

МЕХАНІЧНЕ ПОДРІБНЕННЯ КОМПОНЕНТІВ СИЛІКОМАРГАНЦЕВОЇ ШИХТИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОСТІ

Анотація. У статті наведено результати досліджень огрудкування шихтових матеріалів для виплавки силікомарганцю при попередньому механічному активуванні при подрібненні в дезінтеграторі. Постановка дослідження пов’язана з необхідністю забезпечити ефективну роботу печей, що виплавляють феромарганець і силікомарганець, що досягається при використанні однорідної за розміром та складом сировини. Небажаними в шихті є тонкоподрібнені фракції, які знижують пористість шихти, що призводить до зростання енергоспоживання на тонну сплаву, підвищеного задимлення і запилення. Раціональним способом огрудкування дрібних матеріалів є брикетування. Обґрунтовано основні технологічні вимоги попередньої підготовки шляхом брикетування. Показано що використання у якості в’язучої речовини гідролізного лігніну забезпечує одержання міцних брикетів. Дослідженням кінетики сумісного вуглецевотермічного відновлення марганцю і кремнію при температурах 1250-1600°C з безперервним контролем втрати ваги наважкою шихти показано, що степінь відновлення брикетованої, механічно активованої шихти в 1,5 – 1,8 рази вище відновлювальності шихти з крупністю компонентів 3-0 мм і в 2-3 рази вище степені відновлення заводської шихти.

Ключові слова: силікомарганець, шихта, дисперсні матеріали, мехічне активування, кінетика відновлення вуглецем.

Вступ

Виробництво металопродукції потребує значної кількості матеріальних ресурсів. Необхідна сировина є дуже різноманітною і відрізняється не тільки фізичними і хімічними характеристиками, а також способом застосуванням у конкретному виробництві металопродукції. Витрати на сировинні матеріали займають приблизно 45–50% собівартості. В їх структурі найбільшу питому вагу мають рудні матеріали.

Досвід показує, що ефективна робота печей, що виробляють феромарганець і силікомарганець досягається при використанні однорідної за розміром та складом сировини. Сировина повинна мати достатню газопроникність по всьому об’ємі шихти. Небажаними в шихті є тонкоподрібнені фракції, які знижують пористість шихти, що призводить до зростання енергоспоживання на тонну сплаву, підвищеного задимлення і

запалення. У зв'язку з цим, у виробників перевагу мають шматки спеченої руди. Одержання гранул це більш складний процес у випадку з марганцевими рудами, ніж із залізними. Для виробництва міцних марганцеворудних гранул потрібна вища температура, що підвищує собівартість. Крім того, при нагріванні окатишів мають місце ендотермічні реакції дисоціації діоксиду марганцю (MnO_2) і окису марганцю (Mn_2O_3). В результаті цього, потрібно більше палива на обпал марганцевих окатишів, ніж залізних. Також для гранулювання потрібно провести тонкий помел руди. Виходячі з вищесказаного, гранулювання марганцевої руди є досить дорогою технологією. Брикетування представляє інтерес для агломерування марганцевмісних відходів, руди і вуглецевих матеріалів на заводах, що випускають марганцеві сплави. Агломерація і гранулювання пов'язані зі значними капіталовкладеннями на помел і обпал. Брикетування, навпаки, є процесом безнагрівного з'єднання і, відповідно, не вимагає додаткових капіталовкладень. Також брикетування не вимагає подрібнення, як при гранулюванні. В якості сполучного елемента при брикетуванні використовуються бітум, цемент, меляса та вапно, як окремо, так і в суміші. Є приклади використання брикетів для виробництва високовуглецевого ферохрому, а також як складової частини шихти у виробництві ферромарганцевих сплавів. Композитні брикети в поєднанні з тонкоздрібненою рудою і 4-6% вугіллям позитивно впливають на технологічний процес в зв'язку з виникаючими екзотермічними реакціями, що протікають між вищими марганцевими оксидами і леткими продуктами, що утворюються при нагріванні вугілля.

Постановка проблеми

Для подальшого розвитку металургійної галузі загальною потребою стає розробка нових технологічних рішень по зниженню собівартості продукції, що засновані на зменшенні витрати сировини і енергоресурсів на всіх етапах виробництва та залучення у виробництво вторинних матеріалів та техногенних відходів, які утворюються при здійсненні основних металургійних технологій одержання металів та сплавів. Використання таких матеріалів без попередньої підготовки викликає ряд труднощів, пов'язаних зі значним вмістом шкідливих речовин, вологи, дисперсністю, неконтрольованим вмістом провідного елемента та інше. Це стає проблемою при виборі способу підготовки шихти для використання в процесах виробництва марганцевих феросплавів та підвищення реакційної здатності шихтових складових.

Аналіз останніх досліджень і наукових публікацій

Механічне подрібнення як спосіб підвищення реакційної здатності вихідних шихтових матеріалів застосовують в різних процесах, зокрема для процесів вилуговування, для яких було встановлено змінення фізико-хімічних властивостей компонентів та кінетики процесу [1]. Нейтральний залишок від вилуговування цинкового кальцину механічно активували, що привело до збільшення вилучення цинку. Збільшення вилучення автори пов'язують зі зміненням фізико-хімічних властивостей за рахунок змінення розміру частинок, питомої поверхні, що підвищує реакційну здатність вилуговування.

При механохімічній обробці сульфідів збільшується швидкість реакції, покращується селективність вилуговування та ефективність сорбції, підвищується вилугованість нанокристалів [2]. Відмічається [3, 4], що при використанні механічної активації відбуваються фізико-хімічні змінення в мінералах. В останні кілька десятиліть механохімія швидко утвердилася як потужний інструмент, що забезпечує екологічно доброякісні та стійкі хімічні синтези [5]. Відображаючи зростаючу популярність механохімії, нещодавно було опубліковано багато наукових матеріалів, що підкреслюють її переваги. Автори [6 - 8] звертають увагу на те, що сфера більшості з них зосереджена на органічній хімії, каталізаторах перехідних металів, пористих каркасних матеріалах, координаційних сполуках та надмолекулярному синтезі, мало хто звертався до використання механічно-хімічного шарового млина у галузі неорганічної хімії, підкреслюючи значні переваги, які часто мають тверді неорганічні реакції. Авторами [9] встановлено, що в процесі механохімічного відновлення гематиту різною кількістю алюмінію були отримані нанокompозити системи $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ /інтерметаліди та $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ /метал. При довготривалому помелу марганцевої руди з графітом протягом 10 годин [10] було встановлено, що для криптомелану $\text{KMn}_8\text{O}_{16}$, який відновлювався при 500°C і брауніту $\text{Mn}_7\text{SiO}_{12}$ при 700°C подрібнення приводило до зменшення цієї температури на 200° . У продуктах реакції ідентифікували Mn_3O_4 , а основним продуктом був MnO . Автори вважають, що така попередня підготовка дозволить поточним переробним підприємствам розширити продуктивність без збільшення розміру відновлювальної печі. Досліджено вплив механічної активації на карботермічне відновлення бариту [11]. Механічну активацію бариту та коксу здійснювали в млині SPEX 8000 D. Результати експериментів показали, що процес механічної активації покращує кінетику карботермічного відновлення бариту.

В роботі [12] досліджували вплив механічної активації на структурні та мікрохвильові властивості титанового шлаку. Кристалічні структури та

молекулярна структура високотитанового шлаку до та після механічної активації показали, що Ti_2O_3 частково перетворюється з $Fe_3Ti_3O_{10}$ при помірній механічній активації, що може бути краще використане для отримання синтетичного рутилу. Отримані результати демонструють ефективність механічного помелу як процесу попередньої обробки для отримання високотитанового шлаку.

Таким чином, багаточисленні роботи акцентують увагу на позитивній дії попереднього подрібнення на змінення структурних та хімічних властивостей контактуючих речовин [13]. Як показав аналіз наукової інформації, механохімія має застосування в різних напрямках. Великого значення набуває механохімія у галузі металургії. Причини цього є підвищення складності та зменшення сортів руд, що видобуваються сьогодні, що стає необхідним знайти економічно ефективні способи переробки або видалення домішок до пірометалургійного вилучення, або застосувати методи гідрометалургії для безпосереднього вилучення конкретних елементів. Крім того, потребує вирішення проблема переробки вторинної сировини та відходів, які мають різноманітний хімічний склад.

Метою роботи є дослідження процесу попередньої підготовки шихти для виплавки силікомарганцю шляхом механічного подрібнення та брикетування. При огрудкуванні матеріалів на окомковувачах часто не забезпечується рівномірний вміст в сирих обкотишах всіх компонентів вихідної шихти та достатня механічна міцність. В шихті для виплавки силікомарганцю міститься значна кількість вуглецевого відновлювача, який є гідрофобною речовиною та погіршує формування міцних гранул. Викликає труднощі окатування марганцевого концентрату та кремнезему, якщо кокс дають окремо, бо в цьому випадку превалює процес утворення силікатів марганцю у порівнянні з процесами відновлення вільних оксидів вуглецем. При брикетуванні всіх шихтових матеріалів брикет містить всі компоненти у тісному контакті, що підвищує металургійні властивості огрудкованого матеріалу – відновлюваність, пористість. Крім того виключається стадія обпалу при виробництві обкотишів.

Експериментальні дослідження огрудкування тонко здрібнених складових шихти для виплавки силікомарганцю

Для огрудкування застосовували твердо фазне введення в'язучої речовини в матеріали. В якості в'язучої речовини використовували гідролізний лігнін. В процесі гідролізу деревини або іншої рослинної сировини, який полягає в обробці розведеної сірчаної кислотою при температурі 185-190°C і тиску 1,2-1,25 МПа, відбувається розпад (деструкція) природного

лігніну, що супроводжується зміною хімічного складу, дисперсності, вологості та інших характеристик і утворенням стійкого кінцевого "продукту" - гідролізного лігніну. Його вихід при гідролізі становить близько 30% від маси деревини [14]. Це складний, нерегулярно побудований, стійкий до розкладання, високомолекулярний полімер, з розгалуженими макромолекулами. Нерозчинний у воді і органічних розчинниках. Конгломерат різних хімічних речовин - природного лігніну, полісахаридів, смол, жирів, восків, мінеральних і органічних добавок. Молекулярна маса, так само як і хімічна будова, точно не визначені. Щільність гідролізного лігніну дорівнює 1,25-1,45 г/см³. Вологий ГЛ має низьку теплотворну здатність, яка для абсолютно сухого лігніну становить 5500-6500 ккал/кг і близька до калорійності умовного палива (7000 ккал/кг), для продукту з 18-25% -ною вологістю 4400-4800 ккал/кг і з 65% -ною вологістю 1500-1650 ккал/кг. Гідролізний лігнін не має регулярної будови, тому його елементний склад коливається в широких межах. Вміст вуглецю від 52% до 64%, водню від 5% до 7%, сірки від 0% до 3%, решту складає кисень та інші хімічні елементи [15]. Склад золи лігніну: Al₂O₃ - 1%; SiO₂ - 93,4%; P₂O₅ - 1,5%; CaO - 1,5%; Na₂O - 0,3%; K₂O - 0,3%; MgO - 0,3%; TiO₂ - 0,1%. Вміст твердого вуглецю до 30%. Теплотворна здатність сухого лігніну 5500-6500 ккал/кг і близька до калорійності умовного палива (7000 ккал/кг). Температура займання лігніну 195°C, температура самозаймання 425°C і температура тління 185°C. Розміри частинок лігніну від декількох міліметрів до мікронів (і менше). Вміст в гідролізному лігніну власне лігніну коливається в межах 40-88%, важкогідролізуємих полісахаридів від 13 до 45%, смолистих і речовин лігногумінового комплексу від 5 до 19% і зольних елементів - від 0.5 до 10%. Гідролізний лігнін під впливом певного тиску переходить в в'язкий стан, стає дуже пластичним. Звідси виходить його цінність як зв'язуючої речовини.

Для окускування механічно активованих шихтових матеріалів було застосовано метод брикетування. Це обумовлено тим, що при огрудкуванні матеріалу на окомковувачах отримання сирих окатишів рівномірного гранулометричного складу, що містять в собі всі компоненти шихти (відновник, концентрат, флюс і ін.) і здатних витримати механічні перевантаження при транспортуванні до обжигового агрегату практично неможливо. Труднощі процесу огрудкування полягають в тому, що шихта для виплавки силікомарганцю містить значну кількість відновника (до 15-17%) у вигляді вугілля або коксу. Така шихта, внаслідок гідрофобності відновника, погіршує процес обкатування матеріалу і одержані гранули мають знижену механічну міцність. Більш ефективним методом окускування таких багатокomпонентних шихт, на нашу думку, є метод брикетування, що дозволяє

окусковувати суміші шихтових матеріалів самого різного складу. Окускований матеріал (брикет), що задається в піч, містить в своєму об’ємі всі необхідні компоненти в досить тісному контакті, що значно покращує його металургійні властивості (відновлювальність, рівномірність об’єму, форми і пористості). Крім цього, капітальні вкладення при огрудкуванні методом брикетування нижче, ніж при огрудкуванні з подальшим випалюванням окатишів, а собівартість їх на 10-30% нижче собівартості окатишів. Таким чином, на підставі технологічних особливостей зазначених процесів окускування було прийнято метод брикетування.

При дослідженні параметрів процесу брикетування в лабораторних умовах в якості шихтових матеріалів застосовувалися суміш марганцевих концентратів I та II сортів, кварцовий пісок і коксик, хімічний склад яких наведено нижче:

Компоненти шихти	Mn	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	FeO	P	впп
Марганцевий концентрат 1 сорту	46,5	9,9	3,3	3,4	1,8	1,6	0,18	12,7
Марганцевий концентрат 2 сорту	34,2	26,9	1,2	1,2	2,3	3,2	0,232	14,45
Кварцевий пісок	-	98,37	0,49	0,11	0,76	0,06	-	0,15
Зола коксик	7,15	42,44	1,45	0,59	23,92	25,57	0,03	-
Технічний аналіз коксик, %	C	Зола A ^d			ЛеткіV ^{daf}			
	83,5	14,2			4,6			7,3

В якості твердого зв’язуючого використовували гідролізний лігнін. Експериментальну частину по механічному активуванню шихтових матеріалів виконували на лабораторній дезінтеграторній установці тонкого помелу. Суміш шихтових матеріалів і гідролізного лігніну фракцією менше 1,5 мм подрібнювалася спільно в дезінтеграторі при швидкості обертання роторів 9000 об/хв. Питома поверхня шихти після подрібнення становила 12800 см²/г, що відповідало вмісту фракції менше 10 мкм 85,4%. Висока температура самозаймання лігніну 425°C сприяла тому, що процес помолу шихти відбувався без видимих ознак налипання її на кошики дезінтегратора оскільки температура в його робочій камері не перевищувала 30-35°C. Експериментами по визначенню оптимальної кількості гідролізного лігніну в шихті було встановлено, що при сухому брикетуванні без попереднього підігріву матеріалу і середніх тисках пресування (400-500 кг/см²), брикети задовільної якості можуть бути отримані при вмісту зв’язуючого в шихті в кількості 7-10%. При розрахунку кількості вуглецю враховувався вуглець лігніну, що додавався, в зв’язку з чим кількість коксика відповідно зменшувалася і склад шихти при

подрібненні та брикетуванні був наступний, %: марганцевий концентрат – 72,53; кварцевий пісок – 4,12; коксик – 6,12; гідролізний лігнін – 10.

Брикетування тонко здрібненої повітряно-сухої шихти здійснювали без попереднього її підігріву. При цьому використовували гідравлічний прес ПСУ-10, що дозволяє плавно регулювати тиск і швидкість пресування. Діаметр брикетів становив 25 мм, а висота - 20-24 мм. Випробування міцності брикетів на роздавлювання показало, що при тиску пресування 500 кг/см² опір стисненню для сирих брикетів не перевищує 60-63 кг/см². При задовільній міцності на роздавлювання отримані брикети мали порівняно низькі показники на стирання, тому для підвищення їх механічної міцності необхідно робити зміцнюючий відновлювальний випал. Крім того, випал брикетів також необхідний з огляду на значну кількість летких, що містяться в лігніні, які при виплавці сплаву в закритій печі можуть ускладнити нормальну роботу її газоочисних споруд.

Для визначення оптимальної температури обпалу отримані сирі брикети протягом однієї години обпалювались при різній температурі в інтервалі 500-1000°C. Відновлювальна атмосфера створювалася шляхом засипання брикетів коксиком. У процесі випалу брикети не злипалися і зберігали свою первісну форму. Після охолодження брикетів до кімнатної температури проводили вивчення їх фізико-механічних властивостей шляхом вимірювання міцності брикетів на роздавлювання, пористість і вихід летких. Пористість сирих і обпалених брикетів визначали за методикою, яка застосовується в вогнетривкому виробництві - шляхом вакуумування брикетів і їх гідростатичного зважування. Результати проведених досліджень показують, що міцність брикетів на роздавлювання при обпалі до температури 1000°C збільшується з 62-65 кг/см² до 110-210 кг/см², тобто зростає у 2 – 3 рази.

Кількість летких з ростом температури від 500 до 1000°C збільшується з 6,1 до 12,9%, при цьому пористість брикетів змінюється з 41,1 до 49,6%. Об'ємна вага брикетів залишалася майже незмінною - 1,87 г/см³. Механічна міцність брикетів в значній мірі залежить від тиску пресування і зі збільшенням тиску міцність на роздавлювання збільшується. При цьому опір стисненню для обпалених брикетів в 2-3 рази вищий, ніж для сирих брикетів.

При збільшенні тиску пресування пористість сирих і обпалених брикетів зменшується, причому для сирих брикетів вона значно нижче. Для обпалених брикетів збільшення тиску пресування з 146,5 до 1075 кг/см² знижує пористість брикетів з 5,06 до 41,1%, а об'ємна вага брикетів при цьому збільшується з 1,46 до 2,96 г/см³. Найбільш прийнятною температурою випалу, з технологічної точки зору і апаратурного оформлення відділення випалу брикетів, є температура 800-900°C. При цих температурах вищі оксиди марганцю

дисоціюють до нижчих і практично завершується процес коксування лігніну з утворенням міцної коксової структури брикету. Випал при температурі вище 1000°C призведе до зниження міцності брикетів, так як при цих температурах в значній мірі будуть розвинені процеси відновлення заліза і, частково, марганцю. З дослідженого інтервалу тисків пресування (150-1075 кг/см²) брикети задовільної якості (сирі і обпалені) за своїми фізико-механічними властивостями можуть бути отримані при середніх тисках пресування - 400-500 кг/см².

Дослідження кінетики спільного відновлення різних шихт для виплавки товарного силікомарганцю проводили на термогравіметричній установці з безперервним контролем втрати ваги наважкою шихти та контролем об'єму та складу газової фази. При дослідженні відновлюваності силікомарганцевих шихт в інтервалі температур 1250-1400°C в якості марганецьвмісних матеріалів застосовувалася суміш марганцевих концентратів 1 і 2 сортів Нікопольського родовища в співвідношенні 1: 1, відновником був металургійний коксик, а в якості кремнеземвмісної добавки використовували кварцевий пісок. Хімічний склад застосовуваних шихтових матеріалів наведено в табл.1. Порівнювали швидкість і степінь відновлення шихти НЗФ для виплавки товарного силікомарганцю та дослідний варіант з використанням механічно активованої шихти, компоненти якої піддавалися роздільній обробці в лабораторному дезінтеграторі. Подрібнення здійснювали 6-ти рядними роторами з твердого сплаву на максимальному режимі роботи дезінтегратора (18000 об/хв). На підставі хімічного аналізу висушені складові компоненти шихти для отримання товарного силікомарганцю марки СМн17 використовували в наступному співвідношенні, %: суміш марганцевих концентратів - 76,7; кварцевий пісок 13,02; металургійний коксик 13,6. Зазначена шихтова суміш мала питому поверхню, рівну 14300 см²/ г, що відповідало вмісту в ній фракції менше 10 мкм в кількості 97,5%.

Для дослідження кінетики відновлення тонкодисперсні шихтові матеріали ретельно перемішувалися шляхом короткочасного змішування і піддавалися надалі брикетування при тиску пресування 500 кг/см². Для збільшення міцності брикетів і видалення вологи витримувалися при температурі 300°C протягом 4-5 годин. Для порівняння, як другий варіант підготовки шихти, досліджували брикетовані при тих же параметрах шихтові матеріали з вихідним розміром 3-0 мм. Гранулометричний склад їх представлений в таблиці 1, а хімічний склад був аналогічний хімічному складу матеріалів, що застосовуються для механічно активованої шихти.

Гранулометричний склад застосованих шихтових матеріалів

Матеріал	Розмір фракції, мм						
	+2,5	2,5–1,25	1,25–0,63	0,63–0,5	0,5–0,35	0,35–0,20	-0,20
Суміш марганцевих концентратів	1,41	14,25	42,23	10,01	10,21	7,33	14,56
Коксик	4,72	13,90	40,66	8,16	8,63	7,83	16,10
Кварцевий пісок	-	-	-	-	2,80	54,50	42,70

Підготовлені за описаними вище двома варіантами шихтові матеріали у вигляді брикетів після попередньої сушки піддавалися обпалу у відновлювальній атмосфері при температурі 1100°C для відновлення вищих оксидів марганцю до закису марганцю і оксидів заліза до металевого заліза. При петрографічному аналізі обпалених брикетів при цій температурі зазначені процеси проходять з достатньою повнотою і, таким чином, при подальшому відновленні зразків зменшення їх ваги буде обумовлено тільки процесами відновлення закису марганцю і кремнезему.

Кінетичні залежності зміни ступеня відновлення в часі для досліджуваних силікомарганцевих шихт при температурі 1250-1400°C представлені на рис.1. Відновлювальна здатність механічно активованої шихти (рис. 1а) при тривалості відновлення 60 хвилин у всьому інтервалі температур в 1,5-1,8 рази вище, ніж для крупнодисперсної шихти за однаковий час відновлення (рис.1б).

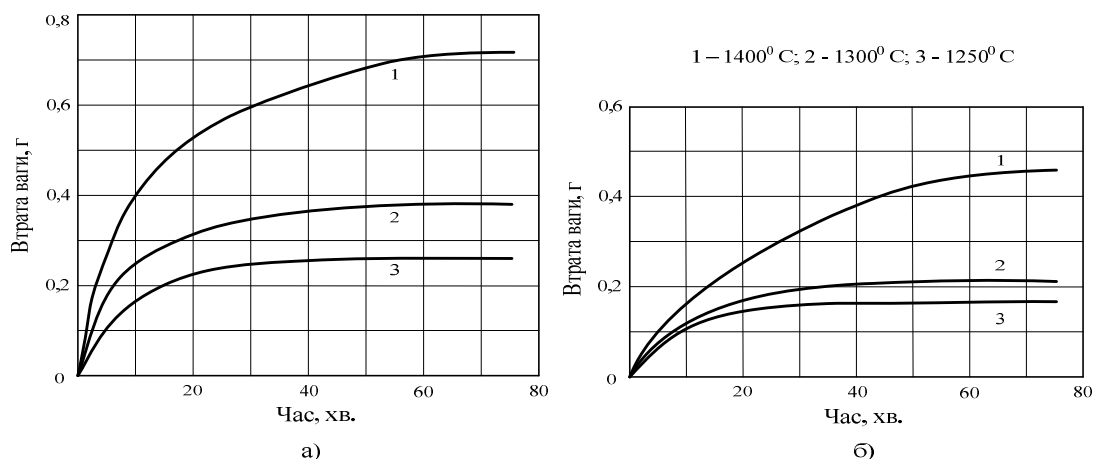


Рисунок 1 – Кінетичні залежності відновлення механічно активованої шихти (а) і шихти, яка має крупність компонентів 3-0 мм (б) при температурі 1250-1400°C

Для брикетованої шихти з крупнодисперсних матеріалів зменшення ваги зразка при температурі 1250 і 1300°C практично однакове, що свідчить про те,

що при цих температурах для даного варіанту підготовки шихти процеси відновлення марганцю і, тим більше, кремнію розвинені незначно. У той же час для механічно активованої шихти при цих температурах брикети зберегли свою форму і достатню механічну міцність, пронизані дрібними корольками металу. Вони містили незначну кількість, в основному на поверхні брикету, таких же дрібних корольків шлаку і залишок шихти, що не прореагувала. Брикети з крупнодисперсних шихтових матеріалів були повністю сплавлені в один монолітний шматок шлаку з корольками металу, зверху і всередині якого знаходилися залишки коксиду.

Для тонкодисперсної шихти процес відновлення марганцю і кремнію розвивається з помітною швидкістю вже при температурі 1250°C. Особливістю низькотемпературного відновлення механічно активованої шихти є те, що збільшення питомої поверхні реагентів при механічній обробці в дезінтеграторі сприяє підвищенню хімічної активності цієї поверхні, в результаті чого процеси відновлення в значній мірі розвинені в твердій фазі при порівняно низьких температурах, передуючи плавленню реагентів. При відновленні брикетів з крупнодисперсних компонентів (3-0мм) характерним є раніше плавлення шихтових матеріалів з утворенням шлакового розплаву, в результаті чого контакт між оксидом і відновником носить недостатньо тісний характер, що ускладнює кінетику відновлювальних процесів.

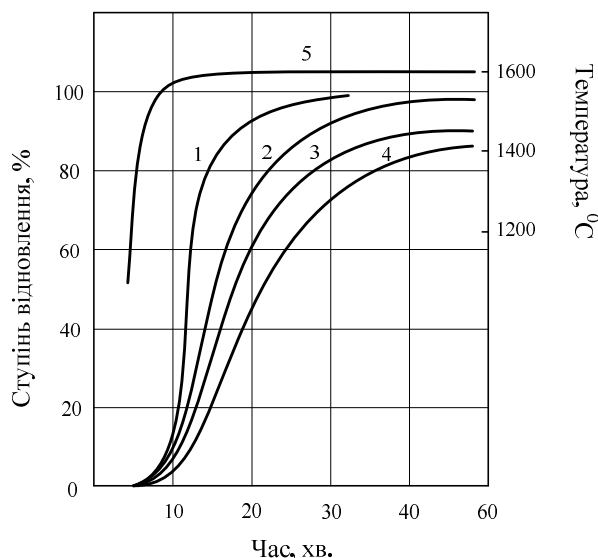
Для оцінки впливу крупності шихтових компонентів та їх попередньої підготовки дослідили кінетику відновлення при температурах 1450-1650°C чотирьох варіантів шихт для виплавки товарного силікомарганцю: механічно активована шихта з питомою поверхнею марганцевого концентрату 16500 см²/г; шихта з вихідним розміром всіх компонентів менше 0,16 мм; шихта з вихідної розміром складових її компонентів 3-0 мм; заводська насипна шихта з використанням суміші марганцевих концентратів та агломерату в співвідношенні 1: 1, а також кварциту і коксиду, крупність яких становила 3-0 мм.

Перші три варіанти зазначених шихт піддавалися дослідженню кінетики відновлення в окускованному вигляді. Для цього виготовляли брикети діаметром 20 мм і висотою 15-18 мм при питомому тиску пресування 500 кг/см². Як сполучну речовину використовували розчин рідкого скла в кількості 1%. Для всіх досліджуваних варіантів шихт в якості марганецьвмісної сировини була використана суміш марганцевих концентратів 1 і 2 сортів Нікопольського родовища, в четвертому варіанті використовувався агломерат, одержаний за діючою технологією НЗФ.

Хімічний склад марганецьвмісної сировини, був наступний, %:

Матеріал	Mn	MnO ₂	SiO ₂	FeO	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	P	впп
Суміш марганцевих концентратів	40,55	56,15	18,10	2,87	3,25	1,84	2,05	0,21	14,10
Марганцевий агломерат	37		28,5	3,0	8,9	2,4	2,9	0,22	-

Для заводської шихти застосовували кварцит крупністю менше 3,0 мм, який містив 96,5% кремнезему. У всіх досліджуваних варіантах шихт, за винятком заводської шихти, крупність коксика становила менше 0,1 мм при вмісті вуглецю в ньому 82,3%. Шихта розраховувалася на отримання товарного силікомарганцю марки СМн17. Результати досліджень кінетики спільного відновлення марганцю і кремнію для зазначених варіантів шихт при температурі 1600°C представлені на рис.2 . Ступінь відновлення шихти, в якій використано механічно активоване марганцевий концентрат (крива 1), в кілька разів вище, ніж заводська насипна шихта, що складається із агломерату та концентрату (крива 4).

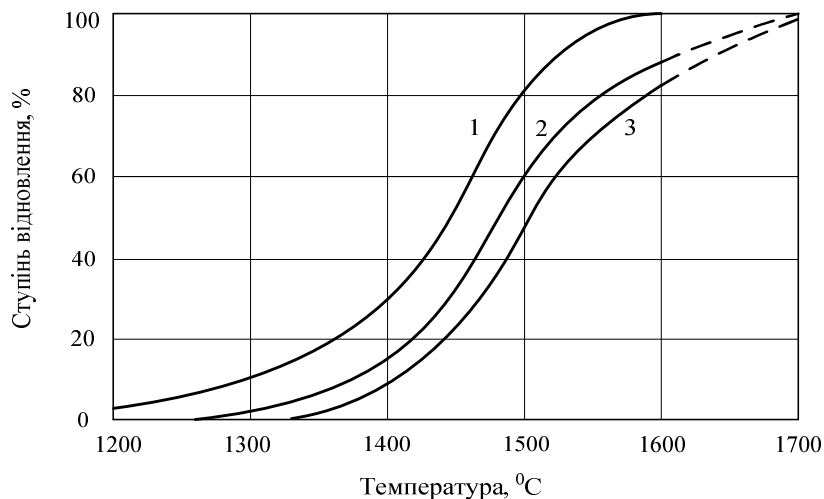


1 - механічно активована шихта; 2 - шихта, яка має крупність компонентів 0,16 мм;
 3 - шихта, яка має крупність компонентів 3-0 мм;
 4 - шихта Нікопольського заводу феросплавів; 5 - температура

Рисунок 2 – Кінетика відновлення силікомарганцевих шихт при температурі 1600°C

Так, при температурі 1600°C за 20 хвилин механічно активована шихта відновлюється на 93%, тобто близько до повного відновлення, а заводська шихта досягла лише 42% відновлення. Шихти, де застосовувалися матеріали крупністю 0,16 і 3-0 мм (криві 2 і 3), відновлюються також значно гірше, ніж

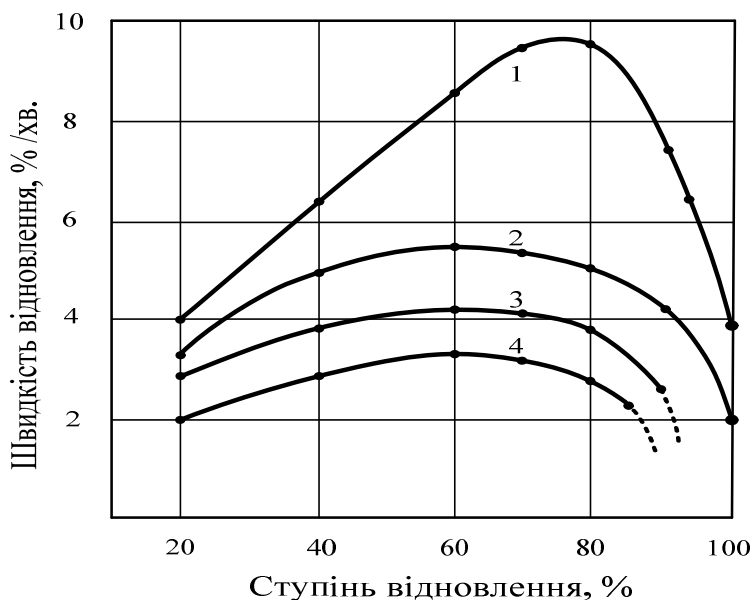
шихта із застосуванням механічно активованого концентрату. Аналогічні залежності ступеня відновлення в часі для досліджуваних варіантів шихт отримані і при температурі 1450°C, тільки ступінь відновлення для цих температур значно нижче (рис.3).



1 - механічно активована шихта; 2 - шихта, яка має крупність компонентів 3-0 мм;
3 - шихта Нікопольського заводу феросплавів

Рисунок 3 – Температурна залежність ступеня відновлення силікомарганцевих шихт

Відновлення марганцю і кремнію при температурі 1600°C для досліджених шихт характеризується відповідними залежностями швидкості відновлення від ступеня відновлення (рис.4).



1 - механічно активована шихта; 2 - шихта, яка має крупність компонентів 0,16 мм;
3 - шихта, яка має крупність компонентів 3-0 мм;
4 - шихта Нікопольського заводу феросплавів

Рисунок 4 – Залежність швидкості відновлення від ступеня відновлення

Приведені на рисунку дані свідчать, що швидкість відновлення шихти з механічно активованим концентратом (крива 1) в 2-3 рази вище, ніж швидкість відновлення насипний шихти з агломерату та концентрату (крива 4), яка застосовується в даний час на феросплавних заводах. При цьому слід відзначити, що максимальна швидкість відновлення для першого варіанту шихти відповідає ступеню відновлення 80%, тобто до цього ступеня відновлення швидкість процесу зростає і тільки після цього починає зменшуватися. Для інших трьох досліджуваних варіантів максимальна швидкість відновлення досягається при 60% ступеня відновлення. До ступеня відновлення 90-95% мінімальна швидкість відновлення шихти з механічно активованим концентратом вище максимальної швидкості інших шихт. Результати дослідів дозволили доповнити отримані кінетичні залежності хімічним аналізом продуктів реакції, що утворилися на дні реакційних тиглів. Для цього метал, отриманий в трьох паралельних дослідах, проведених при однаковій температурі, ретельно усереднювався і потім був проведений його хімічний аналіз з визначенням вмісту марганцю, кремнію, фосфору і вуглецю. Отриманий хімічний склад металу, для трьох досліджуваних варіантів шихт, наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Хімічний склад металевої фази при відновленні силікомарганцевих шихт

Шихта	Температура, °С							
	1450				1600			
	Вміст елементів, %							
	Mn	Si	C	P	Mn	Si	C	P
Шихта НЗФ	73,27	10,95	3,82	0,73	75,43	15,71	8,96	0,32
Шихта з крупністю компонентів 3-0 мм	77,58	11,05	3,44	0,37	72,5	16,05	2,55	0,31
Активована шихта	77,58	13,98	3,56	0,42	73,44	18,21	2,53	0,29

Аналіз наведеного в табл. 2 хімічного складу металу підтверджує отримані результати високотемпературної кінетики спільного відновлення марганцю і кремнію з силікомарганцевих шихт. Висока степінь відновлення і високий вміст марганцю і кремнію в металі при порівняно низькій температурі 1450°С вище, ніж їх вміст в металі для інших варіантів шихт. Вже при температурі 1600°С отримано стандартний по кремнію і марганцю товарний силікомарганець марки СМн17 з вмістом кремнію, рівним 18,23%, в той час як в металі із заводської шихти його вміст становив лише 15,71%. Слід зазначити, що приблизно такий вміст кремнію (15,27%) отримано в металі з механічно активованої шихти, але при температурі 1500°С. Тобто, приблизно рівний хімічний склад металу по кремнію і марганцю при використанні

тонкодисперсної шихти отриманий при температурі на 100° нижче. Цей висновок відповідає ступенями відновлення для цих шихт при температурі 1500 і 1600°C . Хімічний склад металу показує, що для отримання товарного силікомарганцю стандартного за вмістом кремнію і марганцю при використанні заводської шихти і брикетованої шихти з розміром компонентів $3-0$ мм потрібна температура вище 1600°C . Слід також відзначити більш низький вміст фосфору в металі з механічно активованої шихти, в порівнянні з його вмістом в металі з інших шихт. Це пояснюється повнотою відновлення кремнію і марганцю і підвищеним переходом фосфору в газову фазу.

Авторами ряду робіт відзначається, що перехід від підготовки реакційних сумішей простим змішуванням порошкових реагентів до їх короткочасного спільного розтирання приводило до збільшення швидкості вуглецевотермічного відновлення приблизно в $2-3$ рази. При довготривалому розмелюванні марганцевої руди з графітом протягом 10 годин [10] було встановлено, що для кріптомелану $\text{KMn}_8\text{O}_{16}$, який відновлювався при 500°C і брауніту $\text{Mn}_7\text{SiO}_{12}$ при 700°C подрібнення приводило до зменшення цієї температури на 200° . У продуктах реакції ідентифікували Mn_3O_4 , а основним продуктом був MnO . Автори вважають, що така попередня підготовка дозволить поточним переробним підприємствам розширити продуктивність без збільшення розміру відновлювальної печі. В роботі [16] вивчали вплив високоенергетичного подрібнення на твердо фазні реакції, що відбуваються в з Mn_3O_4 .

В інших роботах [17] метод спільного подрібнення рудної частини, флюсу і відновника досліджувався авторами для активації поверхні шихтових компонентів.. Зразки піддавали подрібненню протягом $10, 15, 20, 30, 60, 90$ та 120 год. Для характеристики зразків проводили аналізи DTA-TG, SEM та XRD. Коли піки XRD порівнювали за різний час подрібнення, було видно, що всі дифракційні піки поступово зменшувалися паралельно зі збільшенням часу подрібнення. Активовані зразки, отримані в результаті подрібнення, досліджували при температурі $1000, 1100, 1200$ і 1300°C протягом $30, 60, 90$ і 120 хв в атмосфері аргону. Результати експериментальних досліджень свідчать, що відновлення активованих за 120 годин пробах відбулося на $58,76\%$ при 1300°C протягом 2 год.

Метод спільного надтонкого подрібнення широко використовується в вогнетривкому виробництві з метою досягнення не тільки рівномірного змішання, але й максимального контакту твердих частинок між собою з можливим навіть взаємним впровадженням цих частинок. Слід зазначити, що змішання і гомогенізація тонкодисперсних матеріалів представляє певні труднощі, особливо при змішуванні багатокomпонентних сумішей з

різномірними фізико-хімічними властивостями компонентів. З огляду на це, застосували метод тонкого спільного подрібнення в дезінтеграторі всіх компонентів силікомарганцевої шихти з метою підвищення ступеня її гомогенності і збільшення реакційної здатності. Застосовуваний для спільного подрібнення дезінтегратор дозволяє значно поліпшити однорідність шихти за рахунок інтенсивного перемішування частинок матеріалу в повітрі міжкошикового простору. При великій швидкості зіткнення часток (до 300 м/сек) і високій тонкості помелу досягається якість перемішування компонентів шихти в дезінтеграторі. Подальше огрудкування спільно подрібнених шихтових сумішей з високим ступенем їх гомогенності різко збільшує поверхню і тісноту контакту між оксидами рудної частини шихти і відновником. Це приводить до підвищення реакційної здатності цих сумішей і поліпшенню кінетичних і дифузійних факторів, що впливають на відновлювальні процеси.

У зв'язку з цим, значний інтерес представляли дослідження в порівнянні кінетики відновлення марганцю і кремнію з спільно і роздільно подрібнених в дезінтеграторі силікомарганцевих шихт однакового гранулометричного та хімічного складів. Для проведення таких досліджень було приготовлено два варіанти шихт. У одному з них суміш марганцевих концентратів 1 і 2 сортів, кварцевий пісок і коксик в необхідному співвідношенні подрібнювалися в дезінтеграторі спільно при числі обертів 12000 об/хв. Конструкція системи дозування лабораторного дезінтегратора дозволяє завантажувати трьома незалежними живильниками одночасно три різних компонента з необхідною швидкістю подачі кожного з них.

Після подрібнення в дезінтеграторі шихтові суміш представляла собою однорідну масу без видимих ознак сегрегації компонентів з питомою поверхнею, яка дорівнює 12000 см²/г. Хімічний склад спільно подрібненої шихти був наступний, %:

Mn	MnO ₂	SiO ₂	FeO	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	C
31,17	32,08	20,5	2,73	2,13	2,18	1,97	13,38

Потім готувалася шихтові суміш з такою ж величиною питомої поверхні, але складові компоненти якої були подрібнені окремо. Для обох шихт застосовувалися одні й ті ж шихтові матеріали, що забезпечувало практично однаковий хімічний склад досліджуваних шихтових сумішей. Для порівняння паралельно досліджували силікомарганцеву шихту, в якій суміш марганцевих концентратів 1 і 2 сортів і коксик застосовувалися вихідної крупності до подрібнення в дезінтеграторі менше 1,25 мм. Питома поверхня цього варіанту шихти становить 1500 см²/г. Шихта у всіх варіантах досліджувалась в

брикетованому вигляді. Параметри брикетування при цьому і підготовка матеріалів не змінювались. Результати досліджень кінетики відновлення спільно і роздільно подрібнених силікомарганцевих шихт при температурі 1600°C показують, що ступінь відновлення марганцю і кремнію з сумісноподрібненої шихти за один і той же відрізок часу значно вище, ніж для шихти з роздільним подрібненням компонентів. Повне відновлення оксидів марганцю і кремнію з спільноподрібненої шихти досягається приблизно в 2 рази швидше, ніж для окремо подрібненої. При відновленні шихти з марганцевих концентратів з питомою поверхнею 16500 см²/г, що приблизно в 1,4 рази більше, ніж у спільноподрібненої шихти, отримали практично однакові показники відновлення, але повного відновлення спільно подрібнена шихта досягає швидше, хоча вона і більш крупнодисперсна. Можна стверджувати, що при спільному подрібненні компонентів шихти для виплавки товарного силікомарганцю питома відновлюваність приблизно в 1,4 рази вище, ніж при роздільному подрібненні її компонентів. Таким чином, для досягнення однієї і тієї ж ступені відновлення в однакових умовах крупність помелу при спільному подрібненні компонентів шихти може бути приблизно на 30-40% (за величиною питомої поверхні) нижче, ніж при роздільному їх подрібненні.

Максимальна швидкість відновлення шихти зі спільним подрібненням компонентів в 1,6 рази вище, ніж максимальна швидкість відновлення шихти з роздільним подрібненням компонентів. Причому, остання практично нижче мінімальної швидкості відновлення шихти зі спільним подрібненням матеріалів. Швидкість відновлення заводської насипної шихти, в 3 рази нижче, ніж для спільно подрібненої шихти.

Обговорення результатів дослідження

Різка підвищення швидкості, що спостерігається, і ступеня відновлення шихти з спільно подрібненими компонентами, в порівнянні з шихтою рівного гранулометричного складу, але з роздільним їх подрібненням, обумовлено поліпшенням її реакційної здатності. В результаті інтенсивного спільного подрібнення окислів рудної частини і відновника в дезінтеграторе останні мають досить розвинену питому поверхню з дуже високою поверхневою енергією. Це в значній мірі підсилює адсорбційні здатності їх поверхні, що в умовах інтенсивної спільної механічної обробки, тісноти контакту з відновником, а також можливості утворення вільних радикалів з ненасиченими валентними зв'язками може призводити до часткової хемосорбції. Під час механічної активації кристалічна структура мінералу погіршується і утворюються більш реактивні види [18]. Таким чином, в екстремальних умовах подрібнений мінерал буде активнішим під час металургійного процесу, який буде здійснюватися, і це збільшить швидкість

процесу. Крім того, звернуто увагу, що [19] швидкість відновлення MnO_2 до MnO є набагато швидшою, ніж газифікація вуглецю при експериментальних температурах. Це було підтверджено утворенням мізерної кількості CO в порівнянні з CO_2 при аналізі газових продуктів відновлення. Важливу роль в реалізації процесу відновлення відіграють твердофазні реакції [16, 20]. Автори [21] приділили увагу розгляду впливу механічної активації графіту в повітрі як шлях до одержання вуглецевих наноматеріалів. В даній роботі на результатах експериментальних досліджень розглянуто зміни властивостей графіту під механічною дією та показано, що механічна дисперсія супроводжується безперервним розщепленням частинок з утворенням нової твердої поверхні, яка спочатку не має адсорбційних шарів і, таким чином, є високореакційною, і нових активних ділянок різного характеру. На їх погляд, механічне подрібнення матеріалу може змінити його мікроструктуру, зменшення розмірів частинок і зерен створює просторові дефекти. В відомих роботах С.Т.Ростовцева по відновленню маломіцних оксидів стверджувалось, що під впливом силового поля крайових атомів вуглецю в таких умовах створюються передумови до того, що атоми кисню «перетягуються» з адсорбційного шару на периферії зерен оксиду до вуглецю і хемосорбуються з утворенням хімічного зв'язку між оксидом і відновником. Утворення подібних вуглецевокисневих комплексів супроводжується великим виділенням теплоти. Крім того, крайові атоми вуглецю і оксиду з ненасиченими валентними зв'язками мають високою хімічною активністю.

Описане вище фізико-хімічну взаємодію складових багатокomпонентної шихти, обумовлене розвитком в процесі спільного розмелювання механо-хімічного ефекту, призводить до збільшення швидкості і ступеня відновлення шихт з спільним подрібненням компонентів. Підвищена реакційна здатність брикетованої шихти зі спільним подрібненням компонентів сприяє розвитку твердофазних процесів відновлення марганцю, і, частково, кремнію, випереджаючи процес плавлення шихти. При виплавці товарного силікомарганцю в промислових печах на такий шихті це повинно привести до підвищення вилучення провідних елементів в сплав і скорочення кратності шлаку з поліпшенням всіх інших техніко-економічних показників роботи печі.

Висновки

1. Сучасний стан виплавки феросилікомарганцю у зв'язку з погіршенням якості марганцевих концентратів характеризується низьким вилученням марганцю, кремнію та збільшенням кратності шлаку. Це вимагає удосконалення технології виплавки з застосуванням шихтових матеріалів з підвищеними реакційними здатностями, що забезпечується попередньою підготовкою їх до плавки.

2. Аналіз існуючої інформації у науковій літературі показав, що одним із методів підготовки може бути метод механічного активування компонентів роздільно або сумісного активування для забезпечення високих показників ступені відновлення елементів в металеву фазу.

3. Для залучення механічно активованих дрібнодисперсних матеріалів для виплавки силікомарганцю обґрунтовано основні технологічні вимоги попередньої підготовки шляхом брикетування. Показано що використання у якості в'язучої речовини гідролізного лігніну забезпечує одержання міцних брикетів. При тисках пресування 450-550 кг/см² міцність сирих брикетів складає 65-68 кг/см² а опалених у відновлювальній атмосфері при температурах до 1000 °С міцність досягає 160-185 кг/см².

4. Дослідженням кінетики сумісного вуглецево-термічного відновлення марганцю і кремнію при температурах 1250-1600 °С з безперервним контролем втрати ваги наважкою шихти показано, що ступінь відновлення брикетованої, механічно активованої шихти в 1,5 – 1,8 рази вище відновлювальності шихти з крупністю компонентів 3-0 мм і в 2-3 рази вище ступені відновлення заводської шихти.

5. На основі результатів хімічного аналізу дослідних зразків металу показано, що застосування механічної активації при спільній обробці шихти досягається значно вищі характеристики вилучення марганцю в сплав за рахунок зменшення попереднього утворення шлакової фази та відновлення в цьому випадку марганцю із шлакового розплаву.

REFERENCES

1. Li, Xuan-hai; Zhang, Yan-juan; Pan, Liu-ping; Wei, Yan-song Effect of mechanical activation on dissolution kinetics of neutral leach residue of zinc calcine in sulphuric acid/ Transactions of nonferrous metals society of china. Том: 23 Выпуск: 5. Стр.: 1512-1519. DOI: 10.1016/S1003-6326(13)62624-2].
2. Balaz, P; Alacova, A; Achimovicova, M; Ficeriova, J; Godocikova, E. Mechanochemistry in hydrometallurgy of sulphide minerals./ Hydrometallurgy. 2005. Том: 77. Выпуск: 1-2. Стр.: 9-17. DOI: 10.1016/j.hydromet.2004.09.009.
3. Balaz, P. Mechanical activation in hydrometallurgy./ International journal of mineral processing. 2003. Том: 72. Выпуск: 1-4. Стр.: 341-354. DOI: 10.1016/S0301-7516(03)00109-1
4. Amer, Am. Processing of ras-shait chromite deposits./ Hydrometallurgy. 1992. Том: 28. Выпуск: 1. Стр.: 29-43. DOI: 10.1016/0304-386X(92)90063-6
5. Davin Tan, Felipe García. Main group mechanochemistry: from curiosity to established protocols. (Tutorial Review) Chem. Soc. Rev., 2019, Vol 48. S. 2274-2292. DOI: 10.1039/C7CS00813A
6. Cagnetta, G., Huang, J., Lomovskiy, I.O., Yu, G., Tailoring the properties of a zero-valent iron-based composite by mechanochemistry for nitrophenols degradation in wastewaters./ Environ. Technol. 2017a. 1e12. <http://dx.doi.org/10.1080/09593330.2017.1282985>.
7. Boldyreva, E., Mechanochemistry of inorganic and organic systems: what is similar, what is different Chem. Soc. 2013. Rev. 42, S. 7719. <http://dx.doi.org/10.1039/c3cs60052a>.
8. Cagnetta, G., Huang, J., Wang, B., Deng, S., Yu, G., 2016a. A comprehensive kinetic model for mechanochemical destruction of persistent organic pollutants. Chem.Eng. J. 291, 30e38. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2016.01.079>.

9. T F Grigoryeva, A A Novakova, T Yu Kiseleva, A P Barinova, A I Ancharov, T L Talako, I A Vorsina, K D Becker, V Šepelák, S V Tsybulya, O A Bulavchenko, N Z Lyakhov. Mechanochemical production of nanocomposites of metal/oxide and intermetallic/oxide systems./ The 13th International Conference on Rapidly Quenched and Metastable Materials IOP Publishing Journal of Physics: Conference Series 144 (2009) 012076 <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/144/1/012076>
10. Welham NJ. Activation of the carbothermic reduction of manganese ore. International Journal of Mineral Processing, Vol.67, No.1-4, 187-198, 2002. DOI:10.1016/S0301-7516(02)00045-5 <https://www.cheric.org/research/tech/periodicals/view.php?seq=1004402>
11. D. Guzmán, J. Fernández, S. Ordoñez, C. Aguilar, P. A. Rojas, D. Serafini. Effect of mechanical activation on the barite carbothermic reduction./ International Journal of Mineral Processing. Volumes 102–103, 25 January 2012, Pages 124-129. <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2011.11.008>
12. Guo Chen, Jin Chen, Jinhui Peng. Effects of mechanical activation on structural and microwave absorbing characteristics of high titanium slag./ Powder Technology. Volume 286, December 2015, Pages 218-222. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2015.08.021>
13. V. I. Novozhonov, P. V. Polyakov, T. R. Gilmanšina i dr. Mehanoaktivaciya oksidnyh i sloistyh materialov: kollektivnaya monografiya/ Krasnoyarsk: Sib.feder.un-t, 2015 – 164s. ISBN 978-5-7638-3219-8
14. Chudakov, M. I. Promyshlennoe ispolzovanie lignina Tekst. / M. I. Chudakov. M.: Lesn. prom-t, 1983. 200 s.
15. Holkin, Yu. I. Tehnologiya gidroliznyh proizvodstv Tekst. / Yu. I. Holkin. M.: Lesn. prom-t, 1989. 496 s.
16. Berbenni, V., Marini, A. Oxidation behaviour of mechanically activated Mn₃O₄ by TGA/DSC/XRPD./ Materials Research Bulletin. Volume 38, Issue 14, 26 November 2003, Pages 1859-1866.. DOI: 10.1016/j.materresbull.2003.07.008
17. Boyrazlı, M., Arancı Öztürk, E. Effect of advanced milling on carbothermal reduction of pyrolusite (MnO₂) by carbonized tea plant waste. Journal of Molecular Structure. Volume 1198, 15 December 2019, Номер статъи 126875. DOI: 10.1016/j.molstruc.2019.126875
18. Göktaş, M. Mechanical activation applications in mineral processing (Review). Scientific Mining Journal. Volume 57, Issue 1, March 2018, Pages 57-66.
19. Kim, D.-Y., Jeong, I.-H., Jung, S.-M. Kinetic study on carbothermic reduction of MnO₂ with graphite. Ironmaking and Steelmaking. Volume 43, Issue 7, 8 August 2016, Pages 526-532. DOI: 10.1080/03019233.2015.1114307
20. Ostrovski, O. I., Webb, T. J. M. Reduction of Siliceous Manganese Ore by Graphite. ISIJ International. Volume 35, Issue 11, 1995, Pages 1331-1339. DOI: 10.2355/isijinternational.35.1331
21. O. N. Baklanova, V. A. Drozdov, A. V. Lavrenov, A. V. Vasilevich, I. V. Muromtsev, M. V. Trenikhin, A. B. Arbuzov, V. A. Likholobov, O. V. Gorbunova. Mechanical activation of graphite in air: A way to advanced carbon nanomaterials. Journal of Alloys and Compounds. May 2015. DOI: 10.1016/j.jallcom.2015.05.090.

Received 08.01.2020.

Accepted 16.01.2020.

UDC 669.15:66.02.51/55

Y. V. Myanovskaya, Y. S. Proyak, L. V. Kamkina, R. V. Ankudinov

MECHANICAL GRINDING OF COMPONENTS OF SILICONE MANGANESE CHARGE TO IMPROVE THE REPRODUCIBILITY

The present state of smelting of ferrosilicon manganese due to the deterioration of the quality of manganese concentrates is characterized by low extraction of manganese, silicon and an increase in the slag multiplicity. This requires the improvement of smelting technology with the use of charge materials with high reactivity, which is ensured by their preliminary preparation for melting.

One method of preparation may be the method of mechanical activation of components separately or joint activation to provide high rates of the degree of recovery of elements in the metal phase.

In order to attract mechanically activated fine materials for smelting of silicomanganese, the basic technological requirements of preliminary preparation of briquetting briquette are grounded. Using hydrolysis lignin as a binder provides strong briquettes. At pressing pressures of 450-550 kg/cm², the strength of the raw braces is 65-68 kg/cm², and the fired in a reducing atmosphere at temperatures up to 1000°C, the strength reaches 160-185 kg/cm².

The study of the kinetics of joint carbon-thermal reduction of manganese and silicon at temperatures of 1250-1600 ° C with continuous weight loss control of the charge batch shows that the degree of recovery of the fractured, mechanically activated charge is 1.5 - 1.8 times higher than the reproducibility of the charge component 3- 0 mm and 2-3 times higher than the degree of recovery of the factory charge.

Based on the results of chemical analysis of the experimental metal samples, it is shown that the application of mechanical activation in the joint processing of the mixture is significantly higher characteristics of extraction of manganese in the alloy by reducing the pre-formation of the slag phase and the recovery in this case of manganese from the slag melt

Keywords: silico manganese, charge, dispersed materials, mechanical activation, kinetics of carbon reduction.

Мяновська Яна Валеріївна – кандидат технічних наук, доцент каф. теорії металургійних процесів та хімії, Національна металургійна академія України.

Пройдак Юрій Сергійович – доктор технічних наук, професор, Проректор з наукової роботи, Національна металургійна академія України.

Камкіна Людмила Володимирівна – доктор технічних наук, професор, декан металургійного факультету, Національна металургійна академія України.

Анкудінов Руслан Валентинович – кандидат технічних наук, доцент каф. теорії металургійних процесів та хімії, Національна металургійна академія України.

Myanovskaya Yana – candidate of technical science, assistant professor, Theories of metallurgical processes and chemistry department, The National Metallurgical Academy of Ukraine.

Proyak Yuriy – Doctor of technical sciences, professor, laureate of the State Prize of Ukraine in Science and Technology, Honored Worker of Science and Technology, Vice rector on scientific work, The National Metallurgical Academy of Ukraine.

Kamkina Lydmila – doctor of engineering's sciences, professor, Theories of metallurgical processes and chemistry department, The National Metallurgical Academy of Ukraine.

Ankudinov Ruslan – candidate of technical science, assistant professor, Theories of metallurgical processes and chemistry department, The National Metallurgical Academy of Ukraine.