

ПИЛ ЕЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА ЯК РЕСУРС СТАЛОГО РОЗВИТКУ МЕТАЛУРГІЙНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Камкіна Л.В. Мянєвська Я.В., Пройдак Ю.С., Ісаєва Л.Є.

Український державний університет науки і технологій

Вступ. Для сталого розвитку всіх галузей промисловості та інтеграції України до Європейського співтовариства все більша увага приділяється підвищенню ефективності виробництва, економному витрачанню ресурсів та енергії, охороні навколишнього середовища. Вимоги регіональних стандартів постійно посилюються у напрямку зменшення шкідливого впливу на природу та здоров'я людини та гармонізуються з вимогами Європейських норм та світових стандартів.

Аналіз наукових публікацій переробки пилу ДСП та залізовмісних відходів металургійного виробництва. Переробка пилу та інших відходів металургійного виробництва стає необхідною з двох причин: через високий вміст оксидів заліза пил є цінною сировиною для металургії, а посилення екологічного законодавства робить дорожчим захоронення відходів на полігоні. Дрібні фракції пилу з різних етапів сталеплавильного процесу містять, окрім заліза та вуглецю, важкі метали, особливо цинк і свинець, а також важкі вуглеводні, які не прийнятні для захоронення на звалищах або для повторної переробки без будь-якої спеціальної обробки. При високотемпературній обробці сталеплавильного пилу може відбуватись видалення небезпечних компонентів і виробництво чистої сировини з високим вмістом заліза для переробки. Пил електродугових печей (ДСП) є важливим вторинним ресурсом, який містить багато металевих елементів, таких як цинк, свинець, залізо, хром і кадмій. Переробка пилу сприяє не тільки збільшенню економічного потенціалу шляхом відновлення цих цінних металів, але також сприяє вирішенню проблем утилізації та забруднення навколишнього середовища, викликаних важкими металами (наприклад, свинцем, хромом і кадмієм), які містяться в пилу. Серед існуючих процесів і тих, що знаходяться на стадії розробки, пірометалургійні процеси вважаються основним вибором для обробки пилу ДСП через високий потенціал відновлення металу, легку обробку залишків і відносно коротку технологічну схему.

Для переробки пилу ДСП розглядаються різні пірометалургійні процеси, включаючи процес у Вельц-печі, обертовий процес в подовій печі (RHF), процес PRIMUS, процес ОХУСР, процес при наявності коксового шару, процес

Ausmelt, процес у електроплавильній відновлювальній печі (ESRF), процес Plasamadust з використанням плазмової дуги, процес Elkem багатоцільової печі (EMPF), процес зануреної плазми, процес з одержанням оксиду цинку та чавуну (PIZO), процес полум'яного реактора, процес термічного плазмового відновлення, мікрохвильова обробка, процес сонячного термічного відновлення, процес плавлення чавуну в ванні, процес галогенування. Однак виникають конкретні технічні проблеми при пірометалургійній обробці пилу ДСП, що потребує і відповідних заходів для покращення переробки пилу шляхом підвищення ефективності обробки з усуненням вторинних небезпечних забруднюючих речовин.

Шляхи переробки пилу в технологіях одержання металів та сплавів.

Цинк з пилу можна відновити за допомогою різних технологій, а залишок можна використовувати як сировину для виробництва сплавів заліза. Пірометалургійні процеси є ефективним способом переробки елементів з електросталеплавильного пилу. В даний час процес відновлення пилу в основному поділяється на дві категорії: прямий метод відновлення і метод відновної плавки. Температура реакційної зони цих двох методів відрізняється, що робить реакції між компонентами сировини в печі різними, в результаті чого утворюються різні кінцеві продукти. Цинк, свинець та інші низькокиплячі оксиди металів у пилу відновлюються до металу у вигляді пари і відокремлюються від залишку. Різниця в тому, що температура в зоні реакції методу прямого відновлення нижча, залишок не плавиться, а оксид заліза в ньому відновлюється до заліза прямого відновлення. Температура в реакційній зоні методу відновної плавки дуже висока, і майже всі оксиди металів з пилу відновлюються і плавляться. Зазвичай використовувані методи прямого відновлення включають Вельц-процес і процес з обертовим подом. Методи відновної плавки включають ОхуСур, процес DK і процес із коксовим шаром.

Пірометалургійні процеси на сьогодні є основними методами відновлення пилу. Ефективність цих методів відносно висока, і цінні елементи в пилу можуть циклічно збагачуватися. Продуктами є метал або металізовані окатиші, які можна безпосередньо повертати в процес виробництва сталі. Однак пірометалургійні процеси потребують подальшого вдосконалення через високе енергоспоживання, низьку чистоту продуктів і велике обладнання. Пірометалургійні процеси можуть легше впоратися з широким діапазоном хімічного та мінерального складу пилу, але мають вищу вартість впровадження (через необхідний масштаб роботи та складність обладнання); вони також демонструють обмеження для відновлення заліза, коли це є частиною цілі

процесу.

З іншого боку, гідрометалургійні процеси є більш універсальними, коли йдеться про відновлення інших металів, крім цинку, наприклад, міді; однак на них більше впливає присутність цинку в мінеральних видах франклініту та такі домішки, як хлориди. Ці процеси можуть утворювати відходи та стоки з високими витратами на очищення та утилізацію, що часто перешкоджає їх реалізації.

Що стосується включення сталеплавильного пилу в інші матеріали, наявність таких елементів, як свинець, кадмій, сполуки цинку та хлору, може вплинути як на обробку, так і на якість продукції. З цієї причини існує потреба в постійному нагляді як за процесом, так і за продуктами, виготовленими з додаванням сталеплавильного пилу. На підставі вищезазначених тверджень можна зробити висновок, що переробка або утилізація пилу не може бути класифікована як легке завдання, яке вимагає від розробника проекту обережного обмірковування багатьох факторів, які можуть вплинути на результати, а від технологів – ретельного контролю за всім циклом процесу.

Хімічний та мінералогічний склад пилу електросталеплавильного виробництва. Зазвичай, основними мінералогічними компонентами пилу є ферит цинку ($ZnO \cdot Fe_2O_3$), магнетит (Fe_3O_4), цинкіт (ZnO) і вапно (CaO), у той час як свинець виявляється у відносно малих кількостях у вигляді оксиду (PbO). Приведено хіміко-структурні характеристики пилу ДСП з різним вмістом Zn. Ідентифіковано фази: $ZnFe_2O_4$, Fe_3O_4 , $MgFe_2O_4$, $FeCr_2O_4$, $Ca_{0,15}Fe_{2,85}O_4$, MgO , Mn_3O_4 , SiO_2 та ZnO . Фази, виявлені мессбауерівською спектроскопією, були: $ZnFe_2O_4$, Fe_3O_4 , і $FeCr_2O_4$. Одночасно рентгеноструктурний аналіз виявив наявність інших металовмісних комплексних сполук, таких як $ZnFe_2O_4$, $ZnMnFeO_4$ (франклініт), ZnO (тип SZn), C (графіт) та інших хімічних сполук з цинком, залізом, алюмінієм, магнієм, міддю і марганцю. Однак інших сполук, що містять кремній, сірку та вуглець, не виявлено.

Досвід відновлення електросталеплавильного пилу та визначення способу переробки з вилученням цинку

Розраховані величини зміни вільної енергії Гіббса реакцій розкладання фериту цинку та його відновлення найбільш поширеними відновниками (вуглець, монооксид вуглецю, водень, метан). У всьому розглянутому температурному діапазоні зміна вільної енергії реакції розкладання фериту цинку більша за нуль, що свідчить про його високу міцність. Отже, перебіг термічної деструкції фериту цинку без додаткових впливів неможливий. Ефективність відновників зменшується в ряду – метан, твердий вуглець,

водень, монооксид вуглецю, причому для двох останніх, температурні інтервали можливості перебігу цих реакцій в прямому напрямку є істотними вже – для водню починаючи з 1100°C, а для вуглецю – починаючи з 1400°C, що свідчить про ефективність їх застосування лише у високотемпературних процесах. Результати розрахунку рівноважного складу показують, що вуглецю, що міститься в пилу, недостатньо для повного відновлення оксидів. Наявного вуглецю вистачає на часткове відновлення оксиду свинцю та цинку. Через брак вуглецю залізо і марганець відновлюються незначною мірою, відновлення ж MgO, SiO₂ і CaO не відбувається зовсім. Виконані розрахунки показують, що є можливість використання пірометалургійних процесів з різними відновниками, що дозволяють відновити один або обидва метали з отриманням продуктів, придатних для використання у власному виробництві (чавун) або для продажу (концентрат цинку та шлак). Більшість агрегатів, що передбачають отримання як продукту переробки пилу чавуну є потенційно придатними для переробки обох залізовмісних відходів.

Експериментальне визначення ефективних умов видалення цинку та свинцю. Основна серія експериментів з теплової обробки пилу ДСП проведена у відновлювальних умовах при використанні як відновник антрациту (80% вуглецю). Досліди проводили в струмі аргону (витрата 7,5 л/год.) у закритому алундовому тиглі. Температура ізотермічних витримок становила 900°C, 1000°C, 1100°C. Час витримки – 2,5 години. Продукти відновлення після ізотермічних витримок при високих температурах виявилися сильно спеченими, особливо за температури 1100°C, і залишалися магнітними.

Результати відновлювально-теплової обробки показують, що при температурах порядку 1000...1100°C залізовмісний пил і шлам зазнають змін, що призводить до зменшення вмісту Zn в обробленому матеріалі, переходу вихідних пиловатих матеріалів в компактну, досить міцну масу. Таким чином, проведеними експериментами показано, що ефективне видалення цинку з пилу ДСП можливе вже при помірних температурах 1000...1100°C, у тому числі при використанні як вуглецевого відновника некондиційних вуглецевих матеріалів. Для отримання рідкого продукту слід передбачити надмірну кількість вуглецю на навуглецювання з тим, щоб знизити температуру одержуваного розплаву.

**DUST FROM ELECTRIC STEELMAKING PRODUCTION AS A RESOURCE FOR
THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE METALLURGICAL INDUSTRY**

Kamkina Lydmila, Mianovska Yana, Proydak Yuriyj, Isaeva Lydmila

Abstract. The object of research is the technology of chipboard dust processing and iron-containing metallurgical waste. The purpose of the work is the analysis of physico-chemical processes, experimental research and the development of innovative technological solutions and recommendations regarding chipboard dust and iron-containing metallurgical waste. Research methods – theoretical studies are based on the basic principles of physical chemistry and the theory of metallurgical processes. Calculations of the thermodynamic equilibrium of oxide systems are based on the Gibbs theory and implemented using the computer program "FASTSage 6.0"; research of the chemical composition of the phase components of manganese ferroalloys was carried out using a scanning electron microscope YSM-6300LA of the JEOL company, Japan. Scientific novelty. Effective removal of zinc from chipboard dust is already possible at moderate temperatures of 1000...1100°C, including when using substandard carbon materials as a carbon reducer. At temperatures of the order of 1000...1100°C, iron-containing dust and sludge undergo changes, which leads to a decrease in the content of Zn in the processed material, the transition of the original dusty materials into a compact, strong mass. Practical significance. Joint processing of slag and chipboard dust by batching in different proportions is not rational, since in this case the concentration of zinc collected in the gas cleaning of the processing unit is reduced. It will be more effective to organize alternate processing of chipboard dust and slag in different time periods (for example, monthly).

Key words: electric arc furnace, dust, zinc, carbon, technology, thermodynamics.