

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОМЕТАЛУРГІЇ ІМ. АКАДЕМІКА М. І. ГАСИКА
ПРИДНІПРОВСЬКИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР НАН УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКА АСОЦІАЦІЯ ВИРОБНИКІВ ФЕРОСПЛАВІВ ТА ІНШОЇ
ЕЛЕКТРОМЕТАЛУРГІЙНОЇ ПРОДУКЦІЇ
АКАДЕМІЯ НАУК ВИЩОЇ ШКОЛИ УКРАЇНИ



Матеріали

Міжнародної науково-практичної конференції
“Інновації в металургії і суміжних стратегічних галузях для енергоефективності
і сталого розвитку”

The Proceedings
of the International scientific and practical conference
“Innovation in Metallurgy and Strategical adjacent industries for energy efficient
and sustainable development”

присвячена
100-річчю кафедри електрометалургії ім. академіка М. І. Гасика

22-23 квітня, 2025

ДНІПРО

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОМЕТАЛУРГІЇ ІМ. АКАДЕМІКА М. І. ГАСИКА
ПРИДНІПРОВСЬКИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР НАН УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКА АСОЦІАЦІЯ ВИРОБНИКІВ ФЕРОСПЛАВІВ ТА ІНШОЇ
ЕЛЕКТРОМЕТАЛУРГІЙНОЇ ПРОДУКЦІЇ
АКАДЕМІЯ НАУК ВИЩОЇ ШКОЛИ УКРАЇНИ



Матеріали

Міжнародної науково-практичної конференції
“Інновації в металургії і суміжних стратегічних галузях для енергоефективності
і сталого розвитку”

присвячена
100-річчю кафедри електрометалургії ім. академіка М. І. Гасика

22-23 квітня, 2025

ДНПРО

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
UKRAINIAN STATE UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGIES
DEPARTMENT OF ELECTROMETALLURGY NAMED AFTER
ACADEMICIAN MYKHAILO GASIK
PRYDNIPROVSKYI SCIENTIFIC CENTER OF THE NAS OF UKRAINE
UKRAINIAN ASSOCIATION OF MANUFACTURERS OF FERROALLOYS AND
OTHER ELECTROMETALURGICAL PRODUCTS
ACADEMY OF SCIENCES OF HIGHER EDUCATION OF UKRAINE



The Proceedings
of the International scientific and practical conference
“Innovation in Metallurgy and Strategic adjacent industries for energy efficient
and sustainable development”

dedicated to the
100th anniversary of the Department of Electrometallurgy named after Academician
Mykhailo Gasik

22-23 April 2025

DNIPRO

УДК 669:[005.591.6:620.92](082)

I 66

Рекомендовано до друку вченою радою Українського державного університету науки і технологій

(Протокол № 12 від 28.05.2025)

Рецензенти:

Грищенко С. Г. – голова ради директорів об'єднання “Укркольормет”, проф., д.т.н.

Камкіна Л. В. – декан факультету металургійних процесів та хімічних технологій Українського державного університету науки і технологій, проф., д.т.н.

I 66 Інновації в металургії і суміжних стратегічних галузях для енергоефективності і сталого розвитку : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 22–23 квітня 2025 р. / за заг. ред. Ю. С. Пройдака, О. В. Жаданоса. – Електрон. вид. – Дніпро : УДУНТ, 2025. – 198 с.

У збірнику подано матеріали, що висвітлюють актуальні проблеми розвитку сучасних технологій в металургійному виробництві, на залізничному транспорті, хімічних виробництвах. Значна увага приділена питанням цифрової трансформації, математичному моделюванню, мультидисциплінарним дослідженням.

ISBN 978-617-8314-05-7(PDF)

Recommended for publication by the Academic Council of the Ukrainian State University of Science and Technologies

(Minutes No. 12 dated May 28, 2025)

Reviewers:

Hryshchenko S. G. – Chairman of the Board of Directors of the Association "Ukrkolormet", Professor, Doctor of Technical Sciences

Kamkina L. V. – Dean of the Faculty of Metallurgical Processes and Chemical Technologies, Ukrainian State University of Science and Technology, Professor, Doctor of Technical Sciences

Innovations in Metallurgy and Related Strategic Industries for Energy Efficiency and Sustainable Development : Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, April 22–23, 2025 / edited by Yu. S. Proidak, O. V. Zhadanos. – Electronic edition. – Dnipro : USUST, 2025. – 198 p.

The collection presents materials highlighting current issues in the development of modern technologies in metallurgical production, railway transport, and chemical industries. Significant attention is paid to digital transformation, mathematical modeling, and multidisciplinary research.



Цей твір ліцензовано на умовах Ліцензії Creative Commons

[«Attribution-NonCommercial-ShareAlike» 4.0 International \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

[\(«Із зазначенням авторства – Некомерційна – Поширення на тих самих умовах» 4.0 Міжнародна\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

ISBN 978-617-8314-05-7(PDF)
DOI 10.15802/978-617-8314-05-7

© Укр. держ. ун-т науки і технологій, 2025

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	14
СЕКЦІЯ 1. СУЧАСНА ЕЛЕКТРОМЕТАЛУРГІЯ: ПРОБЛЕМИ ТА РІШЕННЯ	15
ПРОДУВАННЯ ВАННИ КОНВЕРТЕРА ПРИ РАФІНУВАННІ ФЕРОНІКЕЛЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ОДНОСОПЛОВИХ ТА ТРИСОПЛОВИХ ФУРМ Акреєв В.В., Приходько С.В., Мельник С.О., Овчарук А.М.	15
ОГЛЯД ДОСТУПНИХ ДЖЕРЕЛ МАРГАНЦЕВОЇ СИРОВИНИ ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИРОБНИЦТВА МАРГАНЦЕВИХ СПЛАВІВ ПІДПРИЄМСТВАМИ УКРАЇНИ Аносов О.В., Гладких В.А., Рубан А.В., Рябцев О.О.	21
ШЛЯХИ ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОВИТРАТ ПІД ЧАС ВИПЛАВКИ МАРГАНЦЕВИХ ФЕРОСПЛАВІВ В УМОВАХ АТ НІКОПОЛЬСЬКИЙ ЗАВОДУ ФЕРОСПЛАВІВ Бабуцький В.І., Зінченко О.М.	25
РОЗРОБКА ЕФЕКТИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИПЛАВКИ СПЛАВІВ МАРГАНЦІУ Величко К.О.	30
ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕФЕКТИВНОГО НАГРІВУ ЗАЛІЗО-РУДО-ВУГІЛЬНОГО БРИКЕТУ В ІНДУКЦІЙНОМУ ПОЛІ Грек О.С.	35
ІНТЕНСИФІКУЮЧИЙ ВПЛИВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЮ НА ПРОЦЕС ВІДНОВЛЕННЯ ОКСИДІВ Гришин О.М., Надточій А.А., Губа Р.М., Хромовський С.А.	40
ВПРОВАДЖЕННЯ НОВИХ ЕКОЛОГІЧНИХ В'ЯЖУЧИХ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ВУГЛЕГРАФІТОВИХ ВИРОБІВ Дерев'яно І.В., Жаданос О.В., Агєєв О.Г.	46
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЛАВЛЕННЯ ВУГЛЕЦЬКАРБІДОКРЕМНІЄВИХ БРИКЕТІВ В СТАЛЬ-КОВШІ ПРИ ПОЗАПІЧНІЙ ОБРОБЦІ СТАЛІ Жаданос О.В., Дерев'яно І.В., Шепетяк Є.О., Мацишин В.Г., Петренко М.С.	49
АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ІНТЕГРАЦІЇ ПРОЦЕСІВ БЕЗПЕРЕРВНОГО ЛИТТЯ ТА ПРОКАТКИ У МОДУЛЬНИХ МЕТАЛУРГІЙНИХ СИСТЕМАХ Ціколія А.З., Кононов Д.О.	54
ХАРАКТЕРИСТИКА ВУГЛЕЦЕВИХ ВІДНОВНИКІВ ДЛЯ ВИПЛАВКИ ФЕРОСИЛЦІУ З ПІДВИЩЕНИМ ВМІСТОМ КРЕМНІЮ Кравченко В.П., Гладких В.А., Рубан А.В., Малий Є.Д.	59

РОЗРОБКА ЕФЕКТИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИПЛАВКИ СПЛАВІВ МАРГАНЦЮ

Величко К.О. ННІ ДМетІ УДУНТ, Дніпро, Україна, <https://orcid.org/0009-0009-3705-4129>, akreev@gmail.com

Анотація. Запропоновано вести виплавку сплавів марганцю в індукційній печі з використанням як відновник вугілля та силікомарганцю. Спосіб дозволяє зменшити безповоротні втрати марганцю та забезпечує зниження енергетичних витрат.

Ключові слова: марганець, силікомарганець, феромарганець, брикети, що містять марганець, вугілля, індукційна піч.

DEVELOPMENT OF EFFECTIVE TECHNOLOGY OF SMELTING MANGANESE ALLOYS

Velychko K.O. Dnipro Metallurgical Institute of USUST, Dnipro, Ukraine

Abstract. It is proposed to smelt manganese alloys in an induction furnace using coal and silico-manganese as a reducing agent. The method allows to reduce irreversible losses of manganese and provides a reduction in energy costs.

Key words: manganese, silicomanganese, ferromanganese, briquettes containing manganese, coal, induction furnace.

Широко застосовувані способи виплавки сплавів марганцю реалізують у відновлювальних печах [1-3].

Розділяють безфлюсовий та флюсовий способи плавки. У першому випадку одержуваний при цьому високомарганцевий шлак (38%Mn) використовують як вихідний компонент шихти для виплавки силікомарганця з зниженим вмістом фосфору, що підвищує вилучення марганцю і знижує витрату шихтових матеріалів. При флюсовому способі високовуглецевий феромарганець виплавляють з використанням вихідних концентратів, коксикю та вапняку.

Процес виплавки ведуть у два етапи. На першому етапі відновлюють фосфор із переведенням його в попутний метал. Для цього концентрат Mn-руди дефосфорують, відновником в якому є твердий вуглець. Отриманий шлак є вихідним продуктом для виплавки середньо- та низьковуглецевого феромарганцю. На другому етапі в дуговій електропечі ведуть процес відновлення марганцю із ШМП кремнієм передельного феросилікомарганцю, який може бути представлений реакцією:



Недоліками описаного способу виплавки низьковуглецевого феромарганцю є втрати марганцю з попутним металом, що виходить на першій стадії, і підвищена сумарна витрата електроенергії на виплавку сплавів за цією технологією.

Свого часу академік М.І.Гасік, співробітники кафедри електрометалургії стали та феросплавів Дніпропетровського металургійного інституту та фахівці Нікопольського Заводу Феросплавів розробили спеціальну технологію виплавки марганцевих сплавів на основі марганцевмісної шихти з відносно високим вмістом фосфору.

В цілому, процеси характеризуються високою продуктивністю та технологічністю та вирішують завдання отримання сплавів марганцю.

Разом з тим, при електродуговому нагріванні шихти і проведенні вуглецевотермічного відновлення температури процесу в районі дуг невиправдано високі, що призводить до підвищених втрат марганцю з випаровуванням, а власне вуглецевотермічне відновлення супроводжується виділенням великої кількості монооксиду вуглецю на кожен тону по М стехіометрії 276 кг вуглецю та процес відновлення супроводжується виділенням майже 642 кг монооксиду вуглецю і після допалювання останнього до CO_2 утворюється приблизно 1000 кг вуглекислого газу $\{\text{CO}_2\}$.

При сьгоднішніх екологічних вимогах до викидів CO_2 в атмосферу і тим більше у майбутньому, такі класичні технології виплавки марганцевих сплавів не можна вважати екологічно прийнятними, як з точки зору теплових навантажень та випаровування металів, так і насамперед у зв'язку з викидами $\{\text{CO}_2\}$ в атмосферу.

Як альтернативні рішення автором запропоновано:

- вести процес в індукційній печі;
- використовувати як відновник газоподібний водень;
- Завершальну стадію виплавки марганцевих сплавів ($\text{MnO} \rightarrow \text{Mn}$) проводити використовуючи силікомарганець (SiMn) або феросиліцій (FeSi).

На вибір індукційної печі в якості металургійного агрегату для нагріву, проведення твердофазного відновлення і розплавлення шихти вплинули переваги останньої при реалізації виплавки сплавів марганцю. По-друге, втрати в індукційній печі значно менше, ніж в електродуговій печі.

Саме ці переваги пропонується використовувати для виплавки сплавів марганцю.

Індукційну піч можна розглядати як унікальний металургійний агрегат, можливості якого не реалізовані повною мірою, у тому числі для марганцевих сплавів [4].

Шихтові матеріали:

1. марганцевий концентрат;
2. вугілля;
3. силікомарганець;
4. DRI;
5. вапно.

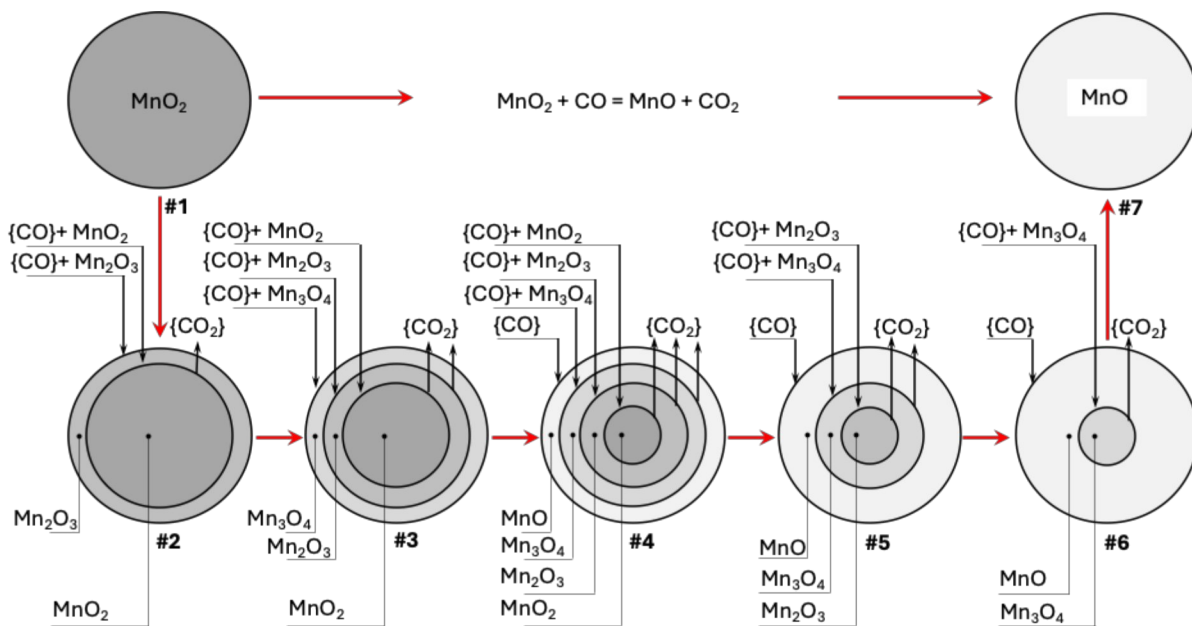
З марганцевого концентрату та вугілля готують марганецьрудовугільні брикети. Зважаючи на відсутність металевої складової в марганецьрудовугільних брикетах, їх нагрівання не можливе в магнітному полі індукційної печі.

Разом з тим, введення металевої частини (частинок DRI) змінює уявлення про теплові можливості процесів нагрівання та розплавлення марганецьрудовугільних брикетів в індукційній печі робить такий нагрівання та розплавлення реалізованим.

Марганецьрудовугільні брикети змішують з подрібненим DRI до рівномірного розподілу частинок DRI серед марганецьрудовугільних брикетів.

Для швидкого нагріву марганецьрудовугільних брикетів розміри останніх обмежують діаметром 10-25 мм.

У марганецьрудовугільному брикеті кількість вугілля на процес має забезпечувати вуглецевотермічне твердофазне відновлення оксидів заліза до заліза та відновлення MnO_2 до MnO . Схема послідовного ступінчастого відновлення оксидів марганцю представлена малюнку 1.



Мал. 1. Схема послідовного ТФВ елементі марганецьрудовугільному брикету.

Відновником є монооксид вуглецю як продукт газифікації вуглецю вугілля. В елементі брикету, як і у всьому брикеті, частинки концентрату марганцевої руди та вугілля нагріваються шматочком DRI. Нагрів марганецьрудовугільної шихти йде від поверхні металевої частинки вглиб. Розмір частинки концентрату марганцевої руди в брикеті - до 1-2 мм, Позиція 1 на рис.1 представляє інкубаційний період, коли в системі насамперед за рахунок нагріву формуються умови для протікання реакцій ТФВ. Після досягнення температури газифікації вугілля та початку процесу твердофазного

відновлення на поверхні частинки концентрату марганцевої руди протікає реакція відновлення монооксидом вуглецю MnO_2 до Mn_2O_3 з утворенням скоринки відновленого оксиду Mn_2O_3 на поверхні (позиція 2 на рис.1). Подальше просування нагріву та монооксиду вуглецю вглиб створює умови протікання там також відновної реакції $MnO_2 - Mn_2O_3$. У той же час в області близької поверхні йде відновлення сесквіоксиду марганцю до подвійного оксиду марганцю (позиція 3 на рис.1). Серцевина частинки складається з діоксиду марганцю MnO_2 . У позиції 3 показані просування фронту підведення відновника та в протилежному напрямку відведення газоподібного продукту відновлення CO_2 .

Позиція 4 на рис.1 показує, як реакції ТФВ набувають подальшого розвитку. Нагрів та підведення монооксиду вуглецю від периферії до центру дозволяє умовно виділити чотири області. В області близької поверхні процеси відновлення оксидів марганцю концентрату марганцевої руди вуглецем завершуються утворенням області монооксиду марганцю. Наступна вглиб область представлена подвійним оксидом марганцю (Mn_3O_4). У ній завершено реакцію відновлення Mn_2O_3 до подвійного оксиду. Далі проходить область, де завершуються перетворення MnO_2 на Mn_2O_3 . У центральній області, куди не доставлено відновлювач, ще зберігається діоксид марганцю MnO_2 .

Позицію 5 характеризує відсутність у частинці марганцевого концентрату вищого оксиду MnO_2 . Центр представлений тепер оксидом Mn_2O_3 , області подвійного оксиду марганцю та монооксиду марганцю збільшуються. Процеси ТФВ уповільнюються та йдуть до свого завершення. У позиції 6 представлені лише дві відносно великі області: у центрі невідновлений подвійний оксид марганцю Mn_3O_4 і далі монооксид MnO . При подальшій доставці монооксиду вуглецю до центру та перебігу відновлення Mn_3O_4 процес ТФВ завершується і частинка концентрату марганцевої руди брикету (як і у всьому брикеті) тепер представлена монооксидом марганцю (позиція 7 на рис. 1).

Подальший нагрівання DRI та марганецьрудовугільного брикету призводить до їх розплавлення. Отриманий марганцевистий шлак спочатку скачують, а відновлення MnO ведуть $SiMn$ кремнієм.

Сумарна витрата матеріалів для проведення процесу в індукційній печі склала:

- марганцева руда - 1.000 кг;
- вугілля – 140 кг;
- силікомарганець (28% Si) – 410 кг;
- вапно – 300 кг.

Спосіб експериментально перевірено в умовах роботи 50 кг індукційної печі.

Висновки. Показано важливу можливість ефективної виплавки сплавів марганцю в індукційній печі.

Бібліографічний список

1. Величко А.Г., Ду Юньшень, Гасік М.А. Теоретичні основи процесів та технологій середньовуглецевого феромарганцю. - Дніпропетровськ, НМетАУ, 2016 р. 259 стор.
2. Гасік М.А., Кравченко П.А., Сазоненко О.М. Удосконалення технологічних процесів тристадійного виробництва металевого марганцю силікотермічним способом. *Металургійна та гірничорудна промисловість*, 2008.02, с. 21-26
3. Величко А.Г., Ду Юньшень, Гасік М.А. Дослідження термодинаміки відновлення закису марганцю силікомарганцем при отриманні середньовуглецевого феромарганцю. *Металургійна та гірничорудна промисловість*, 2015.04, с. 34-37
4. Грек О.С., Величко К.А. Індукційна піч – універсальний металургійний агрегат для твердофазного відновлення та плавлення сталі та високовуглецевого феромарганцю. *Теорія та практика металургії*. 2023. Вип. 4 (141). С. 13–21.

Наукове видання

Загальна редакція Ю. С. Пройдака, О. В. Жаданоса

**ІННОВАЦІЇ В МЕТАЛУРГІЇ І СУМІЖНИХ СТРАТЕГІЧНИХ ГАЛУЗЯХ ДЛЯ
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ І СТАЛОГО РОЗВИТКУ**

МАТЕРІАЛИ МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

Електронне видання

Відповідальні за випуск: Пройдак Ю. С., Жаданос О. В.
Комп'ютерна верстка та дизайн: Жаданос О. В.

*Відповідальність за достовірність інформації, представленої в збірнику,
несуть автори*

Видавець: Український державний університет науки і технологій
вул. Лазаряна, 2, ауд. 2216, ауд. 263 (наукова бібліотека)
м. Дніпро, 49010.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 7709 від 14.12.2022