

частинок за розміром, що свідчить про те, що не всі частинки порошку вольфраму мають однакову товщину покриття. Це пояснюється тим, що рівномірність осадження покриття залежить від форми та морфології вихідних частинок вольфраму.

Було визначено ущільнювальність порошку вольфраму та плакованого порошку вольфраму. Встановлено, що в умовах статичного пресування ущільнення порошку вольфраму відбувається до тиску 550 МПа, подальше збільшення тиску практично не призводить до зниження пористості, вона залишається на рівні 35 %. При цьому плакування порошку нікелем не покращило ущільнювальність, що пояснюється тим, що покриття із нікелю збільшує коефіцієнт міжчастинкового тертя, що ускладнює переукладання частинок на стадії структурної деформації за низьких тисків. Подальше, зростання тиску призводить до збільшення контакту між частинками, що призводить до часткової деформації порошку вольфраму, проте покриття нікелю містить фосфор, що перешкоджає пластичній деформації вольфраму.

Література:

1. Randall M. German, Sintered tungsten heavy alloys: Review of microstructure, strength, densification, and distortion // International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, Volume 108, Nov. 2022, <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2022.105940>.
2. R.M. German, Tungsten Heavy Alloy Handbook, Metal Powder Industries Federation, Princeton, NJ, 2021.

Савельєв С.Г., Кондратенко М.М., Бабаєвська О.В.
(КНУ, м. Кривий Ріг)

ВИКОРИСТАННЯ МАГНЕЗІАЛЬНОГО ФЛЮСУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ОФЛЮСОВАНОГО ЗАЛІЗОРУДНОГО АГЛОМЕРАТУ ТА ПОЛІПШЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДОМЕННИХ ШЛАКІВ

E-mail: kondratenkom002@knu.edu.ua

Основною сировиною доменних печей в теперішній час є офлюсований залізорудний агломерат. Найважливішою характеристикою якості агломерату є його холодна міцність [1]. При цьому відомо [2, с. 183, 184], що підвищення

холодної міцності агломерату є одним із факторів, що визначають поліпшення газодинамічних умов доменного процесу. В сучасних умовах вимоги до якості металургійної сировини постійно підвищуються, що змушує технологів виробництва з випуску агломерату і котунів задавати в шихту компоненти, які збільшують міцність згрудкованої сировини і поліпшують властивості доменних шлаків. Одним із таких компонентів є магній та його сполуки.

Ширина температурного інтервалу, в якому відбувається плавлення доменних шлаків, має певний діапазон, що обумовлено їх багатокомпонентністю. У зв'язку з труднощами, які виникають при визначенні межі між поняттями «температура плавлення» та «температура кристалізації» шлаків, використовують термін «плавкість» [3] – мінімальна температура, за якої шлаки не втрачають свою рухливість.

Високий вміст магnezії у шлаках різко погіршує їх в'язкість, що пояснюється утворенням в них кристалів шпінелі ($\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) з температурою плавлення приблизно 2135°C [4]. Однак позитивний вплив MgO на температури плавлення і кристалізації, а також в'язкість шлаків все ж є, і залежить він від основності шлаків. Для нормальних ($\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 1,10\text{--}1,30$) та основних ($(\text{CaO}+\text{MgO})/\text{SiO}_2 = 1,35\text{--}1,45$) шлаків розріджувальний ефект магnezії спостерігається при вмісті $\text{MgO} = (6\text{--}12\%)$ [5]. В кислотних шлаках (CaO/SiO_2 не більше 1,0) позитивний ефект спостерігається при вмісті $\text{MgO} = 10\text{--}20\%$ [6].

Для умов підприємств металургійного комплексу України притаманні високосірчисті шлаки, для яких доцільним є вміст магnezії $3\text{--}12\%$ [7, 8]. Найліпша якість чавуну відповідає шлакам нормальної і високої основності, які містять $8\text{--}12\%$ магnezії [6].

Вміст магnezії в кислих шлаках не повинен перевищувати $11\text{--}14\%$. Це сприяє зниженню в'язкості та збільшенню плинності шлаків, що пояснюється наявністю в шлаку досить великої кількості сульфідів CaS , які розбавляють розплав [9].

Рівень нагрівання доменної печі контролюється вмістом кремнію в чавуні, який переходить в металевий сплав після відновлення [10]. Можливість неускладненої роботи печі за рахунок наявності основних магnezіальних шлаків

спостерігається для чавуну з вмістом 0,2–0,4 % кремнію за рахунок більшої теплоємності основних магнезійних шлаків [6], оскільки саме теплоємність дає змогу підтримувати сприятливе поєднання фізико-хімічних властивостей шлаку на відносно постійному рівні. Позитивний ефект підвищеного нагрівання доменної печі може бути наслідком нестабільності шлаків [7, 8], оскільки їх властивості різко змінюються навіть при незначному коливанні температури або хімічного складу шихтових матеріалів [11].

Найпростіший спосіб введення будь-яких домішок в доменну піч – їх завантаження разом із шихтовими матеріалами – у випадку магнезійних добавок має низку недоліків. Основний з них – руйнування магнієвмісних флюсів у верхній частині печі через меншу, ніж у залізорудних матеріалів, «гарячу» міцність, що значно погіршує газодинамічні умови плавки. Тому найбільш доцільно вводити такі домішки на етапі виробництва згрудкованої залізорудної сировини.

Серед двох основних видів згрудкованої металургійної сировини – котунів і агломерату – останній має більшу гнучкість в управлінні процесом плавки, тому введення оксиду магнію в доменну піч найбільш доцільно в складі залізорудного агломерату. Це обумовлено більшими температурами проведення спікання (до 1500 °C) при агломерації в порівнянні з окислювальним випалом котунів (не більше 1350 °C). Крім того, більший вплив на агломерат та його властивості має не вміст і склад рудної частини, а основність шихти та вміст в ній вуглецю, які варіюються в залежності від вимог до агломерату [12].

Вид магнієвмісного мінералу істотно впливає на металургійні властивості спеченого агломерату. При цьому найбільш перспективними магнієвмісними флюсами є силікати магнію. Однак вплив цих добавок на процес мінералоутворення при спіканні агломерату і, відповідно, формування його міцнісних властивостей практично не вивчений.

У вітчизняному виробництві агломерату найчастіше використовують добавки на основі доломіту, магнієвмісних руд і концентратів. Використання силікатів магнію на закордонних виробництвах призводить до зниження вмісту заліза в сировині через високий вміст кремнію в цих добавках. Проте завдяки

вивченню закордонного досвіду можливе розширення сировинної бази магнієвмісних домішок для українських виробників агломерату.

Серпентиніт вирізняється високим вмістом магnezії, більшою чистотою за вмістом шкідливих домішок і значно меншими втратами під час прожарювання в порівнянні із сидеритом. Однак, він також має високий вміст кремнезему, що веде до зниження вмісту заліза в агломераті [13].

Тому було виконано ряд експериментів зі спікання агломератів з використанням сидериту та серпентиніту, а також комбінованого флюсу на їх основі. В результаті встановлено оптимальний склад комбінованої флюсувальної добавки та її вплив на параметри агломераційного процесу. Серпентиніт із залишковим магнезитом є побічним продуктом виробництва магнезиту, і його використання в аглодоменній переробці дасть змогу знизити негативний вплив порідних відвалів на навколишнє середовище.

Проведення низки дослідно-промислових спікань дало змогу уточнити і перевірити оптимальний склад комбінованого флюсу, що містить 10 % серпентиніту і 90 % сидериту, та його економічну ефективність в порівнянні з іншими складами. Для агломератів з простою основністю 1,5 од., що виготовлені з таким флюсом, міцність на удар становить від 76,0 до 80,7 %, на стирання – від 5,3 до 3,9 %; для основності 1,75 од. відповідно: від 77,3 до 82,9 % і від 5,4 до 4,7 %.

Порівняння оптимальних складів серед серій агломераційних шихт за витратами на шихтові матеріали показало, що найбільш економічно вигідною є шихта з додаванням серпентиніту. Для цього ж варіанту складу максимальною буде і величина продуктивності агломераційного процесу. Вміст заліза в порівнюваних варіантах практично однаковий 52,1–52,2 %.

Література:

1. Губин Г.В. Савельев С.Г., Равинская В.О. Оценка показателей качества железорудного сырья и их влияния на работу доменной печи / Качество минерального сырья: Сб. научн. трудов. Кривой Рог, 2017. Т. 1. – С. 83–91.
2. Вегман Е.Ф., Жеребин Б.Н., Похвиснев А.Н. и др. Металлургия чугуна. – М.,

2004. – 774 с.

3. Ефименко Г.Г., Гиммельфарб А.А., Левченко В.Е. Металлургия чугуна. – 3-е изд., перераб. и доп. – К.: Выща шк., 1988. – 351 с.

4. Остроухов М.Я., Остроухов М.Я., Жило Н.Л. О критериях оценки свойств доменных шлаков. Сборник научных трудов: Межвузовский выпуск 2. – Магнитогорск, 1973. – С. 134-137.

5. Тогобицкая Д.Н., Можаренко Н.М., Белькова А.И., Степаненко Д.А. Аналитическая оценка свойств доменных шлаков, обеспечивающих устойчивую работу печи в нестационарных условиях // Металлургическая и горнорудная промышленность, 2010 № 4. – С.13–17.

6. Васюченко А.И. и др. Опыт работы доменных печей на магнезиальных шлаках // Сталь, 1986, № 6. – С. 10-12.

7. Пермяков А.А., Долинский В.А. Особенности минерального состава доменного шлака при проплавке магнезиального агломерата // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия, 2007. № 6. – С. 13-16.

8. Мишин П.П., Раев Ю.О., Слепцов Ж.Е. Освоение технологии выплавки чугуна на магнезиальноглиноземистых шлаках // Сталь, 1969. № 12. – С.1073–1077.

9. Пыриков А.Н., Невраев В.П., Жак А.Р., Хаустов В.А. Освоение производства высокоосновного доменного агломерата на Череповецком металлургическом комбинате // Сталь, 1989, № 8. – С. 4–7.

10. Якушев А.М., Голубев Л.А. Вязкость шлаков системы $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{MgO}$ на основе CaO // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия, 2006. № 9. – С.9–11.

11. Товаровский И.Г., Можаренко Н.М., Белецкий В.А., Хвостенко В.С. Условия выплавки низкокремнистого чугуна с низким содержанием серы // Сталь, 1992. №10. – С. 5–8.

12. Никитин Л.Д., Долинский В.А., Бугаев С.Ф. и др. Выплавка чугуна с пониженным содержанием кремния на магнезиально-глиноземистых шлаках // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2003. № 4. – С. 11–14.

13. Шаповалов А.Н., Заводяный А.В., Братковский Е.В. Применение серпентинитов Халиловского месторождения в агломерационном производстве // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия, 2011. № 3. – С. 25–29.