

Рецензія

на дисертаційну роботу Грека Олександра Сергійовича
«Розробка технології одержання заліза твердофазним відновленням
залізо-рудно-вугільних брикетів в умовах індукційного нагріву»,
представленої на здобуття наукового ступеня доктора філософії за
спеціальністю 136 – «Металургія»

Оцінка структури змісту дисертації

Дисертаційна робота виконана в Українському державному університеті науки і технологій і присвячена розв'язанню актуальної науково-прикладної проблеми - створенню технології твердофазного відновлення заліза в умовах індукційного нагріву з перспективою одержання сталі в межах одного металургійного агрегату.

Структурно дисертація містить вступ, п'ять розділів із висновками до кожного з них, загальні висновки, список використаних джерел та додатки. Загальний обсяг роботи становить 174 сторінки друкованого тексту, включає 39 рисунків, 23 таблиці та перелік літератури з 139 найменувань, викладений на 14 сторінках. Побудова роботи є послідовною, логічно виваженою та відповідає чинним вимогам до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії.

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми, наведено відомості про зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами та напрямками досліджень університету. Сформульовано мету та основні завдання дослідження, визначено об'єкт і предмет роботи, окреслено застосовані методи досліджень. Подано положення наукової новизни та практичної значущості отриманих результатів, відображено особистий внесок здобувача, наведено дані щодо апробації результатів та інформацію про структуру й обсяг дисертації.

У першому розділі проаналізовано сучасні тенденції світового виробництва чавуну і сталі, охарактеризовано основні технологічні маршрути

металургійного виробництва. Розглянуто сучасні екологічні вимоги та їхній вплив на трансформацію металургійної галузі.

Здійснено ґрунтовний аналіз технологій прямого відновлення заліза, визначено їхні переваги та обмеження порівняно з традиційною схемою «доменна піч – кисневий конвертер». Проведено порівняльну оцінку процесів прямого відновлення на основі вугілля та природного газу з урахуванням особливостей теплопередачі та кінетики відновлювальних реакцій. Наведено характеристику основних шихтових матеріалів, що застосовуються у процесах прямого відновлення, та сформульовано можливі напрями подальшого вдосконалення відповідних технологій.

У другому розділі розглянуто існуючі технології відновлення заліза та виплавки сталі із застосуванням індукційних печей. Наведено опис принципу роботи індукційної печі та виконано її порівняльний аналіз з дуговою електросталеплавильною піччю.

Запропоновано нову концепцію організації процесу твердофазного відновлення заліза в умовах індукційного нагріву. Розроблено склад залізо-рудно-вугільного брикету з металевим ядром, обґрунтовано вибір його компонентів і визначено основні фізико-хімічні та конструктивні характеристики.

Розглянуто механізм нагрівання брикету в змінному електромагнітному полі. Проаналізовано вплив геометричних параметрів, електрофізичних властивостей складових брикету та частоти електромагнітного поля індукційної печі на інтенсивність і рівномірність нагріву.

У третьому розділі викладено основні положення математичної моделі, що описує процес індукційного нагріву металеві складові залізо-рудно-вугільного брикету, а також розподіл температури як у металевому ядрі, так і в шарі рудно-вугільної суміші. Модель враховує теплові ефекти реакцій відновлення оксидів заліза та газифікації вугілля, а також кінетичні закономірності перебігу відновлювальних процесів.

Наведено методику розв'язання диференційних рівнянь нестационарної теплопровідності для сферичного тіла з осьовою симетрією та двошаровою структурою.

Виконано верифікацію математичної моделі на основі експериментальних даних; розбіжність між розрахунковими та експериментальними результатами не перевищує 5–8 %, що свідчить про адекватність моделі. Подано результати чисельного моделювання процесів нагріву та відновлення брикетів.

На підставі аналізу результатів моделювання зроблено висновок про автокаталітичний характер процесу відновлення залізо-рудно-вугільних брикетів в умовах індукційного нагріву.

Четвертий розділ присвячено аналізу кінетичної моделі відновлення частинок залізородного концентрату у складі залізо-рудно-вугільного брикету, а також дослідженню закономірностей перебігу процесу відновлення брикету в цілому. На основі експериментальних результатів, раніше отриманих та опублікованих у співавторстві зі здобувачем, виконано оцінку фізико-хімічного впливу змінного електромагнітного поля на кінетику відновлення оксидів заліза. Розвинуто теоретичні положення щодо механізмів інтенсифікації відновлювальних процесів в умовах індукційного нагріву.

У п'ятому розділі наведено методику та результати лабораторних досліджень, а також здійснено аналіз експериментальних даних для різних форм залізородної сировини. Послідовно оцінено ефективність нагрівання та відновлення дрібнодисперсного залізородного матеріалу у вигляді щільного шару, брикетів з додаванням дрібнодисперсної металевої фази, а також брикетів із металевим ядром.

Досліджено вплив зниженого тиску на кінетичні характеристики процесу та ступінь металізації залізо-рудно-вугільних брикетів в умовах індукційного нагріву. Запропоновано технологічні підходи до підвищення ефективності газового твердофазного відновлення заліза з оксидів із застосуванням індукційного нагріву та спеціально сформованих брикетів.

Обґрунтовано технологічне рішення щодо реалізації процесу одержання сталі з первинної рудної сировини у формі залізо-рудно-вугільних брикетів в універсальному металургійному агрегаті шахтного типу та в індукційній печі.

У загальних висновках узагальнено найбільш вагомими науковими та практичними результатами, отриманими в межах дисертаційного дослідження, що забезпечили розв'язання поставленого науково-прикладного завдання. Сформульовані висновки відповідають визначеним у роботі цілям і завданням та логічно відображають основні результати досліджень.

Перелік джерел, використаних здобувачем у процесі виконання аналітичного огляду та власних досліджень, достатньо повно охоплює сучасний стан проблематики та відображає ключові напрями розвитку теорії й технологій твердофазного відновлення заліза з оксидів.

Оцінка оформлення, мови і стилю дисертації.

Дисертаційна робота викладена послідовно й логічно структурована. Її оформлення відповідає чинним вимогам до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії. Мова та стиль викладу є науково коректними, забезпечують чіткість і доступність сприйняття основних положень, результатів та висновків дослідження. Робота написана та оформлена відповідно до встановлених нормативних вимог.

Наукові результати дисертації

1. Вперше встановлено та підтверджено результатами математичного моделювання закономірності нагрівання залізо-рудно-вугільного брикету під впливом змінного електромагнітного поля, та показано механізм об'ємного нагріву рудно-вугільної суміші за рахунок локалізованого нагрівання металевих частинок вихровими струмами; розподіл температур у металевому ядрі сферичної форми у складі залізо-рудно-вугільного окатишу відповідно до частоти змінного електромагнітного поля, на основі чого встановлено критерії вибору розмірів металевих частинок і параметрів індукційного нагріву для забезпечення максимальної інтенсивності процесу. Таких даних раніше не було відомо.

2. Дістали подальшого розвитку теоретичні уявлення щодо впливу параметрів електромагнітного поля на кінетику твердофазних відновлювальних процесів у діапазоні частот 0,05-50 кГц для газового та вуглецевого відновлення та визначено залежності швидкості відновлення оксидів заліза від частоти та щільності електромагнітного поля та виявлено механізми прискорення відновлення $Fe_2O_3 \rightarrow Fe_3O_4 \rightarrow FeO \rightarrow Fe$ в присутності електромагнітного поля, пов'язані з посиленням теплових та дифузійних процесів та було експериментально доведено внесок електромагнітних впливів в інтенсифікацію процесів водневого, вуглецевого і комплексного відновлення.

3. Вперше запропоновано та науково обґрунтовано концепцію використання індукційної печі як єдиного агрегату для твердофазного відновлення та виплавки сталі з первинної залізвмісної шихти з метою скорочення споживання коксу, зниження емісії CO₂, підвищення ефективності одержання заліза з первородної сировини.

Практичні результати дисертації

Розроблено новий тип залізо-рудно-вугільних брикетів з металізованим ядром, які забезпечують ефективний об'ємний нагрів в умовах дії змінного електромагнітного поля, інтенсифікують процеси газифікації вуглецю та відновлення оксидів заліза, дозволяють істотно підвищити швидкість відновлення в порівнянні з традиційними схемами нагрівання газами, забезпечують отримання високо металізованого продукту, придатного для прямого виплавляння сталі які рекомендується до використання у промислових технологіях прямого відновлення заліза, а також в малих металургійних агрегатах.

Розроблено та обґрунтовано технологічну схему отримання відновленого заліза та виплавки сталі в індукційній печі, яка об'єднує процеси нагрівання, твердофазного відновлення та плавлення в одному агрегаті, виключає необхідність доменних, коксохімічних та газових реформінгових установок, дозволяє відмовитися від рідкого чавуну як обов'язкової складової

шихти сталеплавильних агрегатів, знижує енерговитрати та підвищує екологічність металургійного виробництва що є особливо перспективним для міні-металургійних заводів.

Встановлено режими індукційного нагрівання, що забезпечують високий ступінь відновлення оксидів заліза, визначено частоти, потужності та швидкості нагрівання, що забезпечують інтенсивне відновлення, розроблено рекомендації щодо вибору розмірів металевих частинок і складу рудно-вугільної суміші, ці режими рекомендуються до використання для налаштування експериментальних і промислових установок.

Отримані експериментальні результати рекомендовано до застосування при розробці екологічних («зелених») технологій отримання сталі, оскільки технологія дозволяє реалізувати відновлення оксидів заліза воднем, індукційний нагрів дозволяє ефективно замінювати вуглецеві джерела енергії у процесах прямого відновлення та інших металургійних процесах, поєднаний процес знижує кількість технологічних стадій і супутніх викидів.

Розроблені технічні рішення і експериментально підтверджені принципи роботи залізо-рудно-вугільних брикетів в умовах індукційного нагріву рекомендується використовувати для створення пілотних і промислових установок прямого відновлення, проектування нових металургійних агрегатів для малих підприємств, в освітніх і дослідницьких цілях при вивченні сучасних способів отримання заліза і сталі.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

Основний зміст дисертації опубліковано в 11 наукових працях: з них 1 стаття в журналі, включеному до міжнародних наукометричних баз даних Scopus та WoS; 3 статті у фахових виданнях, що відповідають переліку ДАК МОН України; 6 тез доповідей науково-практичних конференцій; 1 методичні вказівки.

Зауваження до дисертаційної роботи

1. У математичній моделі процесу нагріву не повною мірою враховано можливі зміни електропровідності шихти в процесі зростання ступеня металізації.
2. Доцільно було б розширити дослідження впливу гранулометричного складу відновника на кінетику процесу.
3. Недостатньо детально розглянуто питання утворення та поведінки оксикарбідних фаз у проміжних стадіях відновлення.
4. У дисертації відсутній розгорнутий аналіз екологічних показників процесу (викиди CO, CO₂, пилу) в порівнянні з традиційними технологіями.
5. Потребує уточнення методика визначення ступеня металізації та оцінка похибки вимірювань.

Вказані зауваження не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Відповідність змісту дисертації спеціальності

Дисертаційна робота Грека О. С. «Розробка технології одержання заліза твердофазним відновленням залізо-рудно-вугільних брикетів в умовах індукційного нагріву» за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 136 - «Металургія».

Загальний висновок та оцінка роботи

Дисертаційна робота Грека О. С. на тему «Розробка технології одержання заліза твердофазним відновленням залізо-рудно-вугільних брикетів в умовах індукційного нагріву» є завершеним науково – прикладним дослідженням, виконаним на високому науковому рівні та відповідає вимогам, передбаченим «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (затвердженого постановою Кабінету Міністрів України №44 від 12 січня 2022р.), положенням Вимог до оформлення дисертації (затверджених

наказом Міністерства освіти і науки України №40 від 12 січня 2017р.), а здобувач Грек Олександр Сергійович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 136 – «Металургія».

Офіційний рецензент:
професор кафедри теоретичних
основ металургійних процесів
Українського державного
університету науки і технологій
доктор технічних наук, професор


Яна МЯНОВСЬКА

Підпис М'яновської Я.В. ЗАСВІДЧУЮ:

