

**О. В. Чупринов**, к.т.н., доцент, ORCID 0000-0001-8605-3434

**В. П. Лялюк**, д.т.н., проф., ORCID 0000-0001-7258-2079

**Ф. М. Журавльов**, к.т.н., доцент, ORCID 0000-0001-9280-6316

**Д. А. Касім**, д.т.н., проф., ORCID 0000-0002-1750-1237

**І. А. Ляхова**, к.т.н., доцент, ORCID 0000-0001-7589-87351

*Навчально-науковий технологічний інститут ГУЕТ, м. Кривий Ріг,  
вул. Медична, 16, 50005*

## РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ЗАЛІЗУРОВОГО МОНОСИРОВИНИ ДЛЯ ДОМЕННОЇ ПЛАВКИ

**Анотація.** Метою роботи є розробка та випробування технологічних режимів отримання нових видів окускованих залізорудних матеріалів та моносировини для доменної плавки. Показано, що традиційні способи вдосконалення технології доменної плавки для підвищення продуктивності печі та зниження питомої витрати коксу значною мірою вичерпали свої можливості. У той же час створення окускованої залізорудної моносировини з необхідними показниками комплексу металургійних характеристик дає додаткові можливості зменшення витрат енергоресурсів під час доменної плавки. У статті наведено результати розробленої технології виробництва окускованої залізорудної моносировини для доменної плавки, що має у своєму складі одночасно підвищений вміст заліза та залишковий вуглець. Авторами розроблено нові типи залізорудної сировини – офлюсовані локальні спіки із залізорудних концентратів різного ступеня збагачення, локальні спіки з підвищеним, порівняно з агломератом та окатишами, вмістом заліза та локальні спіки з підвищеним вмістом залишкового вуглецю. Для отримання локальних спіків, як високотемпературної частини шихти, використовувалися металізовані обкотиші, металізовані руди або їх суміші. Показано, що запропонована моносировина може проводитися в діючих цехах з виробництва обпалених обкотишів, та дозволяє суттєво покращити техніко-економічні показники виплавки чавуну. Складові шихти змішувалися, після чого суміш піддавалася термообробці газоподібним теплоносієм з окисним або слабо окисним потенціалом. Питома продуктивність випалювального агрегату та питомі витрати енергоресурсів (теплоти та електроенергії) при виробництві окускованої моносировини залишилися практично ідентичними для виробництва інших локальних спіків. Наведено результати розрахунку показників доменної плавки при використанні в її шихті окускованої офлюсованої моносировини з підвищеним вмістом заліза та вуглецю. Розрахунки показують, що використання цього матеріалу в доменному виробництві дозволить суттєво покращити техніко-економічні показники виплавки чавуну.

**Ключові слова:** моносировина, локальні спіки, залишковий вуглець, витрата коксу, доменна плавка.

**Посилання для цитування:** Чупринов О. В., Лялюк В. П., Журавльов Ф. М., Касім Д. А., Ляхова І. А. Розробка технології виробництва залізорудної моносировини для доменної плавки. *Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії*. 2021. Вип. 35. С. 69-77. (In Ukrainian). DOI 10.52150/2522-9117-2021-35-69-77

**Сучасний стан проблеми.** Традиційні способи вдосконалення технології доменної плавки для підвищення продуктивності печі та зниження питомої витрати коксу значною мірою вичерпали свої можливості. Найбільш значущими їх досягненнями були: збільшення обсягу доменних печей; вдування у фурми печей природного та коксового газів, мазуту, ПУТ; збагачення дуття киснем; нагрівання дуття до максимально необхідної температури; підвищення тиску газу на колошнику; заміна частини металургійного коксу шматковим антрацитом; автоматизація технології виплавки чавуну; поліпшення металургійних показників коксу та залізорудного окускованого матеріалу тощо. Всі зазначені способи вдосконалення технології доменної плавки практично реалізовані в доменному виробництві за винятком одного – створення окускованої залізорудної моносировини з необхідними для доменної плавки показниками комплексу металургійних характеристик [1].

Для ефективно роботи доменної печі потрібен однорідний за хімічним складом та крупністю повністю офлюсований ( $\text{CaO/SiO}_2 = 1,2-1,5$  д.од. для різних умов плавки) окускований (10-60 мм) залізорудний матеріал з максимально високим економічно доцільним вмістом заліза, з максимально допустимим для виробництва вмістом залишкового вуглецю, з мінімальним вмістом кремнезему та шкідливих домішок, а також з наявністю необхідних корисних домішок.

**Мета роботи.** Розробка та випробування технологічних режимів отримання нових видів окускованих залізорудних матеріалів та моносировини для доменної плавки.

**Основні результат дослідження.** Авторами розроблені нові типи залізорудної сировини - офлюсовані локальні спіки із залізорудних концентратів різного ступеня збагачення, локальні спіки з підвищеним, порівняно з агло-мератом і окатишами, вмістом заліза і локальні спіки з підвищеним вмістом залишкового вуглецю [2]. Проаналізувавши технологічні можливості, показники отримання та металургійні характеристики розроблених офлюсованих локальних спіків дійшли висновку, що технологічно можливо отримати комплексний офлюсований оздоблений матеріал з усіма зазначеними металургійними характеристиками, а також з підвищеним вмістом заліза і залишковим вуглецем.

Як високотемпературну частину шихти для отримання локальних спіків використовувалися металізовані окатиші, металізовані руди або їх суміші зі ступенем металізації 5-95 % крупністю 10-20 мм у кількості 50-80 %, а також тверде паливо (антрацит) крупністю 0-12 мм у кількості 15-3%, без накочування на перші та другі оболонки з високотемпературної шихти для запобігання їх від окислення. Як низькотемпературну частину шихти використовували застосовані раніше сирі високоофлюсовані окатиші з низькою температурою плавлення крупністю 8-14 мм у кількості 35-17 %. Отримані складові шихти змішувалися, після чого суміш піддавалася термообробці газоподібним теплоносієм з окислювальним або слабо окислювальним потенціалом з наступними температурами: сушіння – 350-450°C, нагрівання до максимальної температури з різними швидкостями, високотемпературний обжиг при температурі 1350°C та охолодження з різними швидкостями до температури 100-130°C.

Питома продуктивність випалювального агрегату та питомі витрати енергоресурсів (теплоти та електроенергії) при виробництві окускованої моносіровини залишилися практично ідентичними виробництва інших локальних спіків (див. табл. 1). Міцні характеристики спіків у вихідному стані і в процесі відновлення були також ідентичні. Зміст залишкового вуглецю в спіках було дещо нижче за рахунок більшого його вигорання в процесі термообробки. Результати розрахунку показників доменної плавки при використанні в її шихті окускованої офлюсованої моносіровини з підвищеним вмістом заліза і вуглецю, за відсутності оболонки з високотемпературної шихти на металізованих окатишах і твердому паливі, показали (табл. 2, спіки 4) 28,3 % та зниження питомої витрати коксу на 96 кг/тонну чавуну.

На наступному етапі розробки моносіровини для доменної плавки була розроблена технологія отримання моносіровини у вигляді офлюсованих локальних спіків 5 з накочуванням оболонки певної товщини з високотемпературної шихти на шматочки антрациту і металізовані окатиші для запобігання їх від окислення.

Сутність технології полягала у підготовці трьох компонентів, що вводяться в шихту для отримання локальних спіків: двох компонентів шихти з високою температурою плавлення та одного – з низькою температурою плавлення. Як високотемпературні компоненти шихти (з температурою плавлення вище 1500°C) використовувалися металізовані обкотиші, металізовані руди або їх суміші зі ступенем металізації 5-95 % крупністю 0-18 мм і тверде паливо (антрацит) крупністю 0-18 мм, попередньо оброблене для підвищення гідрофільності його поверхні, у співвідношенні між ними 10-90% металізованого матеріалу та 90-10% антрациту, залежно від заданих вмістів заліза та вуглецю у готовому

продукті. На їх поверхню накочувалась оболонка товщиною 8-4 мм з низькоосновної високотемпературної шихти, офлюсованої магнійвмісним флюсом, до досягнення крупності сирих обкотишів 8-25 мм.

Таблиця 1 – Технологічні показники залізородних матеріалів.

Показники	Промислові окусковані матеріали		Залізородна моносировина – локальні спіки	
	Промислові офлюсовані агломерати у різних країнах	Промислові неофлюсовані та офлюсовані котуни в різних країнах	Спіки 4. З підвищеним вмістом заліза та залишкового вуглецю без оболонки із шихти	Спіки 5. З підвищеним вмістом заліза та залишкового вуглецю з оболонкою із шихти 4
1	2	3	4	5
Питома продуктивність, т/(м <sup>2</sup> ·г)	1,1-1,4	0,8-1,2	1,1-1,67	1,1-1,7
Питома витрата теплоти, МДж/т	1947-2452	367-840	391-728	393-725
Питома витрата електроенергії, кВт г/т	43,1-71,3	38,7-69,5	37,4-59,5	37,2-59,3
Вміст, %:				
Fe <sub>общ.</sub>	51,2-64,1	61,5-65,8	63,5-74,8	65,3-75,6
FeO	9,1-15,6	1,3-5,4	8,4-15,7	7,6-13,2
SiO <sub>2</sub>	3,7-10,4	0,9-7,7	2,3-4,1	2,1-4,3
вуглець	0	0	1,6-2,5	1,9-3,8
Основність (CaO/SiO <sub>2</sub> ) готового продукту, д.од.	1,2-1,8	0,03-1,25	1,25-1,5	1,25-1,5
Вміст класів, %:				
60-100 мм	23,7-35,6	0	0	0
20-60 мм	34,3-55,9	0	83,9-71,8	84,5-74,1
5-20 мм	12,3-7,8	94,8-98,2	13,9-24,8	13,1-22,7
0-5 мм	20,4-8,1	5,2-1,8	2,2-3,4	2,4-3,2
Міцність на стискання, кН/ок. (ДСТУ ISO 4700:2005)	–	1,8-3,8	–	–

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5
Міцність у барабані, % (ДСТУ ISO 3271:2005): на удар (+5 мм) стираність (0-0,5мм)	57,4-93,1 13,6-2,6	92,4-97,1 5,8-1,1	96,0-96,5 3,2-2,7	95,8-96,6 2,8-3,1
Міцність при відновленні, % (ГОСТ 15575-84; ДСТУ 3202-95): міцність (+5 мм) стираність (0-0,5мм)	37,8-62,2 10,4-9,8	53,5-95,8 4,7-2,1	90,7-93,1 6,2-4,1	89,9-93,2 6,3-3,9
Газопроникність та усадка шару при відновленні, (ГОСТ 21707-76; ДСТУ 3205-95): усадка шару, % перепад тиску, Па	15-18 68-71	12-67 108-154	13-19 60-72	14-19 61-70
Кінцевий ступінь відновлення, % (ГОСТ 17212- 84; ДСТУ 3204-95)	65,1-96,0	72,8-91,4	85,3-87,1	85,8-87,4
Кут природного укусу, град.	38-41	23-32	36-42	37-42

Низькотемпературні обкотиші крупністю 8-14 мм виготовлялися з концентрату будь-якого ступеня збагачення і офлюсовувалися вапняком до високого ступеня, що забезпечує задану основність локальних спіків. Високо- і низькотемпературні сирі обкотиші змішувалися при вмісті в суміші, відповідно, суми перших 55-88%, а других – 45-12%.

Окислення дрібних частинок твердого палива (0-1,5 мм), що знаходяться в оболонці і не є зародками обкотишів, або металізованих обкотишів знижує вміст кисню в дифузійному всередину обкотишів теплоносія. Так ступінь вигорання вуглецю при збільшенні швидкості нагрівання та охолодження від 100 до 500-600°С/хв в окислювальній атмосфері термообробки знижувалася з 35,8 до 12,6 %, тоді як за відсутності оболонки ступінь вигорання вуглецю знижувалася з 61,7 до 33%. Таким чином, вміст заліза та вуглецю у локальних спіках 5 цієї моносировини, становило, 65,3-75,6 % та 1,9-3,8 % відповідно, тобто. вище, ніж у всіх розроблених раніше спіках (див. табл. 1).

Результати розрахунку показників доменної плавки при використанні цієї окускованої моносировини (табл. 2, спіки 5) показали збільшення продуктивності печі на 30,9 % та зниження питомої витрати коксу з 427 до 315 кг/т порівняно з базовим періодом роботи доменної печі обсягом 5000 м<sup>3</sup>.

Таблиця 2 – Розрахункові технологічні показники роботи доменної печі об'ємом 5000 м<sup>3</sup> при використанні в шихті офлюсованих локальних спіків різного складу.

Показники	Періоди *					
	Б <sup>2</sup>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>
Локальні спікання		1	2	3	4	5
Продуктивність, т/добу	9826					
Наведена продуктивність, т/добу	9826	11624	12587	11546	12607	12862
Витрата коксу, кг/т чавуну	426,8					
Наведена витрата коксу, кг/т чавуну	426,8	380	355	352	331	315
Вміст вуглецю в локальних спіках 3, %	0	0	0	2,65	2,05	2,85
Витрата залишкового вуглецю у локальних спіках, кг/т чавуну.	0	0	0	43,1	33,3	46,4
Вміст заліза у всій шихті 4, %	55,0	64,15	69,05	63,75	69,15	70,45
Витрати, кг/т:						
агломерат АЦ №1	134,4	0	0	0	0	0
агломерат АЦ №2	1192	0	0	0	0	0
обкотиші СевГОК	300,3	0	0	0	0	0
локальні спіки	0	1626,7	1626,7	1626,7	1626,7	1626,7
вапняк	0	0	0	0	0	0

\* Б – базовий період, P<sub>1</sub> – P<sub>5</sub> – розрахункові періоди роботи доменної печі (приведення за методикою [3]); 2 – найкращий період роботи печі з 2000 р. до впровадження на печі технології ПУТ у 2016 р. [4]; 3 – середні дані щодо вмісту вуглецю у локальних спіках з табл. 1; 4 – середні дані щодо вмісту заліза у локальних спіках з табл. 1.

Розроблено технологію виробництва окускованої залізородної моносивовини для доменної плавки, що має кращі характеристики агломерату та обкотишів, а також має у своєму складі одночасно підвищений вміст заліза та залишковий вуглець. Ця моносивовина може вироблятися в діючих цехах з виробництва обпалених окатишів, а її використання істотно поліпшить техніко-економічні показники виплавки чавуну (табл. 2).

### Висновки

Розроблено технологію виробництва окускованої залізородної моносивовини для доменної плавки, що має кращі характеристики

агломерату та обкотишів, а також має у своєму складі одночасно підвищений вміст заліза та залишковий вуглець. Ця моносировина може вироблятися в діючих цехах з виробництва обпалених окатишів, а її використання істотно поліпшить техніко-економічні показники виплавки чавуну

Питома продуктивність випалювального агрегату та питомі витрати енергоресурсів (теплоти та електроенергії) при виробництві окускованої моносировини залишилися практично ідентичними для виробництва інших локальних спіків. Розрахунки показують, що використання цього матеріалу в доменному виробництві дозволить суттєво покращити техніко-економічні показники виплавки чавуну.

### Перелік посилань

1. Лялюк В. П., Тараканов А. К., Журавлев Ф. М., Кассим Д. А., Чупринов Е. В. Главное направление инновационного совершенствования доменной технологии – использование одного вида железорудного сырья, сочетающего лучшие свойства агломерата и окатышей. *Сталь*. 2018. № 1. С. 6-11. <https://doi.org/10.3103/S0967091218010096>
2. Журавлев Ф. М., Лялюк В. П., Чупринов Е. В., Кассим Д. А., Ляхова И. А. Оффлюсованные локальные спеки – окускованное железорудное моносырье для доменной плавки. *Сталь*. 2021. № 3. С. 2-9. <https://doi.org/10.3103/S096709122103013X>
3. Товаровский И. Г., Лялюк В. П. Эволюция доменной плавки. Днепропетровск : Пороги, 2001. 424 с.
4. Лялюк В. П., Тараканов А. К., Кассим Д. А., Кучер И. И. Возможности нормализации газодинамического режима доменной плавки при вдувании ПУТ. *Сталь*. 2020. № 7. С. 8-12. <https://doi.org/10.3103/s0967091220070098>

### References

1. Lyalyuk V.P., Tarakanov A.K., Zhuravlev F.M., Kassim D.A., Chuprinov Ye.V. (2018). Glavnoye napravleniye innovatsionnogo sovershenstvovaniya domennoy tekhnologii – ispol'zovaniye odnogo vida zhelezorudnogo syr'ya, sochetayushchego luchshiyе svoystva aglomerata i okatyshey [The main direction of innovative improvement of blast furnace technology is the use of one type of iron ore raw material that combines the best properties of sinter and pellets]. *Stal' [Steel]*, 2018, 1, 6-11. [In Russian]. <https://doi.org/10.3103/S0967091218010096>
2. Zhuravlev F.M., Lyalyuk V.P., Chuprinov Ye.V., Kassim D.A., Lyakhova I.A. (2021). Ofl'yusovannyye lokal'nyye speki – okuskovannoye zhelezorudnoye monosyr'ye dlya domennoy plavki [Fluxed local sinters - agglomerated iron ore mono raw material for blast-furnace smelting]. *Stal' [Steel]*, 2021, 3, 2-9. [In Russian]. <https://doi.org/10.3103/S096709122103013X>
3. Tovarovskiy I.G., Lyalyuk V.P. (2001). *Evol'yutsiya domennoy plavki [Evolution of blast-furnace melting]*. Dnepropetrovsk: Porogi, 2001, 424. [In Russian].

4. Lyalyuk V.P., Tarakanov A.K., Kassim D.A., Kucher I.I. (2020). Vozможnosti normalizatsii gazodinamicheskogo rezhima domennoy plavki pri vduvanii PUT [Possibilities for normalizing of the gasdynamic mode of blast melting with pulverized coal injection]. *Stal' [Steel]*, 2020, 7, 8-12. [In Russian]. <https://doi.org/10.3103/s0967091220070098>

**O. V. Chuprinov**, Ph.D., Associate Professor, ORCID 0000-0001-8605-3434

**V. P. Lyaluk**, Doctor of Technical Sciences, Prof., ORCID 0000-0001-7258-2079

**F. M. Zhuravlev**, Ph.D., Associate Professor, ORCID 0000-0001-9280-6316

**D. A. Kassim**, Doctor of Technical Sciences, Prof., ORCID 0000-0002-1750-1237

**I. A. Lyakhova**, Ph.D., Associate Professor, ORCID 0000-0001-7589-87351

*Educational and Scientific Technological Institute of GUET, Kryvyi Rih*

## **DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR THE PRODUCTION OF IRON ORE MONORAW FOR BLAST FURNACE SMELTING**

**Summary.** The aim of the work is to develop and test technological regimes for obtaining new types of shelled iron ore materials and mono-raw materials for blast furnace smelting. It is shown that the traditional ways to improve the technology of blast furnace smelting to increase the productivity of the furnace and reduce the specific consumption of coke have largely exhausted their potential. At the same time, the creation of pelleted iron ore mono-raw material with the necessary indicators of the complex of metallurgical characteristics provides additional opportunities to reduce energy costs during blast furnace smelting. The article presents the results of the developed technology for the production of pelleted iron ore monoproduct for blast furnace smelting, which has at the same time a high content of iron and residual carbon. The authors developed new types of iron ore raw materials - fluxed local spikes from iron ore concentrates of different degrees of enrichment, local spikes with increased compared to agglomerate and pellets, iron content and local spikes with high residual carbon content. To obtain local heat, as a high-temperature part of the charge, metallized rolls, metallized ores or mixtures thereof were used. It is shown that the proposed mono-raw material can be produced in existing shops for the production of fired rolls, and can significantly improve the technical and economic performance of pig iron smelting. The components of the charge were mixed, after which the mixture was subjected to heat treatment with a gaseous coolant with oxidizing or weakly oxidizing potential. The specific productivity of the combustion unit and the specific costs of energy resources (heat and electricity) in the production of scuffed mono-raw materials remained almost identical for the production of other local heat. The results of the calculation of blast furnace smelting indices when using in its charge flaked fluxed mono-raw material with high iron and carbon content are presented. Calculations show that the use of this material in blast furnace production will significantly improve the technical and economic performance of pig iron smelting.

*«Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії». – 2021. – Випуск 35*

*«Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii». – 2021. – Vypusk 35*

*«Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy». – 2021. – Collection 35*



**Keywords:** monoraw material, local spikes, residual carbon, consumption of coke, blast furnace smelting.

**For citation:** *Chuprinov O.V., Lyalyuk V.P., Zhuravlyov F.M., Kasim D.A., Lyakhova I.A. Rozrobka tekhnolohiyi vyrobnytstva zalizorudnoyi monosyrovyny dlya domennoyi plavky [Development of technology for the production of iron ore monoraw for blast furnace smelting]. Fundamental'nye i prikladnye problemy černoj metallurgii [Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy], 2021, 35, 69-77. (In Ukrainian). DOI 10.52150/2522-9117-2021-35-69-77*

*Стаття надійшла до редакції збірника 10.12.21 року,  
пройшла внутрішнє і зовнішнє рецензування  
(Протокол засідання редакційної колегії  
збірника № 4 від 22 грудня 2021 року)*