

УДК 549.01:553

ОНТОГЕНІЯ КУЛЯСТИХ ІНДИВІДІВ І АГРЕГАТІВ ТЕХНОГЕННОГО ПОХОДЖЕННЯ

Т. Нестеренко, В. Іванченко, С. Тиришкіна

*Криворізький технічний університет
50002 м. Кривий Ріг, вул. Пушкіна, 44
E-mail: evtekhov@mail.ru*

Схарактеризовано кулясті мінеральні зерна й агрегати у продуктах металургійного виробництва, а також їхній вплив на технологічні властивості і збагачення вторинної металургійної сировини.

Ключові слова: металургійні відходи, техногенне мінералоутворення, сферичні мінеральні зерна, залізо, вюстит, магнетит, графіт, ферит кальцію, скло, Криворіжжя.

Зростання кількості різноманітних відходів, пов'язаних з діяльністю металургійних підприємств, призводить до погіршення екології в промислових регіонах України. Водночас залізовмісні металургійні шлаки, шлами і пил можна знову використовувати як залізородну сировину. Проте їхнє збагачення й агломерація пов'язані зі значними труднощами, що зумовлені особливостями техногенного мінералоутворення, у тім числі значним поширення зерен кулястої форми [2].

Проблема полягає в непередбачуваній поведінці кулястих утворень у складному технологічному ланцюзі збагачувальної фабрики. Ці утворення спричиняють збіднення концентрату домішками баластних і шкідливих хімічних елементів, неповне вилучення заліза, погіршення якості продуктів обгрудкування залізородної сировини [1].

Наша мета – визначити причини і механізм утворення куль, особливості їхньої зміни (перекристалізації та знищення), механізм формування специфічних технологічних властивостей сферичних мінеральних зерен.

Кулясті індивіди й агрегати техногенного походження ми вивчали у відходах металургійного виробництва ВАТ “Міттал Стіл Кривий Ріг”: пилу, шламах і шлаках.

З'ясовано, що розмір куль змінюється від 1–2 мкм до 6–7 см, домінують частки до 1 мм. Субтонкозернисті утворення характерні для пилу і шламів мартенівських та конвертерних печей (рис. 1). Найбільші за розміром округлі утворення виявлені у техногенно-осадових покладах шламосховищ.

Трапляються кулі, краплі, глобули, яйцеподібні, іноді сплюснені жовна. За внутрішньою будовою розрізняють щільні однорідні, зональні, радіально-променисті, сплутано-волокнисті, порожнисті кулі, у тім числі з кількома газовими пухирцями. У їхньому складі визначено велику кількість техногенних і природних мінералів: металеве залізо, графіт, вюстит, магнетит, гематит, ферити кальцію, гетит, олівін, діопсид, мінерали групи кварцу, глинисті мінерали, силікати кальцію, шпінель, а також силікатне й залізо-силікатне скло. Переважають полімінеральні частки.

Більшість з наведених мінералів зароджується самовільно з розплаву. Формуванню кулястих утворень передуює ліквідація металургійного розплаву на металеву й силікатну складові. Завдяки їй у складі шлаку утворюються кулясті відокремлення заліза (рис. 2), а до металу потрапляють силікатні частки відповідної форми.

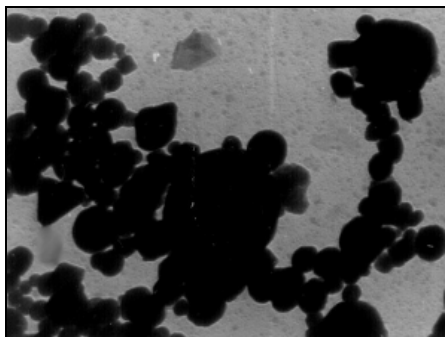


Рис. 1. Кулясті частки оксидів заліза у шлаках конвертерного цеху. Завдяки магнітним властивостям вони утворюють згустки і ланцюжки. Електронна мікроскопія. Репліка з вилученням. $\times 30\,000$.

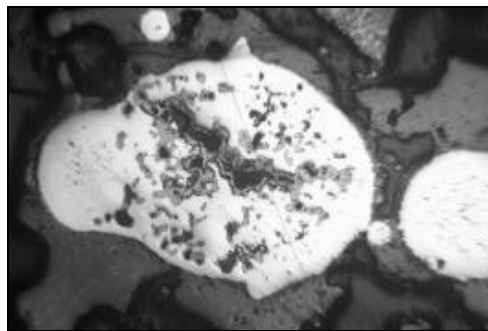


Рис. 2. Глобули металевого заліза (білі) з включеннями вюститу (сіре). Порожнини (чорне) виникли під час вибіркового вилуговування вюстити. Шлак мартенівського цеху. Полірований шліф. $\times 55$.

Різний рівень насиченості металу киснем приводить до утворення зерен металевого, магнетитового, гематитового або вюститового складу. Зі збагаченого кальцієм офлюсованого рідкого шлаку кристалізуються кулі, утворені видовженими кристалами фериту кальцію. З різного за хімічним складом силікатного розплаву формуються краплеподібні індивіди діопсиду, полімінеральні парагенезиси з олівіном, шпінеллю, силікатами кальцію й рудними (вюстит, магнетит та ін.) мінералами (рис. 3).

Різновидом такого способу зародження є охолодження і кристалізація краплин розплаву, захоплених пилогазовим потоком у газоочисній системі металургійних установок. Найчастіше за таких умов кристалізуються порожнисті кулі магнетиту, вюстити, гематиту. Вони утворюються на поверхні однієї або кількох газових куль, успадковуючи їхню форму. Мінерали у складі сфери формують зернистий агрегат. Рідше куля складається з монокристала (рис. 4). За таких умов утворюються також щільні й порожнисті скляні кулі.

Внутрішня будова куль однорідна, зональна, радіально-промениста. Зональні частки мають полімінеральний склад. Кількість зон невелика (дві–три) і відповідає кількості мінеральних фаз у складі агрегату. Деякі з них утворилися внаслідок наростання рудних мінералів на поверхні частково розчинених зерен периклазу, шпінелі й інших тугоплавких мінералів (рис. 5), які потрапляють у рідкий шлак після руйнування жаростійкого футерування металургійних печей [3]. Округла форма реліктових виділень, можливо, утворилася внаслідок розчинення, яке виявляється, насамперед, на вершинах, ребрах і кутастих виступах індивідів [4]. Інші кулясті частки є наслідком послідовної кристалізації з розплаву (від периферії до центра): заліза, вюстити, фериту кальцію (рис. 6).

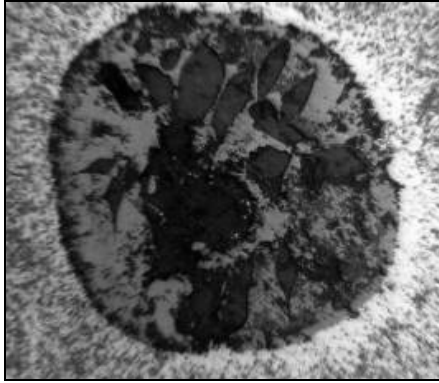


Рис. 3. Кулясте включення фаяліту (темно-сіре) і вюститу (сіре) в зерні металу. Шлак мартенівського цеху. Полірований шліф. $\times 460$.

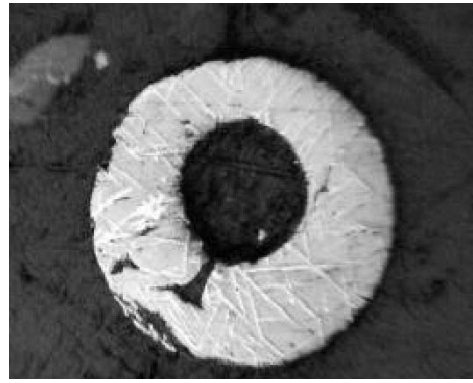


Рис. 4. Мартитизований магнетит з газовою порожниною в центральній частині кулястого зерна. Шлак мартенівського цеху. Полірований шліф. $\times 160$.

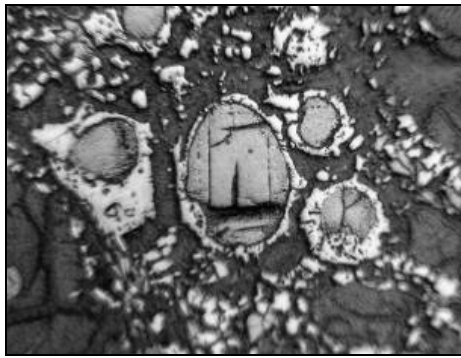


Рис. 5. Наростання магнетиту (ясно-сіре) на поверхні частково розчинених зерен периклазу (сіре) у силікатній масі (темно-сіре) шлаку. Полірований шліф. $\times 90$.

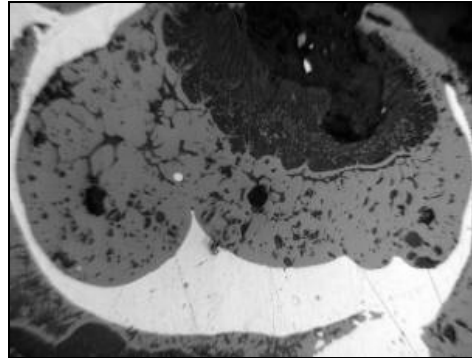


Рис. 6. Зональна куляста частинка шлаку, яка складена з металу (біле), вюститу (сіре), скла з дендритами фериту кальцію (темно-сіре); чорне – газові порожнини. Полірований шліф. $\times 160$.

Сфероліти характерні для графіту, який кристалізується в газовому потоці доменних і мартенівських печей. Центрами росту слугують активні точки на вершинах голчастих індивідів силікату, частки металевого заліза й інших мінералів. У разі охолодження крапель рідкого шлаку зародки дендритних кристалів виникають на їхній поверхні і ростуть у напрямі до центра, утворюючи сферолітоподібні агрегати. За гіпергенних умов шламсховищ ростуть радіально-променисті агрегати тичкуватих кристалів гетиту, гіпсу, карбонатів [2]. Вони свідчать про наявність постседиментаційних діагенетичних перетворень техногенно-осадового покладу, завдяки яким змінюється первинний гранулометричний і мінеральний склад металургійних шламів, а також їхні технологічні властивості.

Унаслідок різноманітних технологічних і природних процесів кулясті мінеральні утворення розплавляються, перекристалізуються, розтріскуються й подрібнюються до повної дезінтеграції та знищення. У разі спікання залізорудного агломера-

ту під впливом температури й водяної пари кулясті зерна шламового магнетиту поступово перетворюються в ідіоморфні кристали, які зберігають головні особливості округлих часток (розмір, зональність, включення тощо).

Розтріскування й подрібнення зерен техногенного походження, особливо зональних і пустотілих, виникає під час транспортування й перевантаження шлаків, пилу і шлаків. Уламки їх простежуються в усіх різновидах відходів металургійного виробництва.

Наявність округлих зерен позначається на якісних характеристиках і технологічних властивостях вторинної залізорудної сировини, яка підлягає збагаченню та обгрудкуванню. Глиняні котуни, сфероліти і конкреції гетиту й карбонатів суттєво змінюють первинний гранулометричний склад шламу. Куляста форма зерен мінімізує площу контакту рудних і нерудних мінералів, полегшує вилучення металевих виділень із шлаків. З іншого боку, значно погіршується процес обгрудкування сировини внаслідок низької здатності куль до формування гранул агломераційної шихти перед спіканням агломерату.

Щільні й пористі рудні частки суттєво відрізняються за густиною. Це приводить до втрати рудних зерен з великою кількістю газових порожнин у хвостах гравітаційного збагачення шламу. Кулі нерудних мінералів і скла, покриті кіркою заліза та його оксидів, навпаки, набувають магнітних властивостей і підвищеної густини. Внаслідок цього в разі збагачення вони потрапляють до рудного концентрату. На поверхні округлих часток утворюються тонкі плівки розчинних у шламовій воді мінералів. Збагаченість їх сіркою, лугами та іншими шкідливими елементами негативно впливає на якість вторинної залізорудної сировини.

Негативний вплив зазначених особливостей складу, морфології і внутрішньої будови можна зменшити шляхом додаткового подрібнення й руйнування округлих мінеральних зерен, незважаючи на значну дисперсність частини металургійних продуктів.

Отже, мінеральні частки кулястої форми наявні в різних продуктах металургійного виробництва. Вони кристалізуються у широкому температурному діапазоні за умов рідкого силікатного й металевого розплаву, у газовому потоці, у шламонакопичувачах і відвалах металургійних шлаків. У складі часток виявлено багато мінералів у вигляді індивідів і різноманітних агрегатів складної внутрішньої будови. Особливості утворення, росту та зміни округлих індивідів і агрегатів кулястої форми треба враховувати в разі розробки технологічної схеми переробки і збагачення вторинної залізорудної сировини.

-
1. Вегман Е.Ф. Процесс агломерации. М., 1963.
 2. Иванченко В.В., Шеремет В.А., Кекух А.В. и др. Минеральные разновидности зерен в шламах металлургических предприятий (на примере КГТМК “Криворіжсталь”) // Теория и практика металлургии. 2004. № 3–4. С. 39–44.
 3. Литвинова Т.И., Пирожкова В.П., Петров А.К. Петрография неметаллических включений. М., 1972.
 4. Павлишин В.І., Матковський О.І., Довгий С.О. Генезис мінералів. К., 2003.

**ONTOGENESIS OF TECHNOGENE SPHERICAL GRAINS
AND AGGREGATES****T. Nesterenko, V. Ivanchenko, S. Tyryshkina**

*Kryvyi Rih Technical University
Pushkina St. 44, UA – 50002 Kryvyi Rih, Ukraine
E-mail: evtekhov@mail.ru*

Spherical mineral grains and aggregates in products of metallurgical industry and their influence on technological properties and concentration of second metallurgical raw material are characterized.

Key words: metallurgical wastes, technogene mineral formation, spherical mineral grains, iron, wüstite, magnetite, graphite, calcioferrite, glass, Kryvyj Rih region.

Стаття надійшла до редколегії 18.05.2007
Прийнята до друку 26.06.2007