

УДК 621.745.55

Д.Ф. Чернега, В.М. Нещадим, П.Д. Кудь, Д.В. Іванченко

ЕФЕКТИВНІСТЬ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО РОЗПОДІЛЕННЯ ТВЕРДОГО ПАЛИВА В ПОШАРОВІЙ СИСТЕМІ З РУДНО-ФЛЮСО-ПАЛИВНИХ КОМПОЗИЦІЙ

In this article processes of pelletizing and sintering iron ore pellets with different distribution of solid fuel in multilayer system were experimentally investigated. The influence of the functional distribution of solid fuels on the compressive strength and the degree of metallization fired pellets was studied. Compressive strength of burnt pellets with basicity of 1.4, which contain increased amounts of particulate fuel in range of 1,6–2,35 kN/pellet and not characterized by high indices, although GOST has indices on level 0,2–0,95 kN /pellet. Reallocation of a solid fuel is characterized by concentration of fuel in granules themselves (12 %) and only 3,3 % in space between the pellets. As a result, this significantly increases the degree of metallization of the calcined material, reducing the thermal load on the electric unit of the reaction site of electric furnace and slightly reduces compressive strength of burnt pellets. Maximum increase in the degree of metallization (38,2 %) of burnt pellets is observed in the presence of the protective layer of a quick lime and iron ore mixture on the surface. The protective shell serves as an additional barrier which, during passing the firing and cooling the pellets, prevents the free access of oxygen to the carbon particles located within the granules, substantially reducing the intensity of the oxidation reaction of the solid fuel. As result this increases the degree of metallization of the charge material and decreases outflow of melt from the pellets burning in this moment, and it does not lead to fusing them into large lumps. Increasing degree of metallization of burnt pellets is accompanied by an increase in the concentration of metallic iron in the form of "globular particles" in the nucleus, and granules of iron monoxide in the surface layer.

Keywords: pellet, metallization of charge, agglomeration, blast-furnace process.

Вступ

Останніми роками до якості шихтових матеріалів для доменного процесу як в Україні, так і за кордоном висуваються підвищені вимоги. Це пов'язано з тим, що стає економічно не вигідним використання природного газу при виробництві чавуну через його високу вартість. Збільшення вартості коксу вимагає вживання заходів зі зниження його витрати на виплавку чавуну.

Один із напрямів вирішення цієї проблеми – це використання металізованих шихтових матеріалів для переробки їх у доменній печі. При плавленні в доменній печі металізованих шихтових матеріалів підвищення продуктивності може сягати 7,6–10,3 %, а зменшення витрати коксу – 6,3–7,6 % на кожні 10 % металевого заліза в шихті [1]. З іншого боку, використання металізованих сировинних матеріалів знижує об'єм викидів діоксиду вуглецю в навколишнє середовище.

У працях [1, 2] відзначається позитивний вплив застосування металізованих котунів і брикетів, виготовлених у сполученому процесі спікання і відновлення за рахунок використання твердого палива в складі шихти, на економічність і ефективність ведення доменного процесу. Дослідженнями [1, 3, 4] встановлено, що додавання дисперсного твердого палива як

джерела тепла і відновника дає змогу істотно підвищити ступінь металізації випалених котунів і брикетів, забезпечити їх достатню міцність і зменшити вихід дріб'язку у спеченому продукті.

Суть запропонованих способів виготовлення котунів з підвищеним вмістом твердого палива з метою отримання гібридного згрудкованого матеріалу для доменного процесу полягає в тому, що дисперсне тверде паливо може змішуватись із сировинними матеріалами до їх згрудкування, накочуватись на поверхню гранул крупністю 10–15 мм та розподіляти у міжгранульному просторі в процесі змішування гранул і твердого палива.

Подальші дослідження щодо функціонального розподілу твердого палива при формуванні спеченої пошарової системи із рудно-флюсових композицій дадуть можливість отримати гібридний згрудкований шихтовий матеріал з високими металургійними властивостями і надалі значно удосконалити технологію виготовлення згрудкованої залізорудної сировини для доменної плавки.

Постановка задачі

Мета роботи – базуючись на результатах праць [1, 2] щодо вивчення ступеня металізації випалених котунів і брикетів, дослідити вплив

перерозподілення твердого палива в пошаровій системі з рудно-флюсо-паливних композицій на ступінь металізації спеченого продукту для можливого підвищення ступеня металізації випалених котунів, зниження теплового навантаження на реакційний вузол (кварцову трубку) електропечі опору, зменшення вмісту рідкої фази, усунення контактного зварювання з кварцовою трубкою та утворення громіздких шматків шихтового матеріалу.

Дослідження процесів згрудкування і випалювання залізородних котунів з різним розподілом твердого палива в пошаровій системі з метою визначення їх міцності і ступеня металізації

У попередніх дослідженнях при спіканні котунів з підвищеним вмістом твердого палива було встановлено, що ступінь металізації спеченого продукту не перевищував 30 %. При цьому тверде паливо в пошаровій системі з рудно-флюсових композицій розподілялось таким чином: 40 % твердого палива змішувалось із сировинними шихтовими матеріалами перед їх згрудкуванням, 40 % палива як робочого накочувалось на поверхню сирих гранул, і 20 % залишкового палива містилось у міжгранульному просторі й грало роль пускового палива. Крім того, в процесі спікання було виявлено, що за наявності 12 % твердого палива в пошаровій системі з рудно-флюсових композицій і при такому його розподіленні, в результаті протікання досить інтенсивної реакції окиснення вуглецю, що супроводжується значним виділенням теплоти, утворюється надлишок рідкої фази з витіканням останньої у простір між гранулами. Це призводило до рідкофазового з'єднання окремих гранул і утворення шматків шихтового матеріалу досить великого розміру. Бокові гранули, які безпосередньо стикаються зі стінкою кварцової трубки, місцями приварюються до неї, що затрудняє видалення випалених котунів після їх охолодження.

З метою усунення зазначених вище недоліків було вирішено скористатись результатами досліджень праці [1], де в першому варіанті в процесі спікання пропонується використання дво- або тришарових котунів, що містять у своєму внутрішньому шарі 12 % твердого дисперсного палива, а в зовнішньому лише 3 %. Другим ефективним засобом, що забезпечує відновлення заліза у внутрішньому шарі котунів і зменшує повторне окиснення відновленого за-

ліза у спеченому продукті, є зниження концентрації кисню в повітрі, що просмоктується через шар шихти, яка спікається. Досягається це за рахунок рециркуляції відхідних газів агломераційної машини або розбавленням повітря азотом у процесі спікання й охолодження випалених котунів. Однак у звичайному процесі агломерації зниження концентрації кисню в повітрі завжди призводить до різкого зменшення продуктивності агломераційної машини. З урахуванням цього було вирішено зупинитись на варіанті 1 і дослідити вплив перерозподілення твердого дисперсного палива в пошаровій системі, що спікається, на ефективність металізації випалених котунів з одночасним зменшенням інтенсивності горіння коксового дріб'язку і надлишкового оплавлення шихтового матеріалу.

Як об'єкт досліджень використовувались котуни з рудно-флюсо-паливних композицій, що виготовлені з концентрату залізної руди ВАТ "Центральний гірничо-збагачувальний комбінат", негашеного вапна, дисперсного коксу та бентоніту. В офлюсованих сирих котунах основністю 1,4, що підлягали спіканню в печі Таммана в кварцовій трубці за температури 1593–1598 К, містилося 12 % дисперсного коксу фракції 0,08–1 мм як відновника оксидів заліза, тоді як у міжгранульному просторі містилося лише 3,3 % дисперсного вуглецю фракції 0,08–5 мм, який виконував роль як пускового, так і робочого палива. Випалювання котунів у пошаровій системі (після попереднього підігрівання до 573 К протягом 5 хв) проводилося за тиску повітря просмоктування 2–4 мм вод. ст. протягом 8 і 10 хв їх завантаженням у нагріту сумісно з піччю кварцову трубку. Після короткої витримки котунів у печі при зазначеній температурі випалювання їх охолоджували сумісно з піччю до 1173 К, а потім видаляли з печі і охолоджували потоком холодного повітря.

Випалені котуни піддавали механічним випробуванням на розрив на машині МР-0,5-1 та хімічному і рентгеноструктурному аналізу з метою визначення ступеня металізації спеченого продукту.

Дослідження процесу спікання залізородних котунів з підвищеним вмістом твердого палива в пошаровій системі проводилось як з нанесенням зовнішньої захисної оболонки товщиною 1,5–2,0 мм на поверхню підсушених котунів ($T_c = 423$ К), так і без наявності зовнішнього захисного шару із суміші негашеного вап-

на і залізорудного концентрату у співвідношенні 1:1.

Міцність котунів основністю 1,4 з підвищеним вмістом твердого палива, випалених протягом 8 і 10 хв за температури 1593–1598 К, показана на рис. 1.

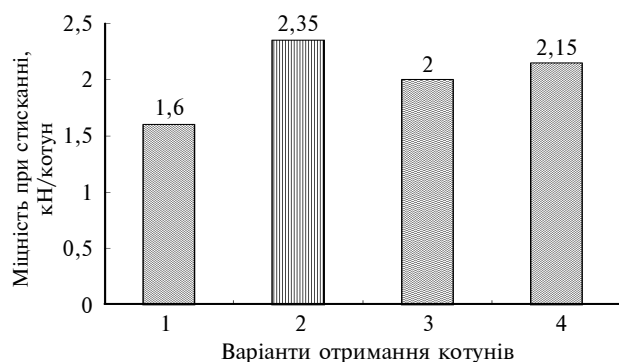


Рис. 1. Міцність котунів основністю 1,4 з підвищеним вмістом твердого палива, отриманих за чотирма варіантами і випалених протягом 8 хв (2, 3) і 10 хв (1, 4) за температури 1593–1598 К: 1 – вміст твердого палива 10 % [2]; 2 – вміст твердого палива в пошаровій системі 12 % (40 % цього палива змішується з сировинними шихтовими компонентами, 40 % наноситься на поверхню сирих гранул з імітацією процесу барабанного згрудкування, а 20 % залишкового палива міститься в міжгранульному просторі); 3 – вміст твердого палива всередині гранул 12 % і 3,3 % у міжгранульному просторі (розрахунок від маси гранул); 4 – вміст твердого палива всередині гранул 12 % з наявністю на їх поверхні захисного шару із суміші негашеного вапна і залізорудного концентрату

Із рис. 1 видно, що максимальною міцністю характеризуються котуни, виготовлені за другим варіантом, де випалювання їх проводилось у два етапи – спочатку нагрівання до 1023 К у повільному, а потім у прискореному режимі. Це дало змогу не тільки швидко пройти температурний інтервал максимального окиснення гранул, а й за наявності у міжгранульному просторі значної кількості твердого палива отримати в офлюсованих котунах достатню кількість рідкої фази, до складу якої входять переважно силікати і ферити кальцію при зниженому вмісті силікату заліза (Fe_2SiO_4), яка певною мірою уповільнює доступ кисню в ядро гранул і сприяє підвищенню їх міцності й росту відновлювального потенціалу.

Перерозподіл твердого дисперсного палива, яке характеризується тим, що переважна кількість палива міститься всередині гранул (12 %) і лише 3,3 % – у міжгранульному просторі, призводить до зниження міцності випале-

них котунів (рис. 1, поз. 3), а також зменшує теплове навантаження на реакційний вузол у результаті уповільнення реакції окиснення вуглецю в міжгранульному просторі.

У результаті такого перебігу процесу спікання котунів, що містять усередині значну кількість твердого палива і характеризуються підвищеною пористістю і пониженою міцністю уже в сирому стані, з підвищенням температури (> 1493 К) спостерігається ріст відновлювального потенціалу з одночасним зниженням ступеня окиснення гранул і, як наслідок, зменшення кількості гематитової зв'язки, яка в інтервалі температур 1473–1493 К забезпечує максимальну міцність спеченого продукту [5, 6]. З другого боку, частинки палива, що розміщені всередині гранул і на їх поверхні, в результаті поступового окиснення створюють у ядрі гранул “надлишок” суміші газів CO і CO_2 . Ця суміш газів, з виділенням кисню і перебудовою кристалічних ґрат (у зв'язку з дисоціацією залишкового гематиту й утворенням вторинного магнетиту), зумовлює те, що по зовнішньому периметру котунів збільшується мікропористість, яка послаблює зв'язки між агрегатами кристалів [5, 7], що і призводить до зниження їх міцності.

Нанесення зовнішнього захисного шару із суміші вапна і концентрату не сприяє істотному підвищенню міцності випалених котунів (рис. 1, поз. 4), незважаючи на уповільнений доступ кисню і зменшення інтенсивності реакції окиснення вуглецю всередині гранул [1].

Зовсім інша картина спостерігається щодо зміни ступеня металізації випалених котунів (рис. 2). Отримані результати досліджень показують, що ступінь металізації котунів динамічно підвищується, починаючи від першого варіанта і закінчуючи четвертим. Пояснюється така закономірність тим, що з підвищенням вмісту дисперсного твердого палива всередині гранул і його функціонального розподілення в пошаровій системі із рудно-флюсо-паливних композицій відбувається нарощування інтенсивності відновлювального потенціалу, що супроводжується збільшенням концентрації металевого заліза у вигляді “глобульних частинок” всередині гранул і монооксиду заліза (FeO) у поверхневій шарі. При цьому одночасно поліпшується якість шихтових матеріалів по крупності в результаті зменшення розміру шматків спеченого продукту за рахунок часткового усунення витікання розплаву із гранул і сплавлення окремих гранул у моноліт.



Рис. 2. Ступінь металізації котунів основністю 1,4 з підвищеним вмістом твердого палива, отриманих за чотирима варіантами і випалених протягом 8 хв (2, 3) і 10 хв (1, 4) за температури 1593–1598 К: 1 – вміст твердого палива 10 % [2]; 2 – вміст твердого палива в пошаровій системі 12 % (40 % цього палива змішується з сировинними шихтовими компонентами, 40 % наноситься на поверхню сирих гранул з імітацією процесу барабанного згрудкування, а 20 % залишкового палива міститься в міжгранульному просторі); 3 – вміст твердого палива всередині гранул 12 % і 3,3 % у міжгранульному просторі (розрахунок від маси гранул); 4 – вміст твердого палива всередині гранул 12 % і 3,3 % у міжгранульному просторі з наявністю на їх поверхні захисного шару із суміші негашеного вапна і залізородного концентрату

Нанесення захисного шару на поверхню гранул перед їх спіканням не тільки перешкоджає витіканню розплаву із гранул і формуванню їх у вигляді сплавлених великих шматків, а й слугує додатковим бар'єром, що уповільнює доступ кисню до вуглецю в процесі спікання й охолодження котунів і тим самим ще більшою мірою підсилює відновлювальний потенціал пошарової системи (рис. 2, поз. 4). У цьому випадку ступінь металізації шихтового матеріалу становить 38,2 % і максимально наближається до економічно обґрунтованого для доменного процесу.

Порівнюючи результати досліджень, можна констатувати, що застосування технологічного режиму за четвертим варіантом з функціональним розподіленням твердого палива у пошаровій системі і створенням захисної оболонки при отриманні котунів і подальшого їх спікання забезпечує одержання найбільш якісних металургійних властивостей спеченого продукту. Застосування такого шихтового матеріалу з достатньою міцністю і підвищеним ступенем металізації є економічно вигідним для доменного процесу, оскільки дасть змогу зменшити витрату дорогоцінного коксу в доменній печі і збільшити її продуктивність.

Дослідивши ступінь металізації котунів з рудно-флюсо-паливних композицій, які виготовлені за різними варіантами з концентрату залізної руди ВАТ “Центральний гірничо-збагачувальний комбінат”, можна зазначити, що є доцільною розробка оптимальної технології отримання частково металізованих котунів для доменного виробництва, оскільки використання природного газу для виробництва чавуну в доменних печах через його високу вартість стає економічно не вигідним, а збільшення вартості його витрати на виплавку чавуну.

Базуючись на перевагах металізованих котунів, можна прогнозувати в подальшому високий попит на металізовану доменну шихту.

Висновки

З'ясовано, що нанесення захисного шару на поверхню гранул перед їх спіканням перешкоджає витіканню розплаву із гранул і формуванню великих сплавлених шматків, а також підсилює відновний потенціал пошарової системи, у результаті чого ступінь металізації може наближатися до 40 %.

З'ясована ефективність варіантів отримання котунів з різним функціональним розподілом твердого палива в пошаровій системі, яка базується на поєднанні процесів згрудкування сировинних шихтових матеріалів і їх спікання за температури 1593–1598 К, а саме до ступеня металізації і міцності спеченого продукту. Найбільш ефективним є четвертий варіант отримання котунів.

Досліджено міцність на стиск випалених котунів і встановлено, що міцність офлюсованих котунів, отриманих у процесі згрудкування з різним функціональним розподілом твердого палива в пошаровій системі, змінюється в межах 1,6–2,35 кН/котун і перевищує вимоги держстандарту (0,2–0,85 кН/котун).

Досліджено вплив перерозподілу твердого палива в пошаровій системі на ефективність металізації випалених котунів. Встановлено, що максимальний ступінь металізації шихтового матеріалу (38,2 %) досягається при вмісті 12 % твердого палива всередині гранул і за наявності на їх поверхні захисного шару та 3,3 % твердого палива у міжгранульному просторі.

Отримані результати уможливають розроблення технологічної схеми отримання металізованих шихтових матеріалів безпосередньо на існуючих конвеєрних випалювальних машинах.

Список літератури

1. *Сато Г., Машида С., Нуширо К.* Производство металлизированного сырья и применение его в доменной плавке // *Новости черной металлургии за рубежом.* – М.: Черметинформация, 2007. – № 6. – С. 23–33.
2. *Дослідження процесу спікання залізорудних котунів з підвищеним вмістом твердого палива / Д.Ф. Чернега, В.М. Нещадим, П.Д. Кудь, Д.В. Іванченко // Наукові вісті НТУУ “КПІ”. – 2013. – № 2. – С. 124–128.*
3. *Юсфин Ю.С., Спирин Н.А.* Металлургия чугуна и стали. – М.: МИСиС, 2005. – 311 с.
4. *Журавлев Ф.М., Лялюк О.В., Бережной Н.Н.* Технология термоупрочнения железорудных окатышей с частичной заменой природного газа твердым топливом // *Труды Междунар. научно-практич. конф. “Стратегия качества в промышленности и образовании”, 2–9 июня 2006, Варна.* – Варна, 2006. – С. 87–89.
5. *Юрьев Б.П., Спирин Н.А.* Результаты исследования процессов окисления железорудных окатышей // *Сталь.* – 2011. – № 5. – С. 9–12.
6. *Меламуд С.Г., Юрьев Б.П.* Исследование кинетики окисления титаномагнетитовых качканарских окатышей // *Металлы.* – 2000. – № 1. – С. 3–10.
7. *Меламуд С.Г., Потанин Ю.Н., Юрьев Б.П.* К вопросу о напряженном состоянии в обожженных зональных окатышах // *Там же.* – 2002. – № 1. – С. 3–9.

Рекомендована Радою
інженерно-фізичного факультету
НТУУ “КПІ”

Надійшла до редакції
27 грудня 2013 року