

ВИСНОВОК
ПРО НАУКОВУ НОВИЗНУ, ТЕОРЕТИЧНЕ ТА ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ
РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ

Грека Олександра Сергійовича

за темою: «Розробка технології одержання заліза твердофазним
відновленням залізо-рудно-вугільних брикетів в умовах індукційного
нагріву»,

поданої на здобуття наукового ступеню доктора філософії
за спеціальністю 136 – Металургія

Дисертаційна робота Грека Олександра Сергійовича присвячена розробці енергозберігаючої технології виробництва заліза твердофазного відновлення в умовах індукційного нагріву з використанням залізо-рудно-вугільних брикетів. Дисертація виконана на кафедрі металургії чавуну і сталі факультету металургійних процесів та хімічних технологій Українського державного університету науки і технологій, яка подана на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальності 136 – металургія. Тема дисертації затверджено 20.12.2022р. на засіданні вченої ради УДУНТ, протокол №3, та уточнено 17.12.2025р. на засіданні вченої ради ННІ ДМетІ протокол №4

Актуальність роботи

В даний час технології отримання заліза прямого відновлення активно розвиваються та стикаються з низкою технологічних та фізичних обмежень що лімітують інтенсивність проведення процесу прямого відновлення заліза, ступінь підвищення частки використання водню, обсяг зниження викидів CO₂ та одиничну продуктивність відновлювальних агрегатів. Тому розробка технологій твердофазного відновлення заліза з використанням нових сировинних матеріалів та способів інтенсифікації процесу відновлення відповідає сучасним вимогам розвитку металургійної технології.

Отже, дисертаційна робота Грека О.С. є актуальною, оскільки присвячена розробці нової технології твердофазного відновлення заліза. Результати роботи можуть бути використані для покращення техніко-економічних показників роботи існуючих установок газового відновлення заліза та пропонують ефективну альтернативу технологіям карботермічного відновлення оксидів заліза у твердій фазі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційна робота виконувалася в рамках наукових напрямків науково-дослідницької діяльності кафедри металургії чавуну і сталі Українського державного університету науки і технологій. Розглянуті в дисертаційній роботі актуальні проблеми і задачі в області твердофазного відновлення оксидів заліза та альтернативних методів виробництва чорних металів відповідають пріоритетам науково-технічного розвитку. Основу дисертаційної роботи складають результати досліджень, що виконані автором та є частиною науково-дослідницької роботи «Дослідження термодинамічних та кінетичних закономірностей поведінки фаз зміцнення при електрошлаковому переплаві складних та високоентропійних сплавів» за договором № М/77-2025 від 17 липня 2025р. що виконувалася в Українському державному університеті науки і технологій, в якій дисертант був співвиконавцем.

Наукова новизна отриманих результатів

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 залізovмісної шихти з метою скорочення споживання коксу, зниження емісії CO₂, підвищення ефективності одержання заліза з первородної сировини.

Практичне значення роботи

1. 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.

2. 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.

3. 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.

4. 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.

5. 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 викладу результатів роботи в наукових фахових виданнях

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

Перелік робіт, в яких опубліковано основні результати дисертації

Публікації в зарубіжних фахових виданнях або виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз даних

1. Velychko O., Grek O., Grishin O., Velychko K. Physicochemical Characteristics of Solid-Phase Reduction of Pellets (briquettes) Under Induction Heating. 2024. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*. №3. С.37–45. DOI: <https://doi.org/10.32434/0321-4095-2024-154-3-37-45>.

Публікації у наукових фахових виданнях України

2. О.С. Грек, К.О. Величко Індукційна піч - універсальний металургійний агрегат для твердофазного відновлення та плавлення сталі і високо вуглецевого феромарганцю. 2023. *Теорія і практика металургії*. Т.4 (141). С.13–21. DOI: <https://doi.org/10.15802/tpm.4.2023.02> .

3. О.М. Гришин, О.Г. Величко, О.С. Грек, А.А. Надточій Вуглецевотермічне відновлення оксидів заліза в умовах електромагнітного впливу. 2024. *Теорія і практика металургії*. Т.3 (144). С.20–27. DOI: <https://doi.org/10.15802/tpm.3.2024.03>.

4. Grishin O. M., Velychko O. G., Grek O. S., Nadtochii A. A. Electromagnetic Field Effects on the Kinetics of Solid-State Reduction of Iron Oxides with Gases. 2025. *Theory and Practice of Metallurgy*. Т.3. С.103–110. DOI: <https://doi.org/10.15802/tpm.3.2025.13>.

Публікації, що засвідчують апробацію матеріалів дисертації

5. О.Г. Величко, О.М. Гришин, О.С. Грек Твердофазне відновлення оксидів заліза в умовах індукційного нагріву. Дніпро. Журфонд. 2023. *XVII Міжнародна конференція*. С.58–63.

6. О.Г. Величко, О.С. Грек, О.М. Гришин Математичне дослідження нагріву залізорудно-вугільних брикетів в індукційній печі. м. Харків - м. Київ. Харків, НТУ «ХПІ». 2023. *XIX Міжнародна науково-практична конференція*. С.309–311.
7. Velychko O., Grek O., Mamuzic I. Application of an induction furnace for solid-phase reduction of iron oxides. Zagreb, Croatia. CMS. 2024. *17th International Symposium of Croatian Metallurgical Society*. Т. Metalurgija 63 (2024) 2. С.303–305.
8. О.С. Грек Дослідження параметрів ефективного нагріву залізо-рудно-вугільного брикету в індукційному полі. Дніпро. УДУНТ. 2025. *матеріали Міжнар. наук.-практ. конф.*. С.198.
9. О.С. Грек Розвиток технології прямого відновлення заліза з використанням індукційної печі як єдиного агрегату для відновлення заліза та виплавляння сталі. Дніпро. Журфонд. 2025. *XIX Міжнародна конференція*. С.147–151. URL: https://drive.google.com/file/d/1YxQzufSy0JdBtNWRTrLFxXEYTGn5k8qw/view?usp=sharing&usp=embed_facebook.
10. Р.Д. Скрипченко, О.С. Грек Газове твердофазне відновлення заліза. Дослідження факторів інтенсифікації процесу. Дніпро. Журфонд. 2025. *XIX Міжнародна конференція*. С.151–155. URL: https://drive.google.com/file/d/1YxQzufSy0JdBtNWRTrLFxXEYTGn5k8qw/view?usp=sharing&usp=embed_facebook.

Методичні вказівки

11. Альтернативні процеси виробництва чорних металів / упоряд. В.С. Мамешин, Є.В. Синегін, С.В. Журавльова; О.С. Грек Укр. держ. ун-т науки і технологій. – Дніпро: УДУНТ, 2025. – 49 с.

Виходячи з аналізу вищенаведених робіт, можна зробити висновок про успішне виконання встановлених вимог щодо необхідної кількості наукових публікацій перед представленням дисертаційної роботи Грека О.С. до захисту, а також про достатню повноту висвітлення наукових та практичних результатів в опублікованих матеріалах.

Розглянута дисертація Грека Олександра Сергійовича за темою «Розробка технології одержання заліза твердофазним відновленням залізо-рудно-вугільних брикетів в умовах індукційного нагріву», представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 136 – Металургія, є завершеним науковим дослідженням і відповідає вимогам

викладеним у постанові КМУ від 12 січня 2022р. №44 «Порядок присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії». Робота містить нові науково обґрунтовані результати проведених здобувачем досліджень, які мають певне науково-практичне значення в галузі інженерії, вона базується на достатній кількості наукових публікацій, не містить текстових запозичень без посилання на джерело (плагіату), і може бути прийнята до захисту на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 136 – Металургія.

Головуючий на засіданні
наукового семінару завідувача кафедри
металургії чавуну і сталі д.т.н., професор



Костянтин НІЗЯЄВ

Вчений секретар семінару к.т.н., доцент



Валерій МАМЕШИН