



Міністерство освіти та науки України
Національна академія наук України

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»



Фізико-технологічний інститут
металів та сплавів НАН України



Український державний університет науки та технологій

Асоціація ливарників України



Національний університет «Одеська політехніка»

Національний університет «Запорізька політехніка»



Otto von Guericke University Magdeburg

AGH University of Krakow



Запорізька торгово-промислова палата

МАТЕРІАЛИ

XXI МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

ЛИТВО 2025

XIV МІЖНАРОДНОЇ

НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

МЕТАЛУРГІЯ 2025



27 – 29 травня 2025 РОКУ

УКРАЇНА, ХАРКІВ-КИЇВ

2025

УДК 621.74+669(063)

Л64

ISBN 978-617-05-0544-6

Литво. Металургія. 2025: Матеріали XXI Міжнародної науково-практичної конференції (27-29 травня 2025 р., м. Харків-м. Київ) / Під заг. ред. д.т.н., проф. Пономаренко О.І. – Харків, НТУ «ХПІ». – 509 стор.

У збірнику представлено матеріали, що стосуються актуальних проблем ливарного і металургійного виробництва: отримання, обробки та структуроутворення сплавів; прогресивні технології та обладнання в ливарному виробництві; перспективні формувальні матеріали і суміші, технологічні процеси виготовлення форм і стрижнів; моделювання, комп'ютерні та інформаційні технології в ливарному виробництві; спеціальні способи литва та литва композиційних матеріалів; методи контролю ливарних і металургійних процесів, економіка та екологія ливарного виробництва.

Матеріали призначені для інженерно-технічних працівників металургійних і машинобудівних підприємств і науково-дослідницьких інститутів, аспірантів і студентів вищих навчальних закладів.

Друкується за рішенням Вченої ради Національного технічного університету «Харківського політехнічного інституту», протокол № 5 від 18.04.2025

Відповідальність за достовірність інформації, що викладена в матеріалах конференції, несуть їх автори.

<https://doi.org/10.15407/foundry-metallurgy-2025>

Foundry. Metallurgy. 2025: Materials of the XXI International Scientific and Practical Conference (May 27-29, 2025, Kharkiv-Kyiv) / Proceedings ed. Dr.Sci., Prof. Ponomarenko O.I. - Kharkiv, NTU "KhPI". - 508 pages.

The Proceeding presents materials related to the current problems of foundry and metallurgy: obtaining, processing and structuring of alloys; advanced technologies and equipment in foundry production; promising molding materials and mixtures, technological processes of manufacturing molds and rods; modeling, computer and information technologies in foundry production; special methods of casting and casting of composite materials; methods of control of foundry and metallurgical processes, economics and ecology of foundry production.

The Proceeding is intended for engineering and technical workers of metallurgical and machine-building enterprises and research institutes, graduate students and students of higher educational institutions.

Printed by the decision of the Academic Council of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Protocol No. 5 dated 04.18.2025

The authors are responsible for the accuracy of the information presented in the Proceeding

ISBN 978-617-05-0544-6

© НТУ «ХПІ», 2025

Кисляков В.Г., Єлісеєв В.І., Руденко О.Л. АПРОБАЦІЙНІ ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ РУХУ СУМІШІ РЕАГЕНТІВ ПРИ КОМПЛЕКСНОМУ РАФІНУВАННЮ ЧАВУНУ.....	403
Костецький Ю.В., Вдовін М.О. АЛЮМІНОТЕРМІЧНЕ ВІДНОВЛЕННЯ ВІДХОДІВ, ЩО МІСТЯТЬ ВАНАДІЙ, В УМОВАХ ЕЛЕКТРОШЛАКОВОГО ПЛАВЛЕННЯ.....	405
Крячко Г.Ю., Сігарьов Є.М., Руденко М.Р., Філіп'єв В.В. ВЗАЄМОЗАЛЕЖНІСТЬ ДУТТЬОВИХ І ГАЗОВИХ ПАРАМЕТРІВ ДОМЕННОГО ПРОЦЕСУ.....	409
Навольнєв І.Ю., Кухар В.В., Чупринов Є.В. ВИКОРИСТАННЯ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН ПРИ ВИРОБНИЦТВІ DRI-ПРОДУКТУ.....	412
Ниткін Ю.В., Огінський О.Й., Бобух О.С., Кузьміна О.М. ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ НЕРІВНОКАНАЛЬНОГО КУТОВОГО ПРЕСУВАННЯ НА ЕНЕРГОСИЛОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ.....	416
Нізяєв К.Г., Стоянов О.М., Рубан В.О., Бойченко С.Б. АНАЛІЗ ПІДВИЩЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ПРОДУВАННЯ В ПОДОВИХ ПЕЧАХ.....	418
Нізяєв К.Г., Стоянов О.М., Синегін Є.В., Рубан В.О., Кириленко Я.А. ВИКОРИСТАННЯ У СКЛАДІ ШИХТИ КОНВЕРТЕРНОЇ ПЛАВКИ СКРАПУ ТА ТВЕРДОГО ЧАВУНУ.....	421
Нізяєв К.Г., Федоров Р.Ф., Малій Х.В., Рубан В.О. ОСОБЛИВОСТІ РОЗКИСЛЕННЯ СТАЛІ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ФЕРОХРОМУ.....	423
Нізяєв К.Г., Стоянов О.М., Синегін Є.В., Рубан В.О. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ ШЛАКОВИХ РОЗПЛАВІВ.....	425
Пантейков С.П. АНАЛІЗ УМОВ ПЕРЕБІГУ ХІМІЧНИХ РЕАКЦІЙ ВІДНОВЛЕННЯ МАРГАНЦЮ З ЙОГО ДІОКСИДУ ТВЕРДИМ ВУГЛЕЦЕМ.....	429
Пантейков С.П. АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СТУПЕНЯ ХІМІЧНОЇ СПОРІДНЕНОСТІ РЕЧОВИН ДО КИСНЮ НА МОЖЛИВІСТЬ ПЕРЕБІГУ РЕАКЦІЙ ВІДНОВЛЕННЯ МАРГАНЦЮ З ЙОГО ДІОКСИДУ ТВЕРДИМ ВУГЛЕЦЕМ.....	433
Пантейков С.П. ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУР ПЕРЕБІГУ РЕАКЦІЙ ВІДНОВЛЕННЯ МАРГАНЦЮ З ЙОГО ДІОКСИДУ ТВЕРДИМ ВУГЛЕЦЕМ ЗА СТУПЕНЕМ ХІМІЧНОЇ СПОРІДНЕНОСТІ РЕЧОВИН ДО КИСНЮ.....	436
Пантейков С.П. ПРО МОЖЛИВІСТЬ ПЕРЕБІГУ РЕАКЦІЙ ВІДНОВЛЕННЯ КРЕМНІЮ З КРЕМНЕЗЕМУ ГАЗОМ СО З ПОЗИЦІЙ ТЕРМОДИНАМІКИ.....	441
Пантейков С.П. ТЕРМОДИНАМІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗА ЛІТЕРАТУРНИМИ ДАНИМИ ВПЛИВУ СТУПЕНЯ ХІМІЧНОЇ СПОРІДНЕНОСТІ РЕЧОВИН ДО КИСНЮ НА МОЖЛИВІСТЬ ПЕРЕБІГУ РЕАКЦІЙ ВІДНОВЛЕННЯ КРЕМНІЮ З КРЕМНЕЗЕМУ ГАЗОМ СО.....	444

дження, що виникає при критичних швидкостях горнового газу в зоні розрихленого коксу, яка розміщується над куполом осьової зони малорухомих матеріалів в заплечиках доменної печі.

Пульсації, як і більш розповсюджене порушення ходу печі - підвісання шихти, мають загальну природу - неприпустиме збільшення швидкості газу в стовпі шихти. Тому єдиним способом форсування плавки в таких умовах є підвищення тиску газів в робочому просторі печі. Судячи за низькою якістю стисненого дуття перепорою для підвищення тиску на колошнику ДП №2 в Оіта була недостатня для форсованого режиму потужність повітрорудної машини.

На прикладах експлуатації великих доменних печей колишнього СРСР і Японії доведено, що недооцінка значення повітрорудних засобів і якості холодного дуття обмежує можливості застосування підвищеного тиску і форсування процесу. Удосконалення конструкцій і режимів роботи повітрорудних машин є одним із вирішальних умов подальшого розвитку технології плавки на підвищеному тиску.

Список літератури

1. Крячко Г. Ю. Оценка качества дутья и технической работы газа в доменном процессе. Черные металлы. 2002. №10. С. 11-16.
2. Такао М., Тоигути М., Хага Т. Работа доменной печи №2 в Оита с суточной производительностью 12550 т // Новости черной металлургии за рубежом. 1995. №1. С. 35-37.

УДК 669.546.1

І. Ю. Навольнєв, В. В. Кухар, Є. В. Чупринов

ТОВ «Технічний Університет «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», м. Запоріжжя

ВИКОРИСТАННЯ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН ПРИ ВИРОБНИЦТВІ DRI-ПРОДУКТУ

Боротьба з вуглецевим слідом стає головною вимогою сучасного розвитку промисловості. Не обійшла ця тенденція й металургійний комплекс. На заміну існуючому, розповсюдженому доменному виробництву, одним з варіантів пропонується більш

екологічно-нейтральний спосіб виготовлення сталі на основі технологій DRI (Direct Reduced Iron). При цьому одними з недоліків цього напрямку є:

- схильність продукту DRI до окислення та самозаймання: продукт містить металеве залізо у високодисперсному стані, що робить його хімічно активним і таким, що легко окислюється при контакті з вологою чи повітрям. Це може знизити металізацію (з 90–95% до 80–85%) і підвищує ризик самозаймання під час транспортування чи зберігання [1];

- обмеження якості сировини: потрібні високоякісні окатиші з вмістом Fe 65–70% і низьким рівнем домішок (SiO_2 , Al_2O_3) [2];

- складність транспортування та зберігання: через пористість DRI потребує спеціальних умов для транспортування (герметичні контейнери, захисні покриття) або брикетування в HBI (Hot Briquetted Iron). Хоча, HBI менш проблемний - це потребує додаткового етапу брикетування, що збільшує собівартість на 10–15% [3].

Для подолання зазначених проблем стали застосовувати досягнення хімічної промисловості – поверхнево-активні речовини (ПАР). Такі хімічні сполуки знижують поверхневий натяг рідин, сприяють їх змішуванню, піноутворенню або диспергуванню. Вони мають амфифільну будову – гідрофільну та гідрофобну частини [4].

Поділимо та розглянемо, як ПАР впливають на покращення якості вихідної сировини та вже готового продукту DRI.

1. ПАР для вихідної сировини. Вихідна сировина для DRI — залізорудний концентрат або окатиші. Вимоги: високий вміст заліза (60–70%), низький рівень домішок (SiO_2 , Al_2O_3) та відповідні фізичні властивості (міцність, пористість). Відповідно, технологічні процеси, які необхідно застосувати для досягнення необхідних показників, – це флотація та окатування:

- 1.1. ПАР для флотації та збагачення руди. ПАР у флотації відокремлюють залізовмісні мінерали, підвищуючи якість концентрату.

- 1.1.1. Аніонні ПАР:

- жирні кислоти (олеїнова кислота / $\text{C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_2$, натрієві олеати / $\text{C}_{18}\text{H}_{33}\text{COONa}$): адсорбуються на гематиті/магнетиті, роблячи їх гідрофобними. Ефективні при рН 7–9, підвищують вміст Fe до 65–68% [5].

- алкілсульфонати (додецилсульфонат натрію / $\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{SO}_3\text{Na}$): застосовуються для зворотної флотації кремнезему, знижуючи SiO_2 до 0,2–0,5% [6].

- 1.1.2. Неіоногенні ПАР:

- етоксильовані спирти (ізотридеканол етоксильований / $C_{13}H_{28}O(C_2H_4O)_n$): піноутворювачі, що посилюють стабільність піни та селективність [7]. Наприклад, ізотридеканол етоксильований (100%) підвищує вихід концентрату на 2–3%.

- полігліколеві ефіри: покращують піноутворення та дисперсію частинок [8].

1.1.3. Катіонні ПАР:

- аміни (додециламін / $C_{12}H_{25}NH_2$): використовуються для зворотної флотації кварцу, ефективні для висококремнеземистих руд, але їхній недолік – висока ціна [6].

1.2. ПАР для окатування (гранулювання). ПАР додають до шихти для покращення міцності сирих та обпалених окатишів, а також їхньої пористості, що важливо для відновлення в шахтних печах (наприклад, Midrex).

1.2.1. Аніонні ПАР:

- лігносульфонати: підвищують міцність сирих окатишів, знижуючи пилення [9].

- карбоксиметилцелюлоза (КМЦ): посилює в'язкість шихти, запобігає розтріскуванню окатишів [10].

1.2.2. Неіоногенні ПАР:

- етоксильовані спирти: покращують змочуваність шихти, забезпечуючи рівномірний розподіл води та бентоніту. Міцність окатишів досягає 200–250 кг/см² [11];

- поліакриламідні: знижують поверхневий натяг води, зменшуючи витрати бентоніту на 20–30% [12].

2. ПАР для покращення якості готового DRI. Основним напрямом – є захист від окислення.

2.1. Неіоногенні ПАР:

- етоксильовані спирти (ізотридеканол етоксильований / $C_{13}H_{28}O(C_2H_4O)_n$): використовуються у захисних покриттях, створюючи гідрофобну плівку, стійку до води, особливо при морському транспортуванні [1].

- силіконові ПАР (полідиметилсилоксани / $CH_3[Si(CH_3)_2O]_nSi(CH_3)_3$): формують термостійку гідрофобну плівку, захищаючи від корозії [13];

2.2. Амфотерні ПАР:

- бетаїни (кокамідопропілбетаїн / $C_{19}H_{38}N_2O_3$): пасивують поверхню, знижуючи реакцію з киснем та водою [14].

2.3. Полімерні ПАР:

- полівінілові спирти (ПВС / $(C_2H_4O)_n$): створюють міцну захисну оболонку, запобігаючи окисленню та руйнуванню при перевалці [15].

3. ПАР для гарячебрикетованого заліза (НВІ). НВІ знижує пористість та окислюваність DRI, роблячи його ідеальним для експорт. При цьому ПАР покращують зазначене брикетування за рахунок:

3.1. Аніонні ПАР:

- лігносульфонати: покращують зв'язування частинок, підвищуючи щільність брикетів до 5–5,5 г/см³ [16].

3.2. Неіоногенні ПАР:

- етоксильовані жирні кислоти: полегшують пресування, підвищуючи міцність брикетів до 100–150 кг/см² [17].

Таким чином, підсумовуючи все вищенаведене, можна зробити наступні висновки:

- в цілому, ПАР спроможні підвищувати вміст Fe у концентраті до 65–70%, знижувати SiO₂ до 0,2–0,5%, покращувати міцність та пористість окатишів, знижуючи енергоємність відновлення;

- при флотації та окатуванні виникає необхідність в комбінуванні аніонних ПАР (олеати, лігносульфонати) та неіоногенних ПАР (ізотридеканол етоксильований), що забезпечить в продукті вміст Fe 65–70% та необхідну міцність окатишів;

- захисні покриття ПАР забезпечують підтримання рівню металізації DRI на рівні 90–95% й запобігають самозайманню;

- для мінімізування окислення та полегшення транспортування НВІ необхідно використовувати лігносульфонати.

Список літератури

1. Zhang Y., Lu W. K. Protection of DRI from oxidation during storage and transportation. *Ironmaking & Steelmaking*. 2010. Vol. 37, No. 6. P. 427–432.

2. Anameric B., Kawatra S. K. Properties and features of direct reduced iron. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*. 2008. Vol. 29, No. 1. P. 59–77.

3. Pal J., Ghorai S. Development of coating for DRI to prevent re-oxidation. *ISIJ International*. 2015. Vol. 55, No. 12. P. 2656–2663.

4. Поверхнево-активні речовини. *Фармацевтична енциклопедія*. 2025. URL: <https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/859/poverxnevo-aktivni-rechovini> (дата звернення: 17.04.2025).

5. Araujo A. C., Viana P. R., Peres A. E. Reagents in iron ores flotation. *Minerals Engineering*. 2005. Vol. 18, No. 2. P. 219–224.

6. Quast K. Flotation of hematite using C6–C18 saturated fatty acids. *Minerals Engineering*. 2012. Vol. 29. P. 47–53.
7. Wang D., Liu Q. Non-ionic surfactants in froth flotation of iron ores. *International Journal of Mineral Processing*. 2013. Vol. 123. P. 1–8.
8. Fuerstenau M. C., Han K. N. Principles of mineral processing. *SME*, 2002.
9. Eisele T. C., Kawatra S. K. Use of organic binders in iron ore pelletization. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*. 2003. Vol. 24, No. 1. P. 1–27.
10. Sivrikaya O., Arol A. I. Alternative binders to bentonite for iron ore pelletizing. *Particulate Science and Technology*. 2012. Vol. 30, No. 5. P. 445–456.
11. Halt J. A., Kawatra S. K. Review of organic binders for iron ore agglomeration. *Minerals & Metallurgical Processing*. 2014. Vol. 31, No. 2. P. 73–94.
12. Ripke S. J., Kawatra S. K. Can fly-ash extend bentonite binder for iron ore agglomeration? *International Journal of Mineral Processing*. 2000. Vol. 60, No. 3–4. P. 181–190.
13. De Bruyn H., Du Preez H. Surface treatments for direct reduced iron. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2005. Vol. 105, No. 7. P. 455–460.
14. Fuerstenau D. W. Surfactants in mineral processing. *Advances in Colloid and Interface Science*. 2007. Vol. 137, No. 2. P. 57–68.
15. Pal J., Ghorai S. Development of coating for DRI to prevent re-oxidation. *SIJ International*. 2015. Vol. 55, No. 12. P. 2656–2663.
16. Born S., Schutze J. Hot briquetted iron (HBI): Production and properties. *Metallurgical Research & Technology*. 2017. Vol. 114, No. 5. P. 506.
17. Anameric B., Kawatra S. K. Properties and features of direct reduced iron. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*. 2008. Vol. 29, No. 1. P. 59–77.

УДК 621.74

Ю. В. Ниткін, О.Й. Огінський, О.С. Бобух, О.М. Кузьміна

Український державний університет науки та технологій, м. Дніпро

**ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ НЕРІВНОКАНАЛЬНОГО КУТОВОГО ПРЕСУ-
ВАННЯ НА ЕНЕРГОСИЛОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

Наукове видання

ЛИТВО. МЕТАЛУРГІЯ. 2025

**Матеріали XXI МІЖНАРОДНОЇ
НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
ЛИТВО 2025**

**Матеріали XIV МІЖНАРОДНОЇ
НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
МЕТАЛУРГІЯ 2025**

Редактори: Т.В. Берлізева, С.В. Гнилокурєнко, Стоянов А.М.

Випуск підготовлено до друку

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

Наукове видання

ЛИТВО. МЕТАЛУРГІЯ. 2025

**Матеріали XXI МІЖНАРОДНОЇ
НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
ЛИТВО 2025**

**Матеріали XIV МІЖНАРОДНОЇ
НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
МЕТАЛУРГІЯ 2025**

Редактори: Т.В. Берлізева, С.В. Гнилоскуренко, Стоянов А.М.

Випуск підготовлено до друку

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»