

4. G.V. Bergeman, I.V. Pelykh, and V.A. Petrenko, «Problemi kalybrovki metallurhicheskogo myneralnoho siria – yzvestniaka» [«Issues of calibrating metallurgical mineral raw materials – limestone»], *Metall y lyte Ukrayni – Metal and Casting of Ukraine*, no. 5, pp. 5-8, 2008. (Rus.)
5. P.S. Bernik, O.N. Omelyanov, and I.P. Palamarchuk, «Razrabotka vybrohrokhota s prostranstvennyy kolebanyamy rabochykh orhanov» [«Development of a vibrating screen with spatial oscillations of working elements»], *Vybratsyy v tekhnike y v tekhnolohiyakh – Vibrations in Engineering and Technology*, no. 2(6), pp. 8-13, 1998. (Rus.)
6. E.N. Skladonovsky, V.G. Balanov, and G.E. Nekhaev, «Koksovii hrokhota s rezynovimy sytamy» [«Coke screen with rubber sieves»], *Metallurhicheskaya y hornorudnaya promishlennost – Metallurgical and Mining Industry*, no. 4, pp. 68-69, 1990. (Rus.)
7. C. Yu, X. Wang, K. Pang, G. Zhao, and W. Sun, «Dynamic Characteristics of a Vibrating Flip-Flow Screen and Analysis for Screening 3 mm Iron Ore», *Shock and Vibration*, vol. 2020, pp. 1-12, 2020. doi: 10.1155/2020/1031659.
8. L.I. Slepian, and V.I. Slepian, «Coupled mode parametric resonance in a vibrating screen model», *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 43, no. 1-2, pp. 295-304, 2014. doi: 10.1016/j.ymssp.2013.10.001.
9. V.I. Zaselsky, G.L. Zaitsev, and E.I. Kitach, «Promishlennye issledovaniya raboti rezoniruyushchykh proseyvaiushchykh poverkhnostey» [«Industrial Studies on the Performance of Resonating Sieving Surfaces»], *Teoriya y praktika metallurhyy – Theory and Practice of Metallurgy*, no. 5-6, pp. 15-18, 2009. (Rus.)
10. V.N. Poturaev, V.P. Naduty, A.A. Goldin, and V.D. Baranenko, «Povisheniye effektivnosti klassyfykatsyy koksa za schet yspolzovaniya aktivnykh rabochykh poverkhnostey vybrohrokhotov» [«Improving the efficiency of coke classification through the use of active working surfaces of vibrating screens»], *Metallurhicheskaya y hornorudnaya promishlennost – Metallurgical and Mining Industry*, no. 2, pp. 48-49, 1991. (Rus.)
11. S.G. Longo. Principles and Applications of Dimensional Analysis and Similarity. Parma, Italy: Springer Cham, 2021. 428 p. doi: 10.1007/978-3-030-79217-6.
12. G. Upton, and I. Cook, *Understanding Statistics*. USA: Oxford University Press, 2003.
13. D.S. Moore, *Introduction to the Practice of Statistics*, 6th ed. New York, USA: W.H. Freeman and Company Publ., 2009.
14. B. Maxfield, *Engineering with Mathcad*. Great Britain: Elsevier, 2006.

Стаття надійшла 18.11.2024

Стаття прийнята 03.12.2024

УДК 622.781

doi: 10.31498/2225-6733.49.1.2024.321239

© Чупринов Є.В.¹, Кассім Д.О.², Швед С.В.³, Реков Ю.В.⁴

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ОКАТИШІВ ДЛЯ МЕТАЛІЗАЦІЇ ШЛЯХОМ УПРАВЛІННЯ РОЗМІРОМ ДОННОЇ І БОРТОВОЇ ПОСТІЛІ

Відмічено, що істотним резервом покращення процесів термозміцнення окатишів є удосконалення газодинамічних процесів, що відбуваються в шарі окатишів, та

¹ канд. техн. наук, доцент, Навчально-науковий технологічний інститут Державного університету економіки і технологій, м. Кривий Ріг, ORCID: 0000-0001-8605-3434, itchupa@gmail.com

² д-р техн. наук, професор, Навчально-науковий технологічний інститут Державного університету економіки і технологій, м. Кривий Ріг, ORCID: 0000-0002-1750-1237, kassim@duet.edu.ua

³ канд. техн. наук, доцент, Навчально-науковий технологічний інститут Державного університету економіки і технологій, м. Кривий Ріг, ORCID: 0000-0003-2169-8893, shved_sv@duet.edu.ua

⁴ канд. техн. наук, доцент, Технічний університет «Метінвест Політехніка», м. Запоріжжя, ORCID: 0009-0006-0318-0168, yuriy.rekov@mipolytech.education

проаналізовані останні роботи, присвячені цьому напрямку. Розроблена технологія, сутність якої полягає в тому, що в якості донної і бортової постілі використовуються тільки окатиші діаметром на 1-3 мм більше максимального діаметру придатної фракції обпалених окатишів. Проведені лабораторні дослідження щодо відпрацювання запропонованої технології. З підготовленої шихти виготовляли сирі окатиші крупністю, що забезпечувало отримання з них обпалених окатишів фракції 9-15 мм і виділення з них донної і бортової постілі +15 мм. Результати досліджень показали, що питома продуктивність обпалювального агрегату при термозміцненні сирих окатишів за розробленою технологією практично не відрізняється від прийнятої в промисловості, проте міцність на удар і стирання при відновленні у придатної фракції обпалених окатишів, отриманих за запропонованою технологією, істотно краще, ніж за існуючими.

Ключові слова: залізородні окатиші, металізація, донна і бортова постіль, термозміцнення, міцність, відновлення, доменна піч.

Ye.V. Chuprynov, D.O. Kassim, S.V. Schved, Yu.V. Rekov. Improving the quality of pellets for metallization by controlling the size of the bottom and side bed. It was noted that the improvement of the gas dynamic processes occurring in the layer of pellets is a significant reserve for the improvement of the processes of thermal strengthening of the pellets and the latest works devoted to this direction were analyzed. The experience of foreign enterprises has confirmed that the use of pellets of a slightly larger size for the formation of the bottom and side beds improves the metallurgical characteristics of the finished products. An improvement of the overall gas-dynamic picture of the process due to the optimization of the bed size was noted. The closest technological solution to the separation of the bottom and side beds was analyzed, in which the fired pellets, the average diameter of which exceeds the average diameter of the raw pellets by 1.08-1.75 times, are isolated. The found drawback of this technology is that when using this method at a minimum factor of 1.08, the average bed pellet size will be 12.96 mm. Thus, about 57% (from their maximum size of 15 mm) of fired pellets of the bottom and side bed, which have undergone repeated high-temperature heating and have a decrystallized iron-silicate bond of ore grains, will be included in the finished products. The technology was developed, the essence of which is that only pellets with a diameter of 1-3 mm larger than the maximum diameter of the suitable fraction of fired pellets are used as bottom and side bedding. Laboratory studies have been carried out to develop the proposed technology. From the prepared charge, raw pellets were made with a grain size that ensured the production of fired pellets of fraction 9-15 mm and the separation of bottom and side bed +15 mm from them. The degree of pellet shrinkage and their final size were taken into account for the conditions of further metallization. Experimental sintering was performed in a firing bowl with a cross-sectional diameter of 300 mm and a layer height of 400 mm. The research results showed that the specific productivity of the firing unit during heat hardening of raw pellets according to the developed technology practically does not differ from that adopted in industry, however, the impact and abrasion resistance when recovering the fired pellets obtained using the proposed technology in a suitable fraction is significantly better than the existing ones. It has been proven that improving the strength characteristics of fired pellets in the process of their recovery in a mine furnace for metallization is quite possible without costly reconstructions and significant capital investments.

Keywords: iron ore pellets, metallization, bottom and side bedding, heat hardening, strength, recovery, blast furnace.

Постановка проблеми. Виробництво залізородних окатишів для металізації (DRI-окатиші) вимагає більш жорстких підходів до якості сировини, властивостей вихідної продукції та контролю над технологічним процесом. На українських металургійних підприємствах, які опановують виробництво окатишів для металізації, основним мірилом потенційної якості продукції для подальшої металізації є вміст заліза. В той же час, спектр металургійних властивостей хоч і

є не менш важливим фактором, що впливає на якість продукції, проте методи його покращення відповідають методам, які застосовуються для звичайних окислених окатишів, що направляються в доменні печі. Таким чином, втрачається суттєвий потенціал поліпшення властивостей DRI-окатишів, якщо не впроваджувати додаткові механізми управління процесом термозміцнення.

Важливими елементами процесу термозміцнення залізорудних окатишів є донна та бортова постіль, які виготовляються з готових обпалених окатишів та становлять 30-35 % від загальної маси готової продукції. Істотним недоліком використання обпалених окатишів для постілі є їх повторне нагрівання до 900-1300°C. Це призводить до розкристалізації скляної заліzosилікатної зв'язки рудних зерен, яка забезпечує міцність окатишів при відновленні. Внаслідок цього утворюється значна кількість дріб'язку після завантаження окатишів у доменну піч [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Донна та бортова постіль є обов'язковими елементами сучасної технології термозміцнення залізорудних окатишів [2]. Як уже відмічалось раніше [1], в науковому середовищі є прогалина, яка стосується досліджень щодо оптимального розміру бортової та донної постілі, що пов'язано з підходом, при якому вона розглядається як частина процесу та нехтуються фізико-хімічні процеси, що відбуваються з постіллю.

На сьогоднішній день істотним резервом покращення процесів термозміцнення окатишів є удосконалення газодинамічних процесів, що відбуваються в шарі окатишів. Цьому напрямку присвячена велика кількість робіт, враховуючи, що за останні десятиліття суттєвих революційних змін в технології та обладнанні не відбулось [3, 4].

В дослідженні [5] на основі промислової роботи обпалювальної конвеєрної машини продуктивністю 4,2 млн тонн на рік був виконаний аналіз властивостей окатишів різного розміру (від 8 до 16 мм). Показано, що використання окатишів трохи більшого розміру для формування донної та бортової постілі покращує металургійні характеристики готової продукції.

Покращення загальної газодинамічної картини процесу за рахунок оптимізації розміру постілі відмічається і в роботі [6]. Важливість контролю та управління крупністю окатишів, в тому числі і для подальшої металізації, відмічається в цілому ряді інших робіт [7-12].

Окремої уваги заслуговує математична модель [13], яка симулює процес сушки та термозміцнення залізорудних окатишів, враховуючи пористість загального шару. В основі моделі лежать закони масо- і теплообміну, фізичних процесів і хімічних реакцій, що відбуваються під час обпалення.

В печах для металізації використовують обпалені окатиші з меншим максимальним діаметром 9-15 мм (середній діаметр дорівнює 12 мм). При застосуванні найближчої відомої технології [14], для донної постілі виділяють обпалені окатиші, середній діаметр яких перевищує в 1,08-1,75 рази середній діаметр сирих окатишів. В цьому випадку за мінімальним коефіцієнтом це буде складати 12,96 мм і в готову продукцію потрапить близько 57% (від їх максимального розміру 15 мм) обпалених окатишів донної і бортової постілі, які пройшли повторний високотемпературний нагрів, з розкристалізованою заліzosилікатною зв'язкою рудних зерен і, відповідно, з низькою міцністю при відновленні, що після завантаження окатишів в піч призведе до порушення її газодинамічного режиму і зниження техніко-економічних показників роботи: зменшення продуктивності печі і погіршення гранулометричного складу металізованих окатишів – збільшення дріб'язку із зруйнованих окатишів. За максимальним коефіцієнтом – 21 мм (перевищення на 6 мм від максимального розміру обпалених окатишів) окатиші для донної і бортової постілі в готовій продукції просто відсутні і постіль необхідно буде отримувати в окремому агрегаті, що практично нераціонально.

Мета статті – розробка технологічних рішень по недопущенню потрапляння в готову продукцію залізорудних окатишів для металізації з розкристалізованою заліzosилікатною зв'язкою рудних зерен і, відповідно, з низькою міцністю при відновленні, а також спрощення технології виділення постілі.

Виклад основного матеріалу. Для вирішення даної проблеми була розроблена технологія, сутність якої полягає в тому, що в якості донної і бортової постілі використовуються тільки обпалені окатиші діаметром на 1-3 мм більше діаметру, який обмежує максимальний діаметр придатної фракції обпалених окатишів.

Для відпрацювання запропонованої технології були проведені лабораторні дослідження. З підготовленої шихти виготовляли сирі окатиші крупністю, що забезпечувало отримання з них обпалених окатишів фракції 9-15 мм і виділення з них донної і бортової постілі +15 мм. При цьому враховували, що в процесі термозміцнення при максимальній температурі обпалення до 1300°C ступінь усадки окатишів, в залежності від складу окатишів для металізації з гранично багатого концентрату і низькою основністю, становить 1-5%. Термозміцнення окатишів здійснювали в обпалювальній чаші діаметром живого перетину 300 мм і висотою 500 мм (висота донної постілі складала 100 мм, бортової постілі – 70 мм, а загальна висота шару – 400 мм).

Результати випробувань наведені в таблиці, з якої видно, що питома продуктивність обпалювального агрегату при термозміцненні сирих окатишів за розробленою технологією практично не відрізняється від прийнятої в промисловості.

Таблиця

Порівняння показників якості окатишів, отриманих за діючою та розробленою технологіями

Показники	Діюча технологія	Технологія згідно [14]	
		$k_{\min} = 1,08$	$k_{\max} = 1,75$
Питома продуктивність ОКМ, т/м ² ·год	0,96	0,96	0,91
Міцність на стиск окатишів, кг/ок (ДСТУ ISO 4700:2005)	237	233	235
Міцність при відновленні (+6,3 мм), % (ДСТУ ISO 4700:2005)	63,4	62,9	66,7
Стиранність при відновленні (-5) мм, % (ДСТУ ISO 4700:2005)	9,3	9,4	8,7
Ступінь відновлення, % (ДСТУ ISO 7215:2007)	88,5	88,6	86,7

Продовження таблиці

Показники	Розроблена технологія		
	+15 мм		
	15-16 мм	15-18 мм	15-20 мм
Питома продуктивність ОКМ, т/м ² ·год	0,97	0,97	0,96
Міцність на стиск окатишів, кг/ок (ДСТУ ISO 4700:2005)	235	236	234
Міцність при відновленні (+6,3 мм), % (ДСТУ ISO 4700:2005)	87,3	86,4	86,2
Стиранність при відновленні (-5) мм, % (ДСТУ ISO 4700:2005)	3,4	3,7	3,8
Ступінь відновлення, % (ДСТУ ISO 7215:2007)	89,4	89,1	88,2

Виняток становить лише випадок використання максимального (1,75) коефіцієнта крупності, при якому продуктивність трохи нижче. Аналогічні тенденції має і показник міцності на стиск обпалених окатишів за розробленою технологією та існуючою. А ось міцність на удар і стирання при відновленні у придатної фракції обпалених окатишів, отриманих за запропонованою технологією, істотно краще, ніж за існуючими, так як вони не проходили повторного високотемпературного нагріву і мають залізоокисну зв'язку рудних зерен. В окатишах ж, обпалених за існуючими способами, в значній частині залізоокисна зв'язка розкристалізована, що тягне за собою їх більше руйнування при відновленні. Ступінь відновлення обпалених за розробленим способом окатишів незначно вище, ніж за відомими, але для процесу металізації це важливо.

В промислових умовах реалізація запропонованої технології можлива без реконструкції основного технологічного обладнання та суттєвих капіталовкладень. Єдині конструктивні зміни, які потребуються – це зміна величини отворів деяких зон існуючих грохотів. Виходячи з

виробництва максимального розміру придатної фракції обпалених окатишів 15 мм і певної експериментально визначеної величини її зменшення за рахунок усадки (зазвичай в діапазоні 1-5%), отвори сита для виділення придатного класу з сирих окатишів повинні бути більше на 0,2-0,8 мм максимального розміру обпалених окатишів. Таким чином, визначають необхідний діаметр вихідних сирих окатишів, щоб в процесі їх термозміцнення отримати максимальний діаметр обпалених окатишів на 1-3 мм більше максимального діаметра придатної фракції. Таким чином, максимальний діаметр сирих окатишів повинен бути, з урахуванням максимального діаметра придатної фракції обпалених окатишів і діапазону величини усадки, відповідно, від 16,2-18,2 до 16,8-18,8 мм. Після термозміцнення з обпалених окатишів виділяють послідовно на грохоті наступні фракції: 0-9 мм – дріб'язок у зворот; 9-15 мм – придатна фракція готової продукції; +15 мм – донна і бортова постіль.

Таким чином, розроблена технологія дозволяє істотно поліпшити характеристики міцності обпалених окатишів в процесі їх відновлення в шахтній печі для металізації, що призводить до поліпшення техніко-економічних показників роботи печі.

Висновки

1. Відмічено покращення загальної газодинамічної картини процесу за рахунок оптимізації розміру постілі. Проаналізовано найближче технологічне рішення щодо виділення донної та бортової постілі, при якому виділяють обпалені окатиші, середній діаметр яких перевищує в 1,08-1,75 рази середній діаметр сирих окатишів. Знайдений недолік цієї технології, при якому в готову продукцію потрапить близько 57% (від їх максимального розміру 15 мм) обпалених окатишів донної і бортової постілі, які пройшли повторний високотемпературний нагрів та мають розкристалізовану залізісилікатну зв'язку рудних зерен.

2. Розроблена технологія, сутність якої полягає в тому, що в якості донної і бортової постілі використовуються тільки окатиші діаметром на 1-3 мм більше максимального діаметру придатної фракції обпалених окатишів. Проведені лабораторні дослідження щодо відпрацювання запропонованої технології. Дослідні спікання виконували в обпалювальній чаші діаметром живого перетину 300 мм і висотою шару 400 мм.

3. Результати досліджень показали, що питома продуктивність обпалювального агрегату при термозміцненні сирих окатишів за розробленою технологією практично не відрізняється від прийнятої в промисловості, проте міцність на удар і стирання при відновленні у придатної фракції обпалених окатишів, отриманих за запропонованою технологією, істотно краще, ніж за існуючими.

4. Доведено, що поліпшення характеристик міцності обпалених окатишів в процесі їх відновлення в шахтній печі для металізації цілком можливо без вартісних реконструкцій та суттєвих капіталовкладень.

Перелік використаних джерел:

1. Чупринов Є. В., Кассім Д. О., Реков Ю. В. Дослідження можливості підвищення якості окатишів за рахунок кращого методу підготовки донної та бортової постілі. *Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки*. 2024. Вип. 48. С. 47-52. DOI: <https://doi.org/10.31498/2225-6733.48.2024.310674>.
2. De Moraes S. L., De Lima J. R. B., Ribeiro T. R. Iron Ore Pelletizing Process: An Overview. *Iron Ores and Iron Oxide Materials*. 2018. URL: <https://doi.org/10.5772/intechopen.73164>.
3. Ljung A.-L., Lundström T. S., Tano K. Simulation of heat transfer and fluid flow in a porous bed of iron ore pellets during up-draught drying. *Proceedings of the 5-fth International Conference on CFD in the Process Industries*, Melbourne, Australia, 13-15 December 2006. Pp. 1-6.
4. Ljung A.-L., Lundström T. S., Tano K. Fluid flow and heat transfer within and around a porous pellet placed in infinite space. *Proceedings of the 19th International Symposium on Transport Phenomena*, Reykjavik, Island, 17-21 August 2008. Pp. 1-7.
5. Effect of Iron Ore Pellet Size on its Properties and Microstructure / T. Uma et al. *Steel research international*. 2009. Vol. 80. Iss. 10. Pp. 709-716. DOI: <https://doi.org/10.2374/SRI08SP169>.

6. Kim G., Pistorius P. C. Strength of Direct Reduced Iron Following Gas-Based Reduction and Carburization. *Metallurgical and Materials Transactions B*. 2020. Vol. 51. No. 6. P. 2628-2641. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11663-020-01958-x>.
7. Vision-based size classification of iron ore pellets using ensembled convolutional neural network / A. J. Deo, A. Sahoo, S. K. Behera, D. P. Das. *Neural Computing and Applications*. 2022. Vol. 34. Pp. 18629-18641. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00521-022-07473-1>.
8. Satyan Patra A., Rayasam V. Pelletization of iron ore fines with parameter optimization through box-behnken design. *Material Science & Engineering International Journal*. 2018. Vol. 2(6). Pp. 287-292. DOI: <https://doi.org/10.15406/mseij.2018.02.00072>.
9. Thella J. S., Venugopal R. Modeling of iron ore pelletization using 3 ** (k-p) factorial design of experiments and polynomial surface regression methodology. *Powder Technology*. 2011. Vol. 211. No. 1. Pp. 54-59. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2011.03.027>.
10. Influence of Pellet Size on Quality and Microstructure of Iron Ore Pellets / S. Dwarapudi, T. U. Devi, S. M. Rao, M. Ranjan. *ISIJ International*. 2008. Vol. 48. No. 6. Pp. 768-776. DOI: <https://doi.org/10.2355/isijinternational.48.768>.
11. Effect of Iron Ore Pellet Size on Metallurgical Properties / M. Iljana et al. *Metals*. 2022. Vol. 12. No. 2. Article 302. DOI: <https://doi.org/10.3390/met12020302>.
12. Influence Of Iron Ore Pellet Size On Some Properties Of Sponge Iron In Midrex Technology / M. Javaheri et al. *Exploratory Materials Science Research*. 2023. Vol. 4. No. 2. P. 122-124. DOI: <https://doi.org/10.47204/emsr.4.2.2023.122-124>.
13. Tan S., Peng J., Shi H. Modeling and simulation of iron ore pellet drying and induration process with accurate bed void fraction calculation. *Drying Technology*. 2015. Vol. 34. No. 6. Pp. 651-664. DOI: <https://doi.org/10.1080/07373937.2015.1070357>.
14. Способ обжига окатышей на конвейерной машине: а.с. 1010144 СССР: МПК C22B1/20. № 3332634/22-02; заявл. 23.07.81; опубл. 07.04.83, Бюл. № 13. 4 с.

References:

1. Ye.V. Chuprynov, D.O. Kassim, and Yu.V. Rekov, «Doslidzhennia mozhlyvosti pidvyshchennia yakosti okatyshiv za rakhunok krashchoho metodu pidhotovky donnoi ta bortovoi postili» [«Study of the possibility of improving the quality of pellets through a better method of bottom and side bed preparation»], *Visnyk Pryazovskoho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu. Serii: Tekhnichni nauky – Reporter of the Priazovskyi State Technical University. Section: Technical sciences*, vol. 48, pp. 47-52, 2024. doi: **10.31498/2225-6733.48.2024.310674**. (Ukr.)
2. S.L. de Moraes Moraes, J.R.B. de Lima, and T.R. Ribeiro, «Iron Ore Pelletizing Process: An Overview», *Iron Ores and Iron Oxide Materials*, 2018. doi: **10.5772/intechopen.73164**.
3. A.-L. Ljung, T.S. Lundström, and K. Tano, «Simulation of heat transfer and fluid flow in a porous bed of iron ore pellets during up-draught drying», in Proc. of the 5th Int. Conf. on CFD in the Process Industries, Melbourne, Australia, 2006, pp. 1-6.
4. A.-L. Ljung, T.S. Lundström, and K. Tano, «Fluid flow and heat transfer within and around a porous pellet placed in infinite space», in Proc. of the 19th Int. Symposium on Transport Phenomena, Reykjavik, Island, 2008.
5. T. Uma, P. Kumar, N. Lobo, P. B. Mahapatra, M. Prabhu, and M. Ranjan, «Effect of Iron Ore Pellet Size on its Properties and Microstructure», *Steel research international*, vol. 80, iss. 10, pp. 709-716, 2009. doi: **10.2374/SRI08SP169**.
6. G. Kim, and P.C. Pistorius, «Strength of Direct Reduced Iron Following Gas-Based Reduction and Carburization», *Metallurgical and Materials Transactions B*, vol. 51, no. 6, pp. 2628-2641, 2020. doi: **10.1007/s11663-020-01958-x**.
7. A.J. Deo, A. Sahoo, S.K. Behera, and D.P. Das, «Vision-based size classification of iron ore pellets using ensembled convolutional neural network», *Neural Computing and Applications*, vol. 34, pp. 18629-18641, 2022. doi: **10.1007/s00521-022-07473-1**.
8. A. Satyan Patra, and V. Rayasam, «Pelletization of iron ore fines with parameter optimization through box-behnken design», *Material Science & Engineering International Journal*, vol. 2(6), pp. 287-292, 2018. doi: **10.15406/mseij.2018.02.00072**.
9. J.S. Thella, and R. Venugopal, «Modeling of iron ore pelletization using 3 ** (k-p) factorial design

- of experiments and polynomial surface regression methodology», *Powder Technology*, vol. 211, no. 1, pp. 54-59, 2011. doi: [10.1016/j.powtec.2011.03.027](https://doi.org/10.1016/j.powtec.2011.03.027).
10. S. Dwarapudi, T. U. Devi, S. M. Rao, and M. Ranjan, «Influence of Pellet Size on Quality and Microstructure of Iron Ore Pellets», *ISIJ International*, vol. 48, no. 6, pp. 768-776, 2008. doi: [10.2355/isijinternational.48.768](https://doi.org/10.2355/isijinternational.48.768).
11. M. Iljana, T. Paananen, O. Mattila, M. Kondrakov, and T. Fabritius, «Effect of Iron Ore Pellet Size on Metallurgical Properties», *Metals*, vol. 12, no. 2, article 302, 2022. doi: [10.3390/met12020302](https://doi.org/10.3390/met12020302).
12. M. Javaheri, A. Yarahmadi, H. Salari, M. Salari, E. Musaeipoor, and B. Azartoos, «Influence Of Iron Ore Pellet Size On Some Properties Of Sponge Iron In Midrex Technology», *Exploratory Materials Science Research*, vol. 4, no. 2, pp. 122-124, 2023. doi: [10.47204/emsr.4.2.2023.122-124](https://doi.org/10.47204/emsr.4.2.2023.122-124).
13. S. Tan, J. Peng, H. Shi, «Modeling and simulation of iron ore pellet drying and induration process with accurate bed void fraction calculation», *Drying Technology*, vol. 34, no. 6, pp. 651-664, 2015. doi: [10.1080/07373937.2015.1070357](https://doi.org/10.1080/07373937.2015.1070357).
14. F.A. Riabokon, «Sposob obzhyha okatyshnei na konveiernoi mashyne» [«Method of firing pellets on a conveyor machine [Sposob obzhiga okatishei na konveiernoi mashine]», *USSR certificate of authorship 1010144*, Apr. 7, 1983. (Rus.)

Стаття надійшла 07.08.2024

Стаття прийнята 28.08.2024

УДК 669.182.71

doi: [10.31498/2225-6733.49.1.2024.321241](https://doi.org/10.31498/2225-6733.49.1.2024.321241)

© Бакланський В.М.¹, Каргін С.Б.², Хвостов Д.В.³

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ КОНВЕРТЕРНОЇ ПЛАВКИ ІЗ ЗАМІНОЮ ЧАСТИНИ ВАПНА КІНЦЕВИМ КОНВЕРТЕРНИМ ШЛАКОМ І ВАПНЯКОМ

Об'єктом дослідження є технологія ведення конвертерної плавки із заміною частини вапна вапняком і кінцевим конвертерним шлаком. Ціль роботи: визначення технологічної можливості ведення конвертерної плавки із заміною частини вапна вапняком і кінцевим конвертерним шлаком. У результаті проведеної роботи виконані літературний аналіз питання заміни вапна в киснево-конвертерному процесі іншими шлакоутворюючими матеріалами, лабораторні дослідження з визначенням розчинності вапна в конвертерному шлаку з різною кількістю недопалу від 2,20 до 38,10%. Доведено, що оксид вуглецю, що виділяється, при дисоціації вапняку, руйнуючи скоринку, сприяє розчиненню вапна. При використанні матеріалів, що містять СаО, кращі властивості, що рафінують, мали шлаки плавки при застосуванні чистого слабо обожненого доломіту в кількості більш 3 т на плавку. Присадки доломіту забезпечували зниження витрати плавикового шпату на 0,7 кг/т сталі й досить високий ступінь обезсірювання (38,3%), разом з тим вміст фосфору був трохи вище, чим на звичайних плавках, хоча й не перевищувало меж ДСТ. Експериментально встановлено, що застосування вапна з різним ступенем випалу, заміна частини вапна вапняком, а також заміна частини вапна вапняком і кінцевим конвертерним шлаком не вносить особливих змін у ведення технології конвертерної плавки. Розроблені рекомендації в ТІ 232-143-96 за технологією конвертерної плавки з використанням вапняку й кінцевого конвертерного шлаку.

¹ канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, ORCID: 0009-0000-4437-562X, Baklanskiy_v_m@pstu.edu

² канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, ORCID: 0000-0002-8102-4578, kargin_s_b@pstu.edu

³ перший заступник генерального директора, ПрАТ «Дніпровський металургійний завод», м. Дніпро