

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2024.01.019

ВПЛИВ РУДНОВУГІЛЬНИХ КОМПОЗИЦІЙ У СКЛАДІ ШИХТИ НА ФОРМУВАННЯ ТЕРМІЧНО РЕЗЕРВНОЇ ЗОНИ ДОМЕННОЇ ПЕЧІ

Ванюков А.А.¹., Камкіна Л.В.¹., Іващенко В.П.¹., Мянговська Я.В.¹., Сазонов П.О.².

Український державний університет науки і технологій

Дніпростандартметрологія

Анотація. *Об'єкт дослідження – технологія виплавки чавуну при застосуванні рудновугільних композицій. Мета роботи – вплив змінення складу доменної шихти на тепловий стан формування термічно резервної зони. Методи дослідження – теоретичні дослідження базуються на основних положеннях фізичної хімії і теорії металургійних процесів. Експериментальні дослідження проведено в лабораторних та промислових умовах. Наукова новизна – між відновленням та газифікацією “coupling phenomenon” існує – це тісний контакт між дрібними частинками оксидів заліза та вуглецю, який формується в рудо-вугільному композиті, що забезпечує підвищення ефективності доменної плавки. Скорочення витрати палива та відповідно кількості газів на одиницю шихти сучасної доменної плавки, скорочується висота резервної зони; не спостерігається цієї зони і у вертикальних елементах печі з максимальним рудним навантаженням. Практична значимість – застосування рудовугільних композицій забезпечує високу швидкість реакцій відновлення заліза і газифікації вуглецю і низьку початкову температуру газифікації вуглецю 250-420°C, що забезпечується рециркуляцією газу в обкотині, завдяки короткій відстані між частинами залізовмісних та вуглецевих композитів та їх розмірів, де відстань між ними коротка і межа реакції «видима» одним і іншим.*

Ключові слова: *доменна піч, термічно резервна зона, рудовугільні композити, відновлення, реакція газифікації вуглецю, реакційна здатність вуглецю*

Вступ. До найбільш важливих зон доменної печі відноситься зона коксової насадки, термічно резервна зона, які виконують роль своєрідного буфера та згладжують недоліки, що виникають, і цим забезпечують високу стабільність доменного процесу. Експериментальні дані про розподіл температур за висотою доменної печі дозволили встановити, що в міру скорочення витрати палива та відповідно кількості газів на одиницю шихти сучасної доменної плавки, скорочується висота резервної зони. Не спостерігається цієї зони і у вертикальних елементах печі з максимальним рудним навантаженням.

Аналіз наукової інформації. Розрахунок О.М. Рама для реальних сучасних умов доменної плавки дає величину мінімальної різниці температур газу та шихти в середній зоні 50-150°C. Прямі виміри Н.І. Красавцева одні з доменних печей показали аналогічну величину у різних точках радіуса шахти 30-150°C. Як і у М.А. Павлова, ці дані свідчать про уповільнення зміни температури в цій зоні. При зондуванні печі І.Г. Товаровський та В.П. Лялюк [1], зазначають, що чим ближче вертикаль зонда до перефірії, тим більше вимір йде у бік нижчих температур і тим яскравіше "ілюзія" уповільнення швидкості збільшення температур по висоті печі, тобто є наявність термічно резервної зони у вигляді ізотермічної ділянки висоти.

Таким чином, термічно "резервна зона" виникає як правило в середній зоні доменної печі в зоні уповільненого теплообміну. Саме в цій зоні знаходиться вюстит і при його відновлення утворюється CO₂, при цих температурах в цій зоні не відбувається газифікація вуглецю. Очевидно, термічно резервна зона виникла, щоб її резерви використовувати для зниження температур нижче 1000°C і з одночасним відновленням FeO з подальшою газифікацією вуглецю із суттєвим поглинанням теплоти та зниженням температури в термічно резервній зоні доменної печі. Доцільно використовувати цей обсяг печі термічно резервної зони, з метою завершення підготовки шихти для високотемпературних процесів розплавлення чавуну та шлаку [1-4].

Отримання рудо вугільних композитів в даний час є досить широко відомим способом підготовки залізорудної сировини у вигляді рудовугільних композицій [2]. При їх використанні в шихті забезпечуються процес відновлення вюститу і газифікації вуглецю в композиті. У термічно резервній зоні доменної печі, за рахунок реакції газифікації вуглецю, яка протікає із витратою теплоти, знижується температура у цій зоні.

Вперше виробництво обпалених композитів із суміші залізорудного концентрату і вугілля було здійснено на дослідній фабриці окомкування, які були отримані з суміші залізорудного концентрату з подрібненим вугіллем, суміш окомковувалася на чашевому грануляторі і окатиші обпалювалися на

обпалювальній машині ОК-18. В шихту додавали 20% цих обкотишів, витрата коксу знизилась на 5,5% та збільшилась продуктивність на 8,7%. Було вироблено промислову партію композитів на випалювальній машині ОК-278 об'ємом 21870 тонн, яка була проплавлена в доменних печах металургійного заводу ім. Петровського. Кількість досліджуємих окатишів у доменній шихті склала від 47 до 81%. Дослідні котуни містили 0,39% вуглецю. У перерахунку на масу таких котунів вміст вуглецю в шихті 3,29 кг/тчав, що підвищило вміст FeO до 10,16%, зменшився ступінь прямого відновлення з 31 до 30,6%, витрата коксу знизилась на 14 кг/тчав.

Рудовугільні композити були випробувані на діючій доменній печі в Кореї [4]. Було встановлено, що завантаження рудо вугільних композитів не надає негативного впливу на газопроникність шихтових матеріалів, на стабільність ходу шихти і на рівність ходу доменної печі. Відновлення залізовмісних матеріалів починається в зоні низьких температур і закінчується швидше порівняно з агломератом і котунами.

В Україні з 2005 року введено в експлуатацію фабрику з виробництва безобпальних обкотишів на портландцементній зв'язці з суміші пилу і шламів доменного та конверторного виробництва продуктивністю 120 тис. тонн обкотишів на рік, основністю 1,5-1,7. Було вироблено 21000 тонн композиту з використанням пилів та шламів доменної печі з додаванням цементу. Вміст вуглецю у композиті становив 20%. Експерименти проводилися на доменній печі обсягом 5775 м³, витрата композиту 54 кг/тчав. Температура доменної печі в точці рівноваги при витраті композиту 54 кг/тчав, знизилася на 83°C. Встановлено, що при зниженні рівноважної температури кожен 1°C знижує витрату вуглецю на 0,05 кгС/1°C.

Реакції відновлення при зниженій температурі в шахті доменної печі забезпечують скорочення витрати коксу, за рахунок підготовки шихти у вигляді композитів. У разі відповідності температур термічно резервної зони доменної печі та початкової температури реакції Будуара здійснюється зниження витрати коксу завдяки зниженню температури термічно резервної зони доменної печі.

Резервні зони виникають спонтанно через термодинаміку та механізми реакції між відновленням залізовмісних оксидів і газифікацією вуглецю. Одна з умов контролюючих відновлення доменної печі - це зниження температури в термічно резервній зоні шляхом збільшення реактивності вуглецю коксу. Як поліпшення хімічної активності вуглецю, так і скорочення крупності вуглецевмісного матеріалу, є методами збільшення реакційної здатності вуглецю [3, 4].

Якщо швидкість відновлення оксидів заліза може збільшуватися та початкова температура реакції газифікації знижується ($C+CO_2=2CO-\alpha$), то внаслідок цього слід очікувати підвищення ефективності доменного процесу за рахунок повнішого відновлення. Зміна механізму реакції можна простежити в композитному рудовугільному котуні що наведені на рис.1. Початковою реакцією має бути реакція (3). Однак механізм подальших реакцій може відрізнятись і змінюватись в залежності від розташування вуглецю та оксидів заліза. У позицій (а) рис.1, реакція (3) ніколи не протікатиме, а реакції (1) та (2) домінуватимуть. Однак загальну ситуацію відновлення та газифікації важко пояснити, чому швидкість реакції прискорюється лише через циркуляцію газу. У цьому випадку існує лише одна можливість для пояснення цієї ситуації: відстань між частинками має бути мінімальною, тобто межа реакції має бути видимою одним та іншим матеріалом.

Експериментальні дослідження відновлення рудовугільних композитів

Композит отримували із суміші тонкоподрібнених матеріалів: шламів доменного та конверторного виробництв, хімічний склад: Fe₃O₄-43%, C -7-9%, CaO 12-16, SiO₂-7-8%. Проба композиту розміром 5-10 мм завантажувалося в тигель і нагрівалася в електропечі в атмосфері аргону. Відновлення композиту проводили при температурах 900,1000 і 1100 °C протягом 150 і 240 хвилин. Ступінь відновлення за рахунок вуглецю, що міститься в композиті, складає при витримці 150 хв - 67,5% - 68,7%, при витримці 240 хвилин 69,6% - 69,9%.

Композит роблять з суміші тонкоподрібнених залізородних матеріалів і вуглецьмістячих компонентів з добавкою в'язучої речовини. Тоді при нагріві

усередині обкотиша на контакті тверде – тверде (Fe_2O_3 тв - Ств) відбувається процес відновлення по реакціях:



На рис. 1 схематично ілюструються різні механізми відновлення композиту з вуглецем, розміщеним в середині обпалювальних обкотишів, та вуглецем розташованим зовні обкотиша.

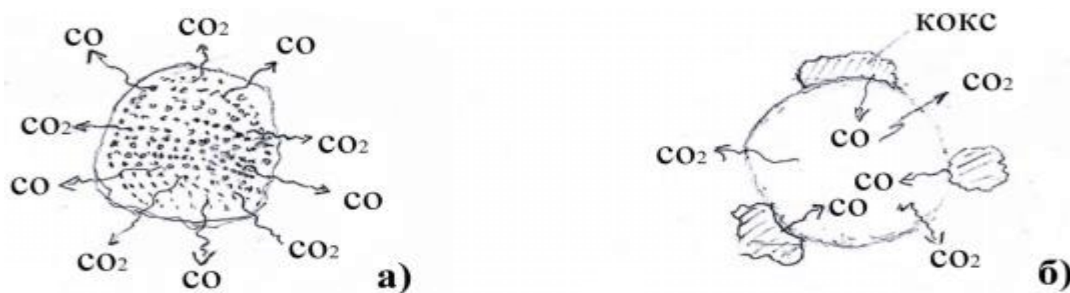


Рис. 1 Схема ілюструє різні механізми відновлення

а) обкотиші, що самовідновлюються. Реакція 1, 2 і 3 протікають у середині обкотиша; б) звичайні обпалені обкотиші: розташування вуглецю на їх поверхні.

Відновлення обкотишів, що містять оксиди заліза і частки твердого палива, не відбувається в ізотермічних умовах і процес відновлення протікає при істотних температурних градієнтах. Значна роль в цих процесах належить крупності частинок залізної руди і вуглецю. Розмір частинок шламів доменного і конверторного виробництв і коксика складає в основному 70-80% величину від 10 до 70 мкм. Відстань для CO_2 , щоб пройти від місця його появи (частинка шламу, що містить вуглець з оксидом заліза) до місця його зникнення може бути близько 100 мікрон в місцях з високою температурою, де активно протікає хімічна реакція. Ця дистанція порівнянна з середнім вільним пробігом молекул газів, що дозволяє зробити висновок про те, що перенесення маси газів не є лімітуючою стадією для швидкості реакції.

Теплоперенос в пористому просторі включає: теплопровідність, випромінювання і конвекцію. Відносні значення цих механізмів варіюються залежно від властивостей: твердої фази, структури пір, інтервалу температур і руху газу. Для даного випадку швидкість передачі теплоти випромінюванням на три порядки менша, ніж теплопровідністю. Зі збільшенням

теплопровідності шихти температура в системі і швидкість загальної реакції значно збільшується. Більше того, рання металізація збільшує термічну провідність реакційної суміші завдяки підвищеному вмісту металевого заліза. Усе це дає позитивний ефект, збільшуючи швидкість хімічної реакції.

Збільшення питомої швидкості хімічної реакції газифікації вуглецю має мінімальний ефект на швидкість загальної реакції. Це може бути пояснено таким чином. Збільшення швидкості ендотермічної реакції газифікації вуглецю пов'язане зі збільшенням швидкості споживання теплоти. Реакція газифікації вуглецю сама по собі також сильно залежить від температури. Швидке поглинання теплоти завдяки швидкій газифікації вуглецю матиме тенденцію до зниження локальної температури, яка веде до зниження локальної швидкості хімічної реакції. Виходячи з цього, можна припустити, що загальна кінетика реакції може контролюватися швидкістю теплопереноса, щоб ініціювати і підтримувати газифікацію вуглецю за рахунок CO₂ і H₂O.

Одна з переваг відновлення композиту полягає в тому, що при значній кількості тісних контактів між вуглецем і оксидами заліза протікає реакція прямого відновлення по двухзвенній схемі (FeO_x + CO → FeO_{x-1} + CO₂: CO₂ + C = 2CO). Причому, ці дві реакції протікають одночасно.

Висновок. Дослідження показали високу швидкість реакцій відновлення заліза і газифікації вуглецю і низьку початкову температуру газифікації вуглецю 250-420°C. Прискорення реакції відновлення відбувається за рахунок рециркуляції газу завдяки короткій відстані між частинами залізовмісних та вуглецевих композитів та їх розмірів., де відстань між ними коротка і межа реакції «видима» одним і іншим.

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCE

1. Ruijun Yan, Zhenggen Liu, Peijun Liu. Effect of coke reactivity on softening-melting and dripping behaviors of sinter. Ironmaking & Steelmaking, 25. 2023. DOI:10.1080/03019233.2023.2200621
2. Fundamental research on iron coke hot briquette – A new type burden used in blast furnace. H. Wang, M. Chu, W. Zhao, R. Wang, Z. Liu, J. Tang. Ironmaking & Steelmaking. 2016. DOI:10.1080/03019233.2016.1152344

3. MENG Fan-chao, ZOU Zong-shu. Influence of Thermal Reserve Zone Temperature in Blast Furnace on Gas Utilization Rate. Journal of Northeastern University Natural Science 2018, Vol. 39. Issue (7): 985-989. DOI: 10.12068/j.issn.1005-3026.2018.07.015.
4. Fanchao Meng, Lei Shao, Wenjie Ni, Zongshu Zou. A Numerical Study on the State of the Blast Furnace Thermal Reserve Zone under Different Starting Temperatures of Coke Solution Loss Reaction. Steel research international. Research Article. 2022 . Volume93, Issue7. <https://doi.org/10.1002/srin.202100823>.

PECULIARITIES OF FORMATION OF THE HEAT RESERVE ZONE WHEN USING ORE AND COAL PELLETS

Vanyukov Anton, Kamkina Lidiya, , Ivashchenko Valerii,
Miyanovska Yana., Sazonov P.

Abstract. *The object of research is the technology of iron smelting when using ore-coal compositions. The purpose of the work is the effect of changing the composition of the blast furnace charge on the thermal state of the formation of the thermal reserve zone. Research methods - theoretical studies are based on the basic principles of physical chemistry and the theory of metallurgical processes. Experimental studies were carried out in laboratory and industrial conditions. Scientific novelty - there is a "coupling phenomenon" between recovery and gasification - this is a close contact between small particles of iron oxides and carbon, which is formed in the ore-coal composite, which ensures an increase in the efficiency of blast furnace smelting. Reduction of fuel consumption and, accordingly, the amount of gases per unit charge of modern blast furnace smelting, the height of the reserve zone is reduced; this zone is not observed in the vertical elements of the furnace with the maximum ore load. Practical significance - the use of ore-coal composites provides a high speed of iron recovery and carbon gasification reactions and a low initial temperature of carbon gasification of 250-420°C, which is ensured by gas recirculation in the under burden, due to the short distance between the parts of iron-containing and carbon composites and their sizes, where the distance between them is short and the limit of the reaction is "visible" to both.*

Keywords: *blast furnace, thermal reserve zone, ore-coal composites, recovery, carbon gasification reaction, carbon reactivity*