6 од. для формування феритів кальцію.
- Вперше на основі моделювання механічної обробки агломерату в пристрої барабанного типу досліджено залежність виділення міцної складової

спеченого агломерату блокової структури, в'язуча частина якого представлена залізо-кальцієвими олівінами та феритами кальцію, від прикладених енергетичних навантажень на нього, види і величина яких залежать від характеристик конструкції барабана та технологічних умов його роботи. Обґрунтована та експериментально підтверджена ефективність створення в барабані робочих зон зі змінною дією сил та величиною енергетичного навантаження на матеріал за рахунок 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.

Практичне значення отриманих результатів.

Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджуються практичним значенням результатів, які отримані в дисертаційній роботі.

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.

Розроблені практичні рекомендації щодо конструкції і 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.

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».

Повнота викладення основних результатів дисертаційної роботи в наукових публікаціях.

За темою дисертаційної роботи опубліковано 21 роботу, 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. Матеріали дисертаційної роботи були представлені в доповідях на: міжнародних науково-технічних конференціях молоді (м. Запоріжжя 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 роки), міжнародних науково-практичних конференціях «Металургія» (м. Запоріжжя 2016, 2017, 2018, 2019 роки), всеукраїнській науково-практичній конференції «Актуальні проблеми розвитку металургійної науки та освіти», присвяченій 100-річчю Г.Г. Єфименка (м. Дніпро, 2017р.), International symposium of Croatian metallurgical society (Sibenik, Croatia 2018 p.).

Публікації в достатній мірі відображають основні положення дисертації.

Автореферат дисертації містить всю необхідну інформацію для оцінки дисертації, цілком ідентичний роботі, включає основні наукові положення, висновки і рекомендації, які приведені у дисертації.

Основні зауваження до дисертації.

1. Стор. 13. Практична цінність отриманих результатів. «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». На стор. 24 (останній абзац) Ви приводите припущення Коротича В.І. (та інш. [41] «Микронеоднородность структуры железорудных агломератов»), що для зменшення значної температурної та хіміко-мінералогічної неоднорідності в мікрооб'ємах шихти необхідно прагнути рівномірного розподілення компонентів, оптимізації процесів зволоження та, відповідно, утворення гранул. Далі роботу Шурхала В.А. ([42] «О блочной структуре железорудного агломерата»), що для «... створення оптимальних умов для спікання, з максимальною ефективністю необхідно використовувати паливо для передумов формування блоків, яке може розташовуватись як і всередині гранул, так і на їх поверхні...». Як відомо використання коксикку більше 3 мм призводить до значної перевитрати його, та зниження температури горіння частинок (1-2 мм температура горіння 1400°C, 4 мм – 1250°C). Яка мета використання коксового дріб'язку крупністю до 7 мм?
2. Стор. 26. Останній абзац. «Як показали лабораторні дослідження... у результаті підготовки такої шихти значна кількість дрібної фракції не грудкується зовсім (до 20-30%)... » А чому саме не грудкується?
3. Розділ 1.5 Стор. 35. Ви не зовсім коректно вказуєте що «Сучасні грохоти виконують лише відсів дріб'язку, що не дозволяє у повній мірі реалізувати внутрішні напруження у кусках і стабілізувати склад і крупність агломерату». Сучасні вібраційні грохоти на першій стадії грохочення

відсівають крупну фракцію (>50 мм) для повторного руйнування. На другій відсівають продукт на декілька фракцій і стабілізують придатний агломерат. Чи згодні Ви з цим?

4. Розділ 2.2, стор. 46. У цьому розділі проведено дослідження висоти капілярного просочування та питомий вміст вологи в композитах. Чому Ви не приводите інформацію про капілярне просочування по кожному компоненту агломераційної шихти окремо, з поясненням?
5. Стор 57. «Таблиця 2.3 – Показники крупності гранул при різних способах підготовки шихти». З даних цієї таблиці можна зробити висновок, що при роздільній підготовці шихти в порівнянні з сумісною підготовкою дріб'язок <3 мм зменшився, а крупна фракція > 7 мм збільшилась практично для всього переліку композитних матеріалів. Таким чином роздільна підготовка шихти також погіршує процес агломерації?
6. В табл.2.3 і табл. 2.4. бажано розшифрувати склад наведених композитних матеріалів, а дані представити у графічному вигляді.
7. Стор. 59 рис. 2.16 запропонована схема підготовки шихти до агломерації. Якщо шихта зволожена, то при подачі в барабан буде огрудкування. Вкажіть в чому саме ефективність спільного гранулювання попередньо огрудкованих двох частин шихти?
8. Стор. 73 розділ 3.2. Розробка математичної моделі руйнування спеченого агломерату в агрегаті барабанного типу. В першому абзаці стверджується що найбільш ефективним агрегатом для механічної обробки агломерату є барабан стабілізатор. Вкажіть будь ласка де саме він ефективно працює?
9. Стор 101. Наводиться розрахунок собівартості агломерату з урахуванням усіх факторів впливу запропонованої технології і складає 1073,14 грн/т чавуну. Якщо ми рахуємо собівартість агломерату (бажано привести розрахунок в додатку), то собівартість грн./т агломерата?

Наведені зауваження не знижують теоретичну та практичну цінність роботи, не ставлять під сумнів достовірність матеріалів дисертації.

Висновки щодо відповідності дисертації вимогам Міністерства освіти та науки України.

В дисертації СОВИ АРТЕМА ВАЛЕРІЙОВИЧА за темою на тему «УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА АГЛОМЕРАТУ ШЛЯХОМ ФОРМУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ БЛОКОВОЇ СТРУКТУРИ НА ОСНОВІ РОЗДІЛЬНОЇ ПІДГОТОВКИ ШИХТИ ТА МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ СПЕЧЕНЦЯ» вирішена актуальна науково-технічна задача отримання якісного агломерату, стабілізованого за крупністю та міцністю, яка полягає в розробці технології спікання агломерату з шихт, що включають попередньо

підготовлені композити заданого складу та властивостей, та механічної обробки, яка дозволяє виділяти міцні компоненти зі спеченого продукту.

Вважаю, що рецензована дисертаційна робота за своєю вагомістю, новизною наукових результатів, їх практичним значенням, кількістю та обсягом публікацій відповідає вимогам п.п. 9; 11 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» щодо кандидатських дисертацій, а автор дисертаційної роботи – 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

Доцент кафедри металургії чорних металів ім. проф. В.І. Логінова
Дніпровського державного технічного Університету кандидат технічних наук

М.Р. Руденко

Підпис к.т.н. Руденка М.Р. засвідчую:

Начальник відділу кадрів ДДТУ



І.І. Лесова