

МІНЕРАЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛІЗОРУДНИХ ОКАТИШІВ У НДПІ “МЕХАНОБРЧОРМЕТ”

НДПІ “Механобрчормет” є головним у галузі з розробки технології отримання огрудкованої сировини із залізорудних концентратів. За розробленими схемами і рекомендаціями на цей час виробляють окатиші (котуни) на огрудкувальних фабриках усіх залізорудних гірничозбагачувальних комбінатів (ГЗК) в Україні і багатьох — у ближньому зарубіжжі. В інституті понад 50 років виконують науково-дослідні роботи зі створення і розвитку теорії зміцнення залізорудних окатишів під час випалювання, виявлення чинників, що впливають на їх міцність і металургійні властивості, а також з вивчення при цьому рудних і нерудних мінералів, участь їх у формуванні структур, що забезпечують високу міцність і оптимальні металургійні властивості окатишів (котунів).

У зазначених роботах використаний великий обсяг петрографічних досліджень, що відстежують зміну складу окатишів і формування їх структури в процесі окисного випалу.

Дослідження проводили під мікроскопом (відбите світло) у полірованих шліфах, виготовлених із окатишів за спеціальною методикою. При цьому, щоб виключити чинник випадковості, для шліфів у кожному технологічному досліді відбирали не менше 2—4 окатишів. Контролювали, щоб площа шліфа обов’язково перетинала центр окатишів. Така методика підготовки зразків давала змогу здійснювати дослідження під мікроскопом в усьому обсязі окатишів — від його поверхні до центру.

Беручись до вивчення окатишів, мінералог повинен в обов’язковому порядку мати інформацію про склад шихти для огрудкування, вид випалу та його технологічні параметри (температуру, час витримки, умови охолодження та ін.) Ці відомості потрібні для розуміння, оцінки та інтерпретації результатів петрографічних досліджень.

Зазвичай вивчення окатишів починають з візуального огляду полірованих шліфів: фіксують діаметр, наявність деформацій, ядер, тріщин; оцінюють пористість, її розподіл. Під мікроскопом визначають мінеральний склад і його однорідність у обсязі окатишів. Складають характеристику кожної рудної та нерудної фази, фіксують їх розміщення, елементи зміни. Визначають розмір, конфігурацію та розподіл пор, а також кільцевих і радіальних тріщин і зміни мінералів поблизу них. За потреби на рент-

генівському мікроаналізаторі визначають склад фаз. У деяких випадках використовують рентгеноструктурний аналіз.

Результати мінералогічних досліджень однотипної серії окатишів зіставляють з результатами визначення їх міцності — міцність на роздавнення (кг/ок), показник дроблення та стирання (%) і ступінь руйнування за відновлення.

Роблять висновок щодо наявності та характеру зв'язку між ними і дають рекомендації щодо вдосконалення процесу виготовлення й термічної обробки окатишів.

Зрозуміло, що подібну роботу мінералог може виконувати лише на засадах доброго знання технології виробництва окатишів та основ металургії.

Виробництво обпалених залізорудних окатишів може включати різні способи підготовки шихти: без введення в неї флюсу або з введенням його — для керованого утворення силікатної зв'язки в окатишах у процесі випалення. У результаті можуть бути отримані окатиші двох видів: неофлюсовані (або з низьким ступенем офлюсування); офлюсовані.

Ці окатиші дещо відрізняються один від одного за характером процесів, що відбуваються в них під час випалювання, і, як наслідок, за складом, структурою, міцністю та металургійними властивостями.

Нині спостерігається тенденція виробництва на ГЗК переважно неофлюсованих (або частково офлюсованих) окатишів, у яких співвідношення CaO/SiO_2 становить 0,1—0,8. Для їх виготовлення використовують магнетитові концентрати з масовою часткою $\text{Fe}_{\text{заг}}$ від 65 до 70 %; як сполучного — бентонітову глину в кількості 0,3—0,5 %. Для забезпечення прийнятих умов огрудкування шихти її вологість має бути 8,5—9,5 %.

Отримані в агрегаті огрудкування сирі окатиші характеризуються низькою міцністю і легко руйнуються. Для зміцнення на огрудкувальних фабриках застосовують термічну обробку з використанням конвеєрно-обпалювальних машин і комбінованих систем “решітка — трубчаста піч — охолоджувач”, де окатиші спочатку висушують, а потім обпалюють за температури 1200—1350 °С. Потім їх охолоджують, розвантажують і сортують.

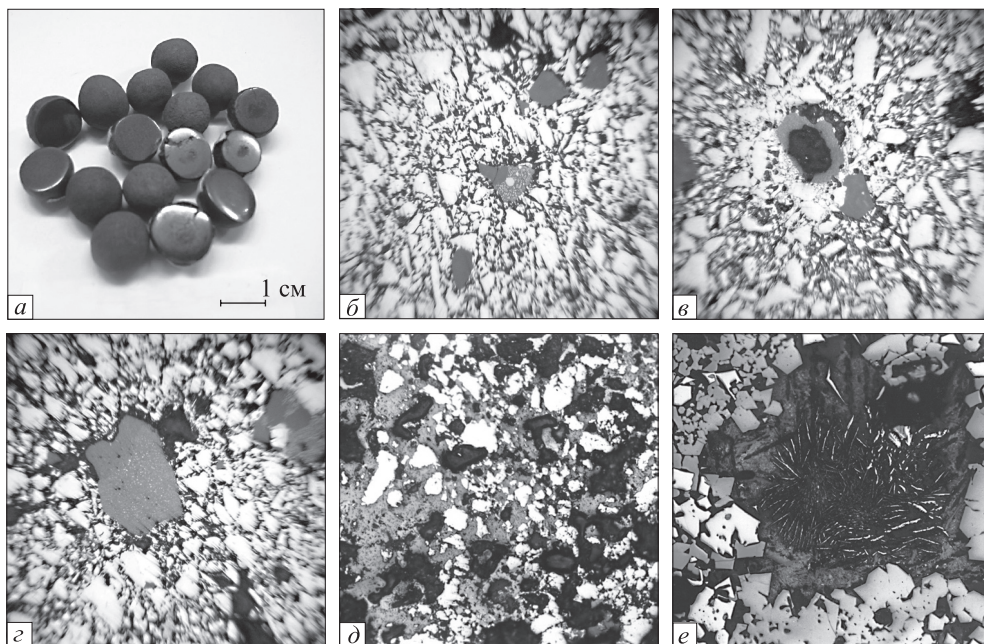
На ГЗК застосовують окиснювальний випал, тобто окатиші з магнетитових концентратів після випалення мають гематитовий склад.

Під час випалювання в кожному з окатишів (від поверхні до центру) відбувається рух двох фронтів — збільшення температури та окиснення магнетиту. Якщо температура росте швидше, ніж проходить окиснення, в окатишах можуть зберігатися недоокиснені магнетитові ядра (рисунок, а), оскільки розплав, який з'явився, блокує пори й утруднює доступ кисню до ядра. Термодинамічні напруження в процесі охолодження таких двофазних окатишів зазвичай приводять до утворення кільцевих і радіальних тріщин на межі ядра і оболонки (рисунок, а), аж до повного руйнування.

Під впливом підвищення температури дрібна (менше 10 мкм) рудна фракція спікається. Утворюється так звана рудна зв'язка, що з'єднує в єдиний каркас усі рудні зерна (рисунок, б).

Інтенсивність спікання і залучення в цей процес все більшої кількості і все крупніших зерен збільшується із зростанням температури і збільшенням часу витримки.

Нерудні мінерали під час випалювання неофлюсованих окатишів ведуть себе по-різному. Легкоплавкі, такі як егірин, лужні амфіболи і зелена слюда, за температур випалу плавляться, починаючи з 980—1000 °С, частково або повністю. У місцях розміщення їхніх зерен формується нерозкристалізована силікатна зв'язка (скло) у вигляді найтонших плівкових виділень між рудними зернами розміром 0,04—0,3 мм (рисунок, в).



Текстурно-структурна характеристика випалених окатишів: *a* — випалені окатиші та шліфи з них. Відбите світло, без аналізатора. Світле — гематит, світло-сіре з коричневатим відтінком — магномагнетит в силікатах, темно-сіре — кварц і силікати (зерна) і скляна зв'язка (плівки), чорне — пори. Зб. $\times 140$ (зм. 2/3); *b*—*c* — неофлюсовані окатиші: *b*, *c* — твердофазне зп'якання рудних мінералів; твердофазне утворення магномагнетиту в зернах силікатів; *e* — розвиток плівок скла навколо розплавленого силікату — егірину; на місці силікатного зерна залишається пора, що повторює його розмір та форму; *d*, *e* — офлюсовані окатиші; лужність 1,2; температура випалення 1220 °C (*d*), 1350 °C (*e*). Відбите світло, без аналізатора. Зб. $\times 200$ (зм. 2/3). Біле — гематит, світло-сіре — ферити кальцію (*d*) і магнетит (*e*), темно-сіре — нерудні мінерали (*d*) і силікатна зв'язка (*e*), чорне — пори

Тугоплавкі силікати (кумінгтоніт, актиноліт, рогова обманка і біотит) є інертними в умовах випалу та участі у формуванні силікатної зв'язки не беруть. За температури понад 1150 °C у межах їхніх зерен відбуваються фазові перетворення з утворенням високотемпературного кварцу (кристобаліту) і магномагнетиту (рисунок, *z*).

Зерна кварцу за температури понад 1150 °C розтріскуються, він перетворюється на кристобаліт.

Офлюсовані окатиші за механізмом зміцнення дещо відрізняються від неофлюсованих. Уведений в їхню шихту флюс, залежно від його виду, розкладається в межах температур 800—1200 °C. Починаючи з 900—1100 °C утворюються ферити кальцію (рисунок, *d*), які потім плавляться і засвоюються розплавом усіх нерудних мінералів шихти. Легкоплавкі силікати плавляться раніше, згідно з описаною вище схемою.

Кількість розплаву тим більша, чим більше нерудних мінералів у шихті, тобто, чим бідніший концентрат, а також чим вища основність окатишів. У окатишів основністю 1,0—1,2 і вище кількість розплаву досягає 10—15 %. Крім тонких плівок, силікатна зв'язка спостерігається і в значних обсягах — до 0,5 мм і більше. Під час охолодження високоосновного розплаву утворюються одно- і двокальцієві силікати (рисунок, *e*) і, в деяких випадках, олівіни Fe-Mg-Fe-складу.

Спікання рудних мінералів за великої кількості силікатного розплаву має інший характер, ніж у неофлюсованих окатишах: відбуваються масоперенесення речовини, засвоєння розплавом дрібної рудної фракції, згладжування обрисів рудних зерен, з одного боку, і диспергування великих зерен концентрату — з іншого. У результаті окатиші набувають рівнозернистої структури (див. рисунок, *e*), у якій розмір зерна визначається температурою випалу, основністю шихти і якістю концентрату. У результаті дисоціації гематиту, а також кристалізації з розплаву в окатишах знову з'являється магнетит.

Безумовно, такі складні перебудови і зміни по-своєму впливають на міцність і металургійні якості офлюсованих окатишів.

Багаторічні дослідження, техніко-економічний аналіз, накопичений досвід у галузі рудопідготовки зумовили тенденцію до глибокого збагачення залізних руд з отриманням концентратів, що містять понад 68—70 % заліза, і виробництва з них обпалених окатишів — неофлюсованих або з низьким ступенем офлюсування.

Оптимальним видом зв'язки в окатишах визнана рудна (спікання рудних зерен) у поєднанні з невеликою кількістю силікатної (скло) — у вигляді міжзернових плівок у невеликих мікрооб'ємах. Такий вид зв'язки забезпечує окатишам високу міцність у холодному стані (понад 200 кг/ок) і в разі їх відновлення у доменній печі.

Отже, мінералогічні дослідження у галузі огрудкування залізорудних концентратів на цей час є необхідними і затребуваними: вони дають змогу здійснювати контроль і корегування технологічних процесів, що сприяє виробництву окатишів з високими металургійними властивостями.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Журавлев Ф.М., Мерлин А.В., Зима С.М. и др. Влияние минерального состава нерудной части магнетитовых концентратов на процессы структурообразования и металлургические свойства неофлюсованных окатышей // Изв. АН СССР. Металлургия. — 1981. — № 4.
2. Гегузин Я.Є. Физика спекания. — М: Наука, 1967. — 226 с.
3. Дрожиков Л.А., Паталах А.А., Дворниченко И.Ф. и др. Сравнительный анализ агрегатов для обжига окатышей: конвейерная машина и “решетка — трубчатая печь — охладитель”. Новое в технологии и технике переработки минерального сырья: Сб. науч. тр. — Кривой Рог: Механобрчермет, 2009. — С. 107—125.