

Л.В. Камкіна, Я.В. Мянoвська, Ю.С. Пройдак, А.П. Мішалкін

ОЦІНКА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ШУНГІТОВОЇ ПОРОДИ ПРИ ОДЕРЖАННІ МАРГАНЦЕВОГО АГЛОМЕРАТУ

Анотація. Промисловий досвід виробництва марганцевого агломерату показує, що відомі технологічні пропозиції не забезпечують зростання продуктивності агломашин та необхідних властивостей міцності офлюсованого марганцевого агломерату. Відомі способи спікання офлюсованого марганцевого агломерату, що відрізняється підвищеною механічною міцністю та високою вологостійкістю. Недоліком цих заходів є значне ускладнення технологічної лінії агловиробництва та збільшення енергетичних витрат. У зв'язку з цим одним із головних напрямів є розробка складів шихт та параметрів процесу агломерації марганцевої сировини. Мета дослідження – аналіз фізико-хімічних процесів, експериментальні дослідження та розробка інноваційних технологічних рішень та рекомендацій щодо залучення у металургійне виробництво шунгітової породи для розширення сировинної бази гірничо-металургійного комплексу. Виконано розрахунки термодинамічної рівноваги оксидних систем, адекватних агломераційним, проведено дослідження хімічного складу фазових складових мікроструктур марганцевого агломерату. Встановлено раціональний вміст шунгіту в аглошихті, який забезпечує одержання агломерату із заданими характеристиками (міцністю, виходом придатного, вмістом марганцю) становить 12...13% від маси вихідної шихти. Подальше підвищення його частки в аглошихті призводить до зниження міцності та виходу придатного спеку. Збільшення ступеня дисперсності шунгіту до 0-2мм дозволяє збільшити рівень використання вуглецю шунгіту як паливо без збільшення на процес кількості традиційного палива – коксу.

Ключові слова: марганцевий агломерат, міцність, шунгітова порода, кількість компонентів шихти, вуглець шунгіту.

Постановка задачі дослідження

У загальній структурі марганцевих феросплавів, що виплавляються на вітчизняних та зарубіжних заводах, найбільш великотоннажним є феросилікомарганець (ДСТУ 3548-97). Як комплексний розкислювач та

легуючий феросплав феросилікомарганець широко застосовується при виплавці сталі в кисневих конвертерах, дугових електропечах, у тому числі і дугової електропечі на заводі «ІНТЕРПАЙП СТАЛЬ», продуктивністю 1 млн. 300 тис. т трубної та колісної електросталі. Потреба світової сталеплавильної промисловості у феросилікомарганці зростає практично пропорційно зростанню виплавки сталі. Відповідно до прогнозів виробництво сталі в 2030 р. становитиме 1 млрд. 776 млн. т, у тому числі в Китаї 655, Північній Америці 470, Європейському Союзу 282, Південній Америці 120, Росії, інших країнах 164 млн. т. Так що, незважаючи на економічні кризи, періодичні спади та підйоми, обсяг виплавки сталі до 2030 р. зросте, що вимагатиме певного збільшення та виробництва марганцевих феросплавів і, насамперед, феросилікомарганцю.

Враховуючи вичерпність ресурсів, зростання цін на ресурси та збільшення чисельності населення, постає питання про темпи зростання виробництва, розвиток знань, технологій, які значною мірою визначаються раціональним та ефективним використанням мінеральних руд, необхідністю реалізації програми їх ресурсозбереження та пошуку нових видів матеріалів для використання у виробництві продукції, у тому числі продукції металургійних підприємств [1-3].

Так, для отримання якісної сталі обов'язково використовують феросплави. Традиційна технологія виплавки силікомарганцю передбачає застосування різних компонентів, які задаються в електроплавильний агрегат та необхідні для проведення рудовідновлювальної плавки з отриманням готового продукту та супутнього шлаку. Основними компонентами є вуглецевий відновник, кварцит і сировина (концентрати) різного виду, що містить марганець, а також всілякі супутні добавки в малих кількостях для підвищення техніко-економічних показників. Перед рудовідновлювальним плавленням дрібнодисперсні концентрати, що містять марганець, піддають укрупненню шляхом брикетування або окускування методом агломерації. Цей спосіб підвищує ступінь наскрізного вилучення марганцю, а також дозволяє використовувати всілякі техногенні марганецьвмісні відходи - шлаковий пісок, шлами, високодисперсний пил газоочищення марганцевих феросплавних печей та ін. Шихта для виплавки силікомарганцю містить компоненти при наступному співвідношенні: агломерат марганець містить 63-70%, кварцит до

10-12%, вуглецевий відновник до 15-17%. При цьому у виробництві силікомарганцю застосовується марганцевий агломерат, виготовлений з шихти, що складається з матеріалів, що містять марганце, вапняку і аглопалива, яка у своєму складі містить, % мас.: аглопаливо у вигляді коксика – 7,0...10,0; вапняк – 6...7, інше – марганцеве сировину, кількість якого залежить від виду марганцевої сировини (руда оксидна, карбонатна або це хвости збагачення або шлами газоочищення) і запланованих металургійних характеристик одержуваного агломерату. Підвищення вилучення марганцю та кремнію, а також зниження питомої витрати електроенергії пов'язане з інтенсифікацією процесу відновлення кремнію та марганцю в металевий розплав. Це вимагає пошуку компонентів агломераційної шихти, присутність яких в агломераті, що містить марганець, забезпечить підвищення швидкості відновлювального процесу.

Аналіз останніх публікацій

Найбільш відомим освоєним промисловим способом окускування вітчизняної марганцеворудної сировини, що має розвиток в останнє десятиліття, є агломерація [4-7]. Використання марганцевого агломерату в шихті електропечей вивчалось багатьма авторами [8-11] та має економічну доцільність. Збільшення міцності агломерату є однією з важливих його властивостей. Зміна останніми роками хімічного, мінералогічного та гранулометричного складу марганцевих концентратів призвела до зниження якості агломерату та показників його виробництва. Досвід виробництва марганцевих феросплавів у потужних закритих або герметичних електропечах свідчить, що підвищення кількості дрібних фракцій (<5 мм) у шихтових матеріалах призводить до порушення стабільності режиму плавки, підвищення питомих витрат сировини та електроенергії. Кількість дрібниці в шихті значною мірою визначається характеристиками міцності агломерату. Промисловий досвід виробництва марганцевого агломерату [12-14] показує, що відомі технологічні пропозиції не забезпечують зростання продуктивності агломашин та необхідних властивостей міцності офлюсованого марганцевого агломерату. Підвищення основності в агломераті шляхом добавки до нього оксидів кальцію в процесі спікання до величини, що перевищує відношення $(\text{CaO}+\text{MgO})/\text{SiO}_2$ більш ніж 1,1, призводить до різкого погіршення механічної міцності готового агломерату. Це відбувається внаслідок зниження

вологостійкості матеріалу за рахунок залишків у ньому неофлюсованого вапна, а також неміцних, саморуйнівних при кімнатній температурі двох- та трикальцієвих силікатів, що утворюються в процесі термообробки після термічної дисоціації карбонатів кальцію, карбонатів та силікатів марганцю. Такий матеріал малопридатний для використання в технології прямого легування марганцем або при виплавці феросплавів. Відома шихта для виробництва даних офлюсованих марганцевих агломератів, що містить концентрат марганцевої руди, вапняк, повернення і вуглецевмісне паливо у вигляді коксика [15].

Відомі способи спікання офлюсованого марганцевого агломерату, що відрізняється підвищеною механічною міцністю та високою вологостійкістю. Особливістю технології є використання в аглошихті обпаленого при 1600-1800°C доломіту та використання обпаленого доломіту при виробництві офлюсованого марганцевого агломерату [7]. Недоліком цих заходів є значне ускладнення технологічної лінії агловиробництва та збільшення енергетичних витрат. Крім того, необхідно вводити до складу аглошихти високоякісний концентрат марганцевий з вмістом кремнезему менше 10%. Спікання марганцевого офлюсованого агломерату має особливості. Аналіз діаграм стану систем $\text{CaO-Fe}_2\text{O}_3$ та $\text{CaO-Mn}_2\text{O}_3$ показує, що при спіканні марганцевого агломерату однотипні реакції протікають за більш високих температур (на 150-200°C). Проте досягнення високих температур який завжди вирішує завдання отримання міцного вологостійкого агломерату, оскільки CaO в повному обсязі асимілюється розплавами оксидів марганцю і SiO_2 . Однією з причин цього є утворення на частинках CaO силікатів кальцію (2CaO SiO_2 , 3CaO SiO_2), що сильно гальмують процеси масообміну. У разі спікання залізорудного офлюсованого агломерату ці шари розриваються оксидами заліза, тоді як оксиди марганцю при температурах агломерації властивості порушення суцільності орто- та трисилікату кальцію виявляють слабо.

В даний час у різних сферах та галузях промисловості зарубіжних країн досить широко використовуються шунгіти - природна комплексна мінеральна сировина. Шунгіти застосовуються як: відновники у високотемпературних металургійних та хімічних процесах; комплексної сировини - замітника коксу та кварциту при електротермічному виробництві феросплавів та синтетичного чавуну, виробництві фосфору та кольорових металів; каталізатора при

гідрометалургійних способах переробки важкозбагачуваних руд; природного очищувача та мінералізатора біоактивних природних вод, вод господарського та питного призначення.

При виплавці висококремнистих чавунів [16] в шихту включають шматковий шунгіт крупністю не більше 100 мм, змішуючи його при завантаженні в доменну піч із залізорудними матеріалами і завантажуючи його в кільцеву зону колошника, обмежену радіусами 0,98-0,4 радіусу колошника. Наявність у шихті шунгіту, що містить дрібнодисперсні вуглець і кремнезем у співвідношенні, близькому до стехіометричного для реакції відновлення кремнію вуглецем з кремнезему, сприяє першочерговому відновленню кремнію з цього матеріалу. Завантаження шунгіту в суміші із залізорудними матеріалами полегшує відновлення кремнію завдяки можливості утворення силіцидів заліза при контактах свіжовідновленого губчастого заліза із залізорудних матеріалів із шунгітом у зоні відновлення. В якості твердої вуглецевмісної добавки використовують кусковий шунгіт з вмістом вуглецю 20-36%, змішуючи його при завантаженні в піч з коксом і завантажуючи в кільцеву зону колошника, розташовану в межах, обмежених радіусами 0,1 і 0,95 радіуса колошника, причому кількість шунгіта, що завантажуються, підтримують в межах 0,5-15% від сумарної маси вуглецю коксу та паливної добавки. Рішення даної технічної задачі досягається також тим, що кількість шунгіта, що завантажуються, переважно підтримують в межах 3-7% від сумарної маси вуглецю завантажуваного в піч коксу і паливної добавки.

Межа вмісту вуглецю в шунгіті (20-36%) обумовлені мінімально прийнятним за економічними критеріями значенням коефіцієнта заміни коксу шунгітом (20%) і граничним вмістом вуглецю (36%) у родовищі шунгіту, що розробляється (єдиному у світі). При використанні шунгіту із вмістом вуглецю менше 20% застосування його стає економічно недоцільним через підвищення собівартості чавуну у зв'язку зі зниженням коефіцієнта заміни коксу шунгітом до рівня 0,25-0,3 кг коксу/кг шунгіту. При такому коефіцієнті заміни застосування шунгіту стає невигідним, оскільки ціна його видобутку та транспортування до споживача, включаючи ПДВ, становить не менше ніж 30% від собівартості коксу. Крім того, застосування шунгіту із вмістом вуглецю менше 20% збільшує вихід шлаку, що призводить до ще більшого зниження коефіцієнта заміни коксу шунгітом.

При виплавці передільного чавуну речовина шунгіту в результаті хімічних реакцій утворює сильні відновники (кремній та карбід кремнію) по відношенню до закису заліза [17], що приводить до інтенсифікації процесу відновлення кремнію та покращення техніко-економічних показників доменної печі. Кремнійвмісна добавка містить вуглецевий матеріал, причому відношення вуглецю до кремнезему в добавці становить 0,5-2,5, що забезпечує одержання в чавуні необхідного вмісту кремнію при витратах коксу на рівні, характерному для виплавки чавуну. При введенні в шихту доменної плавки кремнійвмісної добавки у вигляді суміші кремнезему та вуглецевого матеріалу (брикети, котуни, шматки) та при нагріванні до 1300-1400⁰С (зона шахти) відбувається відновлення кремнію кремнезему до карбиду. Реакція утворення карбиду кремнію інтенсифікується зі зростанням температури. Таким чином, введення суміші кремнезему з вуглецем забезпечує термодинамічно сприятливіші умови відновлення кремнію за рахунок утворення карбиду кремнію та його подальшого руйнування залізом (чавуном). Для отримання стандартних за вмістом кремнію марок ливарного чавуну та сплавів кремнію із залізом співвідношення вуглецю та кремнезему в суміші повинно становити 0,5-2,5.

Мета дослідження – металургійна технологія застосування шунгітової породи як заміник частини вуглецю коксиду у складі шихти для агломерації при отриманні марганцевого агломерату.

Виклад основного матеріалу

Фізико-хімічні властивості шунгіту досить добре вивчені [18, 19]. Щільність шунгіту становить 2,1...2,4 г/см³; пористість – до 5%; міцність на стиск - 100 ... 120 МПа; коефіцієнт електропровідності – 1500 см/м; коефіцієнт теплопровідності – 3,8 Вт/м·К, адсорбційна ємність до 20 м²/г. Вміст вуглецю в пробах шунгіту коливається від 10% мас. до 50%, а кремнезему змінюється не більше 5-75% . У більшості проб вміст вуглецю становить 25-30%, а кремнезему 45-55%.

Властивості шунгіту визначаються наноструктурою і складом елементів, що його утворюють. Шунгітовий вуглець рівномірно розподілений у силікатному каркасі з дрібнодисперсних кристалів кварцу, розмірами 1–10 мкм, що підтверджено дослідженнями ультратонких шліфів шунгіту методом просвічуючої (трансмісійної) електронної мікроскопії (ПЕМ) та растрової електронної мікроскопії.

**Методика, обладнання та умови
проведення лабораторних досліджень**

Дослідження проводились у лабораторії каф. ТОМП на періодично діючої агломераційної установки. Основне обладнання лабораторії - агломераційна установка складається з агломераційної чаші, невеликого пиловловлювача та екстаустера з електродвигуном потужністю 2кВт.

Також у роботі використовували набір сит для визначення фракційного складу компонентів вихідної аглошихти та отриманого агломерату, установки для випробування агломерату на міцність та ін. Площа перетину аглочаші становила 0,005 м². Для виміру температури в зоні спікання та постійного контролю температури газів, що відходять, використані термопари з гальванометром, відповідно ВР20/5 і ХА. Для контролю розрядження під колосниковими ґратами аглоустановка обладнана V-подібним рідинним вакуумметром та іншим обладнанням.

По закінченні процесу спікання агломерат розвантажується на залізний лист, розбивається ломиком на кілька шматків, або, за аналогією з розвантажувальним кінцем машини, скидається з висоти 1 м на чавунну плиту, зважується і записується в журнал. Після цього робиться ситовий аналіз агломерату з визначенням виходу: шматкового придатного агломерату крупністю більше 25 мм, ліжка крупністю 25...12 або 25...10 мм і повернення крупністю 12...0 або 10...0 мм.

Як параметри для порівняння результатів дослідних спікань були прийняті: гранулометричний склад обкомкованого матеріалу, газодинамічні характеристики вихідного шару, технологічні характеристики процесу спікання і якість готового агломерату.

Одержуваний в лабораторії дослідний агломерат піддається всебічним дослідженням його якостей: гранулометричного складу, міцності, пористості, відновлюваності та хіміко-мінералогічного складу. Перед проведенням спікання підготовленої аглошихти проводяться хімічні та ситові аналізи вихідних компонентів аглошихти.

Термодинамічний аналіз системи аналогічний до складу марганцевих агломератів. Для визначення оптимальних параметрів процесу випалювання продуктів збагачення марганцевої руди (температури, кількості відновника, складу газової фази) виконали термодинамічний аналіз

системи Mn-P-Si-Fe-Ca-K-Na-H-C-O-N при використанні як відновник вуглецю. Розрахунок рівноважного складу зазначеної системи робили з використанням комп'ютерної програми HSC Chemistry 5.11, вихідне газове середовище – повітря при тиску 0,1 МПа в інтервалі температур 400-1400K.

В результаті термодинамічних розрахунків було встановлено, що за відсутності відновника в газовій фазі присутні тільки кисень, азот і пари води, а конденсована фаза представлена такими сполуками, що містять марганець, як MnO_2 , Mn_2O_3 і Mn_3O_4 . Додавання відновника вносить зміни до рівноважного складу як газової, так і конденсованих фаз системи. Введення у шихту недостатньої кількості відновника призводить лише до часткового відновлення діоксиду марганцю з утворенням Mn_2O_3 . При подальшому збільшенні кількості вуглецю, що додається, в конденсованій фазі поряд з Mn_2O_3 з'являється гаусманіт (Mn_3O_4), максимальна кількість якого спостерігається при додаванні 9,5% вуглецевого відновника. Подальше підвищення вмісту вуглецю в шихті призводить до утворення MnO у конденсованій фазі. Максимальний рівень відновлення досягається при додаванні відновника в кількості 12 – 15%.

При оптимальній концентрації відновника в шихті вивчався вплив температури на рівень відновлення марганцевсодержащих сполук. Термодинамічні розрахунки показали, що при низьких температурах поряд з частково відновленим Mn_3O_4 є також оксид MnO . Рівноважний склад марганцевсодержащих продуктів різко змінюється у разі підвищення температури. При температурі 800-900K відновлювальний процес суттєво активізується. У конденсованій фазі при цьому залишається лише незначна кількість Mn_3O_4 , основна частина марганцевсодержащих сполук представлена цільовим продуктом MnO .

На основі досліджень металургійних характеристик різної марганцевої сировини, а також шихт для виплавки марганцевих феросплавів слід, що вони легкоплавки та температури їх плавлення (1000-1200°C) істотно нижче температури початку відновлення марганцю (1310°C). Отже, процеси шлакообразования технології сплавів марганцю значно випереджають за часом процеси відновлення заліза, марганцю і кремнію. У більшості випадків процеси виплавки сплавів марганцю за валовим речовинним складом їх шихт можна розглядати як процес відновлення заліза, марганцю та кремнію з оксидних розплавів системи $\text{FeO-MnO-CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$. Елементи з розплавів

зазначеної складної системи відповідно до термодинамічної міцності їх оксидів відновлюються в наступному порядку: залізо, марганець, кремній, алюміній та кальцій. У рудотермічних процесах виплавка феросплавів залізо починає відновлюватися у верхніх горизонтах печі ще до розплавлення шихтових матеріалів. Відновлення ж марганцю і кремнію здійснюється з оксидів вже за розплавлення шихти. Загалом при відновленні складного за складом оксидної сировини за його розплавленням слід орієнтуватися на нормативний фазовий склад відносно рідких розплавів – на речовинний склад, обумовлений сполуками, стабільними при високих температурах.

Досліни спікання агломерату з додаванням шунгіту провели у лабораторних умовах. Хімічний аналіз проб дослідного шунгіту, мас.

C	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	S	H ₂ O
28	57	0.2	4.3	2.8	1.2	0.3	0.2	1.5	1.5	3.0

Спікання марганцевого агломерату АМНВ-2 у лабораторних умовах виконали із застосуванням шихтових складових, прийнятих на НЗФ під час виробництва АМНВ-2.

Моделювали вплив заміни вуглецю коксу на вуглець, що міститься в шунгіті в наступних співвідношеннях: % вуглецю коксу/% вуглецю шунгіту: 20/80; 30/70; 40/60; 50/50; 60/40; 80/20. Спікання проводили в лабораторних умовах з контролем температури газів, що відходять і розрядження газів агломераційного процесу. Визначали міцність дослідного агломерату та продуктивність агломераційної установки.

№ опыта	Співвідношення, %, вуглець коксу/вуглець шунгіту	SiO ₂	Mn	Fe	C	SiC
1	20/80	31,4	37,9	2,9	1,31	0,86
2	30/70	30,73	38,1	2,89	1,12	0,82
3	40/60	28,96	38,42	2,87	0,96	0,781
4	50/50	28,98	38,56	2,93	0,82	0,76
5	60/40	28,86	38,42	2,92	0,57	0,74
6	80/20	25,86	39,3	2,99	0,49	0,72

Міцність агломерату визначали за стандартною методикою: скидання з висоти 2 м на сталеву плиту і кількість фракції, що утворилася (5-0) мм у %.

У таблиці представлені результати визначень:

№ дослідного агломерату	1	2	3	4	5	6
Міцність, % (кількість фракції 5-0 мм)	9,1	8,6	7,4	6,8	7,2	7,6

Питома продуктивність спікання на лабораторній установці склала близько 0,8 т/(м²·год).

Таким чином, при додаванні у вихідний склад шихти для отримання марганцевого агломерату 11,5% шунгіту, що відповідає заміні 50% вуглецю коксу вуглецем шунгіту, забезпечуються умови отримання заданого складу агломерату достатньої міцності та питомої продуктивності.

Проведенням базового спікання визначили мінімальну кількість палива (коксіка), необхідного для отримання достатньої кількості рідкої оксидної фази для забезпечення необхідної міцності аглоспеку при внесенні ззовні із шунгітом мінімальної кількості кремнезему. В результаті проведення базового спікання отримано такі результати:

	Вміст вуглецю:					Степень використання вуглеця шунгіту	Відношення $C_{ш}/C_{к}$	$\Sigma_{C(ш+к)}$ гр
№ опыта	в шунгіті		В придатному агломераті		У сухому агломераті			
	гр	%	гр	%	%			
1	10,8	30,0	3,05	0,50	2,39	73,30	0,1	119
2	21,6	30,0	3,10	0,57	4,71	85,65	0,27	102,6
3	27,0	30,0	4,61	0,96	5,77	82,93	0,4	94,5
4	60,0	30,0	2,65	0,42	12,1	95,58	1,0	120

Подальше збільшення маси шунгіту ($MC_{ш}$) того ж фракційного складу (1-3мм), що вводиться у вихідну аглошихту, яке характеризується збільшенням параметра $C_{ш}/C_{к} > 1,0$ призвело до зниження ступеня використання вуглецю шунгіту як паливо. При $C_{ш}/C_{к} = 1,3$ це зниження становило 9%, при $C_{ш}/C_{к} = 1,6$ – 12%. При повній заміні вуглецю коксу аглоспек характеризується практичною відсутністю рідкої оксидної фази, яка скріплює структуру агломерату, що пов'язано з порушенням теплового балансу в зоні спікання. Додаткова кількість теплоти від окислення вуглецю коксу та частини шунгіту було використано на нагрівання кремнезему шунгіту, що призвело до очікуваного зниження температури в зоні спікання та зниження тієї частини теплової енергії, яка використовується на утворення рідкої оксидної фази відповідної кількості. Зниження температури сповільнило і дифузійний

перехід вуглецю до поверхні шматочків шунгіту, що є реакційною зоною взаємодії кисню повітря та вуглецю шунгіту. До того ж шунгіт має досить високу температуру розм'якшення. Ці чинники і стали причиною зниження коефіцієнта використання вуглецю шунгіта як палива зі збільшенням частки шунгіту в аглошихті понад 12%.

Висновки

Отримані результати підтверджують, що при залученні у вихідну шихту шунгіта основним фактором, що впливає на міцність спеку, є кількість вуглецю коксу. Як параметр, що визначає доцільність використання шунгіту та його раціональну кількість в аглошихті, можна використовувати відношення: $C_{\text{ш}}/C_{\text{к}} \leq 1,0 \div 1,2$.

Можливо використовувати відношення маси шунгіту до загальної маси вихідного аглоспеку (з шунгітом та коксиком), яке має вигляд: $M_{\text{ш}}/M_{\text{вихідн.аглошихт}} \leq 0,12$. У цьому випадку шихта повинна містити не більше 12% шунгіту. Вуглець шунгіту є вторинним фактором, вплив якого на міцність мінімальний. Його роль, мабуть, зводиться до отримання теплової енергії, необхідної для розігріву кварцу шунгіта до необхідних температур спікання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Resource saving in manganese ferroalloy production using low-grade manganese ore concentrates / Proydak Yu.S., Mianovskaya Ya.V. // Energy efficiency and environmental friendliness are the future of the global Ferroalloy industry: Proceedings of the Fourteenth International Ferroalloys Congress INFACON XIV. May 31–June 4, 2015, Kiev, Ukraine. – P. 27-31.
2. Состояние и перспективы развития ферросплавной промышленности. Грищенко С.Г., Куцин В.С., Кравченко П.А., Солошенко В.С., Кудрявцев С.Л., Власюк Е.А. // Экология и промышленность. - №3. - 2013. - С. 4-9.
3. Рециклінг вторинних матеріалів видобутку та виробництва марганцевих феросплавів. Мянговська Я.В., Пройдак Ю.С., Камкіна Л.В., Анкудінов Р.В. «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування». Матеріали Четвертої міжнародної науково-практичної конференції: у 2 т. 6-10 листопада 2017 р., м. Трускавець. - К.: ДКЗ, 2017. - Т.2. - С. 307-313.
4. Ю.С.Пройдак, Я.В.Мяновская, В.Ю.Камкин, А.В.Бабенко. Комплексный подход к использованию мелкозернистого марганцевого концентрата в процессах производства марганцевых сплавов. Politechnika częstochowska. Wydział inżynierii produkcji i technologii materiałowych. Inżynieria procesów produkcji. Wybrane aspekty. Praca zbiorowa. Redakcja naukowa Artur Hutny, Marek Warzecha. Seria: Monografie. № 65. Częstochowa 2016, pp. 60-65.
5. Металургія марганцю України. Б.Ф. Величко, В.О. Гаврилов, М.І. Гасик та інш.; Під загальною та наук. Ред. акад. НАН України М.І. Гасика. К.: Техніка, 1996. - 472 с.
6. Manganese Ore Thermal Treatment Prior to Smelting. Yakov Gordon, Johannes Nell, Yuri Yaroshenko. TIM'2018. DOI: 10.18502/keg.v3i5.2656.
7. Теория и технология электрометаллургии ферросплавов. / Гасик М.И., Лякишев Н.П. // СП Интермет Инжиниринг, 1999. - 764 с.

8. Manganese Ore Thermal Treatment Prior to Smelting. Yakov Gordon, Johannes Nell, Yury Yaroshenko. TIM'2018. DOI: 10.18502/keg.v3i5.2656.
9. Теория и технология электрометаллургии ферросплавов. / Гасик М.И., Лякишев Н.П. // СП Интермет Инжиниринг, 1999. - 764 с.
10. Оптимизация технологических параметров агломерации /А.Г.Ященко, С.Г.Грищенко, Е.М.Мангатов, В.М.Сиваченко, И.Г.Кучер, А.А.Чайченко // Сб. АН СССР. “Теория и практика металлургии марганца”. - М.: Наука, 1990. – С. 135-140.
11. Освоение технологии производства агломерата с уплотнением аглоспека. / В.М. Сиваченко, А.Г. Ященко, В.Я. Щедровицкий, Н.Д. Черняев, В.П. Маляренко // Сталь. – 1990. - № 11. – С.45-47.
12. Оптимизация технологических параметров агломерации /А.Г.Ященко, С.Г.Грищенко, Е.М.Мангатов, В.М.Сиваченко, И.Г.Кучер, А.А.Чайченко // Сб. АН СССР. “Теория и практика металлургии марганца”. - М.: Наука, 1990. – С. 135-140.
13. Освоение технологии производства агломерата с уплотнением аглоспека. / В.М. Сиваченко, А.Г. Ященко, В.Я. Щедровицкий, Н.Д. Черняев, В.П. Маляренко // Сталь. – 1990. - № 11. – С.45-47.
14. Проїдак Ю.С., Стовба Я.В., Камкіна Л.В., Гогенко О.А., Гечу К.Н. Выбор рационального состава шихты и способа подготовки с целью повышения использования в металлургическом переделе при получении марганцевых сплавов низкосортного концентрата. // Series: Monografie. -№ 40. “New technologies and achievements in metallurgy, material engineering and production engineering”. Czestohowa, 2014. - С. 98-104.
15. Миллер В.Я., Утков В.А. Результаты лабораторных и полупромышленных опытов по агломерации концентрата карбонатных марганцевых руд Полуночного месторождения. Труды института металлургии. 1961. вып.7. С.69-78.
16. МПК C21B5/02(1995-01-01). Заявка 98107543/02, 1998-04-21. Туктамышев И.Ш., Некрасов Г.Е., Рубин З.Е., Брусенко С.В., Титов В.И., Шепилов С.В., Курунов И.Ф., Калинин Ю.К., Туктамышев И.И., Бродский М.Л. Способ выплавки высококремнистого чугуна.
17. RU2 186 855C1. МПК C21B5/00(2000-01-01). Заявка 2001110948/02. Курунов И.Ф., Мизин В.Г., Зарапин А.Ю., Чернов П.П., Кукарцев В.М., Захаров Д.В., Яриков И.С., Туктамышев И.Ш., Калинин Ю.К., Емельянов В.Л. Способ выплавки пердедельного чугуна.
18. Парфенева Л.С., Волконская Т.И., Тихонов В.В. Теплопроводность, теплоемкость и термоэдр шунгитового углерода // Физика твердого тела. 1994. Т. 36. № 4. С. 1150–1153.
19. Ignatov I., Mosin O.V. The structure and composition of natural carbonaceous fullerene containing mineral shungite // International Journal of Advanced Scientific and Technical Research. 2013. V. 6. № 11–12. P. 9–21.

REFERENCES

1. Resource saving in manganese ferroalloy production using low-grade manganese ore concentrates / Proydak Yu.S., Mianovskaya Ya.V. // Energy efficiency and environmental friendliness are the future of the global Ferroalloy industry: Proceedings of the Fourteenth International Ferroalloys Congress INFACON XIV. May 31–June 4, 2015, Kiev, Ukraine. – P. 27-31.
2. Sostoyaniye i perspektivy razvitiya ferrosplavnoy promyshlennosti. Grishchenko S.G., Kutsin V.S., Kravchenko P.A., Soloshenko V.S., Kudryavtsev S.L., Vlasyuk E.A. // Ekologiya i promyshlennost. - №3. - 2013. - S. 4-9.
3. Retsyklinh vtorynnnykh materialiv vydobutku ta vyrobnytstva marhantsevykh ferosplaviv. Myanovs'ka YA.V., Proydak YU.S., Kamkina L.V., Ankudinov R.V. «Nadrokorystuvannya v Ukraini. Perspektyvy investuvannya». Materialy Chetvertoyi mizhnarodnoyi naukovopraktychnoyi konferentsiyi: u 2 t. 6-10 lystopada 2017 r., m. Truskavets'. - K.: DKZ, 2017. - T.2. - S. 307-313.
4. Yu.S.Proydak, Ya.V.Myanovskaya, V.Yu.Kamkin, A.V.Babenko. Kompleksnyy podkhod k ispol'zovaniyu melkozernistogo margantsevogo kontsentrata v protsessakh proizvodstva margantsevykh splavov. Politechnika czestochowska. Wydział inżynierii produkcji i technologii

- materiałów. Inżynieria procesów produkcji. Wybrane aspekty. Praca zbiorowa. Redakcja naukowa Artur Hutny, Marek Warzecha. Seria: Monografie. № 65. Częstochowa 2016, rr. 60-65.
5. Metalurhiya marhantsyu Ukrayiny. B.F. Velychko, V.O. Havrylov, M.I. Hasyk ta insh.; Pid zahal'noyu ta nauk. Red. akad. NAN Ukrayiny M.I. Hasyka. K.: Tekhnika, 1996. - 472 s.
 6. Manganese Ore Thermal Treatment Prior to Smelting. Yakov Gordon, Johannes Nell, Yury Yaroshenko. TIM'2018. DOI: 10.18502/keg.v3i5.2656.
 7. Teoriya i tekhnologiya elektrometallurgii ferrosplavov. / Gasik M.I., Lyakishev N.P. // SP Internet Inzhiniring, 1999. - 764 s.
 8. Manganese Ore Thermal Treatment Prior to Smelting. Yakov Gordon, Johannes Nell, Yury Yaroshenko. TIM'2018. DOI: 10.18502/keg.v3i5.2656.
 9. Teoriya i tekhnologiya elektrometallurgii ferrosplavov. / Gasik M.I., Lyakishev N.P. // SP Internet Inzhiniring, 1999. - 764 s.
 10. Optimizatsiya tekhnologicheskikh parametrov aglomeratsii /A.G.Yashchenko, S.G.Grishchenko, Ye.M.Mangatov, V.M.Sivachenko, I.G.Kucher, A.A.Chaychenko // Sb. AN SSSR. “Teoriya i praktika metallurgii margantsa”. - M.: Nauka, 1990. – S. 135-140.
 11. Osvoeniye tekhnologii proizvodstva aglomerata s uplotneniyem aglospeka. / V.M. Sivachenko, A.G. Yashchenko, V.YA. Shchedrovitskiy, N.D. Chernyayev, V.P. Malyarenko // Stal'. – 1990. - № 11. – S.45-47.
 12. Optimizatsiya tekhnologicheskikh parametrov aglomeratsii /A.G.Yashchenko, S.G.Grishchenko, Ye.M.Mangatov, V.M.Sivachenko, I.G.Kucher, A.A.Chaychenko // Sb. AN SSSR. “Teoriya i praktika metallurgii margantsa”. - M.: Nauka, 1990. – S. 135-140.
 13. Osvoeniye tekhnologii proizvodstva aglomerata s uplotneniyem aglospeka. / V.M. Sivachenko, A.G. Yashchenko, V.YA. Shchedrovitskiy, N.D. Chernyayev, V.P. Malyarenko // Stal'. – 1990. - № 11. – S.45-47.
 14. Proydak Yu.S., Stovba Ya.V., Kamkina L.V., Gogenko O.A., Gechu K.N. Vybor ratsional'nogo sostava shikhty i sposoba podgotovki s tsel'yu povysheniya ispol'zovaniya v metallurgicheskoy peredele pri poluchenii margantsevykh splavov niz'kosortnogo kontsentrata. // Series: Monografie. -№ 40. “New technologies and achievements in metallurgy, material engineering and production engineering”. Czestohowa, 2014. - C. 98-104.
 15. Miller V.Ya., Utkov V.A. Rezul'taty laboratornykh i polupromyshlennykh opytov po aglomeratsii kontsentrata karbonatnykh margantsevykh rud Polunochnogo mestorozhdeniya. Trudy instituta metallurgii. 1961. vyp.7. S.69-78.
 16. MPK C21B5/02(1995-01-01). ZAYAVKA 98107543/02, 1998-04-21. Tuktamyshev I.SH., Nekrasov G.Ye., Rubin Z.Ye., Brusenkov S.V., Titov V.I., Shepilov S.V., Kurunov I.F., Kalinin YU.K., Tuktamyshev I.I., Brodskiy M.L. Sposob vyplavki vysokokremnistogo chuguna.
 17. RU2 186 855C1. MPK C21B5/00(2000-01-01). Zayavka 2001110948/02. Kurunov I.F., Mizin V.G., Zarapin A.YU., Chernov P.P., Kukartsev V.M., Zakharov D.V., Yarikov I.S., Tuktamyshev I.SH., Kalinin YU.K., Yemel'yanov V.L. Sposob vyplavki peredel'nogo chuguna.
 18. Parfeneva L.S., Volkonskaya T.I., Tikhonov V.V. Teploprovodnost', teployemkost' i termoeds shungitovogo ugleroda // Fizika tverdogo tela. 1994. T. 36. № 4. S. 1150–1153.
 19. Ignatov I., Mosin O.V. The structure and composition of natural carbonaceous fullerene containing mineral shungite // International Journal of Advanced Scientific and Technical Research. 2013. V. 6. № 11–12. P. 9–21.

Received 10.01.2022.

Accepted 21.01.2022.

**ASSESSMENT OF USING SHUNGITE ROCK TECHNOLOGICAL FEASIBILITY
IN THE PRODUCTION OF MANGANESE AGGLOMERATE**

Industrial experience in the production of manganese sinter shows that the known technological proposals do not provide an increase in the productivity of sintering machines and the necessary strength properties of fluxed manganese sinter. Known methods of sintering fluxed manganese agglomerate, characterized by increased mechanical strength and high moisture resistance. The disadvantage of these measures is a significant complication of the technological line of sinter production and an increase in energy costs. In this regard, one of the main directions is the development of charge compositions and parameters of the sintering process of manganese raw materials. The purpose of the study is the analysis of physical and chemical processes, experimental research and the development of innovative technological solutions and recommendations for attracting shungite rock to the metallurgical production to expand the raw material base of the mining and metallurgical complex. Calculations of the thermodynamic equilibrium of oxide systems adequate to sinter systems have been performed, and the chemical composition of the phase components of manganese agglomerate microstructures has been studied. The rational content of shungite in the sinter charge has been established, which ensures the production of agglomerate with specified characteristics (strength, usable yield, manganese content) is 12...13% of the mass of the initial charge. A further increase in its particles in the sinter mixture leads to a decrease in strength and the release of suitable heat. Increasing the degree of dispersion of shungite to 0-2 mm allows increasing the level of use of shungite carbon as a fuel without increasing the amount of traditional fuel - coke - for the process.

Keywords: manganese agglomerate, strength, shungite rock, amount of charge components, shungite carbon.

Камкіна Людмила Володимирівна – доктор технічних наук, професор, декан факультету металургійних процесів та хімічних технологій, Інститут промислових та бізнес технологій, Український державний університет науки і технологій.

Мяновська Яна Валеріївна – доктор технічних наук, доцент, кафедра теоретичних основ металургійних процесів, Інститут промислових та бізнес технологій, Український державний університет науки і технологій.

Пройдак Юрій Сергійович – доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи, Інститут промислових та бізнес технологій, Український державний університет науки і технологій.

Мишалкін Анатолій Павлович – кандидат технічних наук, доцент, кафедра теоретичних основ металургійних процесів, Інститут промислових та бізнес технологій, Український державний університет науки і технологій.

Kamkina Lyudmila, doctor of technical sciences, professor, dean of the faculty of metallurgical processes and chemical technologies, Institute of industrial and business technologies, Ukrainian state university of science and technologies.

Mianovska Yana, doctor of technical sciences, assistant professor, department of theoretical foundations of metallurgical processes, Institute of industrial and business technologies, Ukrainian state university of science and technologies.

Projdak Yuri, doctor of technical sciences, professor, vice-rector for scientific work, Institute of industrial and business technologies, Ukrainian state university of science and technologies.

Mishalkin Anatoliy, candidate of technical science, assistant professor, department of theoretical foundations of metallurgical processes, Institute of industrial and business technologies, Ukrainian state university of science and technologies.