

У статті наведені результати аналізу хімічного і гранулометричного складу пилу (речовин у вигляді суспендованих твердих частинок), що утворюється при виплавці феросиліцію в печах постійного струму методом електрошлакового переплаву. У дослідно-промислових умовах досліджено можливість та визначено оптимальні умови брикетування пилу з метою подальшого його використання у виробництві феросиліцію

Ключові слова: відходи, пил, феросиліцій, сполучна речовина, брикетування, міцність, піч постійного струму

В статті приведені результати аналізу хімічного і гранулометричного складу пилу (веществ в виде твердых взвешенных частиц), образующейся при выплавке ферросилиция в печах постоянного тока методом электрошлакового переплава. В опытно-промышленных условиях исследована возможность и определены оптимальные условия брикетирования пилы с целью дальнейшего её использования в производстве ферросилиция

Ключевые слова: отходы, пыль, ферросилиций, связующее вещество, брикетирование, прочность, печь постоянного тока

УДК 504: 622.788: 669.168

БРИКЕТУВАННЯ ВІДХОДІВ ВИРОБНИЦТВА ФЕРОСИЛІЦІЮ

Т. Ф. Жуковський

Кандидат технічних наук, доцент
Завідувач *

E-mail: gtf@niiep.kharkov.ua

Контактний тел.: +38 (057) 702-15-81

О. Л. Проценко

Аспірант

Молодший науковий співробітник*

E-mail: Elana_eco88@mail.ru

Контактний тел.: +38 (057) 702-15-81

*Лабораторія аналізу стану повітряного басейну, розробки нормативно правової документації та повітряохоронних заходів
Український науково-дослідний інститут екологічних проблем
вул. Леніна, 6, м. Харків, Україна, 61166

1. Вступ

Сталий розвиток промисловості потребує розробки високоефективних технологій отримання якісної продукції і забезпечення екологічної безпеки технологічних процесів.

У кінці ХХ – на початку ХХІ століття в Україні високоякісний феросиліцій (FeSi) із низьким вмістом шкідливих компонентів (фосфору, сірки, вуглецю) почали виплавляти в печах постійного струму методом електрошлакового переплаву на Стахановській виробничій дільниці товариства із обмеженою відповідальністю фірма „Екологічна ініціатива” (СВД ТОВ фірма „ЕКІНА”).

СВД ТОВ фірма „ЕКІНА” спеціалізується на переробці відходів (шлаків) феросплавного виробництва із отриманням високоякісного феросиліцію марок ФС25, ФС45 та ФС65 [1].

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Процес повернення у металургійній переділ відходів (пилу, шлаків та шлаків) для підприємств із виробництва феросплавів в Україні із кожним роком стає все більш актуальним. Ефективне використання відходів підвищує економічні показники виробництва, одночасно покращуючи екологічний стан довкілля у промислових регіонах.

Аналіз ситуації із накопиченням та переробкою відходів металургійних підприємств в Україні показує, що на більшості підприємств галузі спостерігається ріст утилізації відходів виробництва. Найбільший ступінь утилізації твердих відходів – 73 % досягнуто у феросплавному виробництві [2]. Це зумовлюється високою цінністю феросплавних відходів за хімічним складом (у них містяться Ni, Cr, V, Si та ряд інших компонентів), а також можливістю повторного їх використання у технологічному процесі.

При виплавці феросиліцію на СВД ТОВ фірма „ЕКІНА” у печах постійного струму типу АК 217 М-1 та М-2 за допомогою аспіраційної системи та димососу частина димових газів через трубу викидається в атмосферне повітря. Унаслідок малих швидкостей пилогазового потоку і значної висоти димової труби (Н=85 м) частина аспіраційного пилу (речовин у вигляді суспендованих твердих частинок) осідає на дні труби.

Інша частина димових газів (від 2-х електропечей) за допомогою димососу подається на очистку у фільтри Немцова. Значна кількість (~98 %) речовин у вигляді суспендованих твердих частинок уловлюється в очисному апараті, а очищені гази через димову трубу (Н = 70 м) викидаються в атмосферне повітря.

При розвантаженні бункерів та видаленні пилу із димових труб, її транспортуванні та зберіганні на території підприємства чи у відвальних полігонах з'являються неорганізовані вторинні джерела пиловиділення. Поява вторинних пиловиділень при-

зводить до погіршення умов праці та забруднення навколишнього природного середовища. Для зменшення кількості пилових відходів (пилу, уловленого в очисних апаратах, та аспіраційного пилу) при виробництві феросиліцію необхідно розробити метод їх підготовки із необхідними технологічними параметрами та екологічними вимогами для наступного їх використання у печах постійного струму.

У виробництві феросплавів найчастіше використовується метод брикетування, як екологічно чистий та енергетично найменш затратний метод грудкування відходів. Цей метод використовується як спосіб підготовки вторинної сировини (відходів) для додавання її до шихтових матеріалів при виплавці феросплавів та економії первинної сировини.

Брикетування дрібнофракційних відходів виробництва та використанням брикетів замість дорожкоштуючих грудкових матеріалів є дуже перспективним напрямком досліджень. У деяких випадках їх використання може бути технологічно більш ефективним у зв'язку із підвищенням швидкості розчинення брикетів у рідкому металі.

В Україні роботи із брикетування феросплавних відходів проводилися у лабораторіях ІЧМ НАНУ, УкрНДІспецсталь, НМетАУ. На основі аналізу усіх видів феросплавів, оцінки їх хімічного та гранулометричного складу, вологості, запропоновано різні варіанти технології отримання брикетів для використання в шихті при виплавці феросплавів [3, 4].

Проведено експерименти із брикетування твердих ванадійвмісних відходів із метою їх використання у якості добавки до шихти при виплавці ферованадію [5].

У лабораторних умовах виконано дослідження із виявлення впливу гранулометричного складу відходів на характер та міцність брикетів при пресуванні відсівів виробництва FeSi Стахановського заводу феросплавів [6].

3. Мета і завдання досліджень

Метою роботи є формування оптимального хімічного та гранулометричного складу пилових відходів феросплавного виробництва та експериментальне визначення умов, при яких можливе ефективне їх брикетування, що відповідатиме вимогам та буде надавати можливість використання брикетів (грудкового матеріалу) при виплавці FeSi у печах постійного струму методом електрошлакового переплаву.

При розробці технології виробництва брикетів пріоритетними були наступні завдання:

- визначення компонентного складу брикетів;

- отримання дослідно-промислової партії брикетів із заданими властивостями згідно із вимогами конкретного замовника (запропонована УкрНДІЕП технологія дозволяє отримати брикети із заданими геометричними розмірами, хімічним складом та фізичними властивостями);

- брикети повинні бути міцними та не руйнуватися при перевантаженнях та транспортуванні;
- мінімальні капітальні витрати на виробництво брикетів.

Окремим напрямком досліджень є вивчення впливу форми та геометричних параметрів брикетів на металургійні властивості шихти.

4. Експериментальні дані та їх обробка

Для виконання досліджень із брикетування відходів на СВД ТОВ фірми „ЕКІНА” були відібрані презентабельні партії пилу, уловленого у пилогазоочисному апараті (фільтр Немцова), та аспіраційного пилу, який осів на дні димової труби. Визначено фізико-механічні характеристики та хімічний склад пилу.

Дослідження дисперсного складу пилу виконано методом ситового аналізу (табл. 1 та 2) із використанням набору сит фірми Ivancice (Чехословаччина).

Визначення дійсної щільності досліджуваних зразків проводилося методом гідростатичного зважування в гасі. Встановлено, що дійсна щільність частинок складає: пилу газоочистки – 2,1 г/см³, пилу, відібраного у димовій трубі, – 2,85 г/см³.

Таблиця 1

Дисперсний склад проб пилу, який осів на дні димової труби

Розмір частинок, мм	< 0,63	0,63 – 0,4	0,4 – 0,2	0,2 – 0,16	0,16 – 0,1	0,1 – 0,08	0,08 – 0,063	0,063 – 0,045	> 0,045
Вміст, %									
1	0,52	1,86	64,20	20,50	10,74	0,90	0,85	0,24	0,19
2	0,34	2,55	60,75	22,58	11,50	0,85	0,74	0,35	0,34
3	0,43	1,99	63,28	21,09	10,83	0,97	0,83	0,29	0,29

Таблиця 2

Дисперсний склад проб пилу, уловленого пилогазоочисною установкою

Розмір частинок, мм	< 2	2 – 0,63	0,63 – 0,4	0,4 – 0,2	0,2 – 0,16	0,16 – 0,1	0,1 – 0,08	0,08 – 0,063	0,063 – 0,045	> 0,045
Вміст, %										
1	5,21	9,53	16,70	17,29	15,80	17,28	8,19	4,93	4,17	0,90
2	4,86	10,53	17,20	17,60	14,78	18,53	7,45	4,30	3,94	0,81
3	6,00	8,42	15,74	17,13	16,35	16,87	9,65	4,43	4,46	0,95

Як видно із табл. 1, основна маса пилу, який осідає на дні димової труби, – це фракція менше 1 мм. Середній медіанний розмір частинок цього пилу 0,4 – 0,2 мм.

Середній медіанний розмір частинок, що утворюються при виплавці феросиліцію в печах постійного струму, та уловлених у фільтрі Немцова, коливається в межах 0,1 – 0,63 мм.

Із даних табл. 1 та 2 слідує, що гранулометричний склад зразків пилу, їх середній діаметр частинок істотно не відрізняються. Загалом фракція 0 – 1 мм обох матеріалів за відношенням дрібнодисперсних ча-

стинок задовольняє вимоги до проведення ефективно-го ущільнення при пресуванні.

На спектрометрі ТОВ «Елватех» спектральним методом визначили вміст компонентів у пробах пилу (табл. 3).

Таблиця 3

Хімічний склад проб пилу

Вміст, %	Назва компоненту								
	Al ₂ O ₃	Si+SiO ₂	P	S	K ₂ O	CaO	MnO ₂	Fe+Fe ₂ O ₃	CoO
1	0,05	55,85	0,08	0,06	0,38	15,16	0,10	28,30	0,02
2	0,05	56,01	0,07	0,06	0,38	15,31	0,03	28,06	0,03
3	0,05	56,36	0,08	0,07	0,37	14,30	0,10	28,65	0,02

Порівняльний аналіз вмісту основних компонентів пилу (Si+SiO₂, Ca, Fe+Fe₂O₃) та елементів шихтових матеріалів, які використовувалися при виробництві FeSi за існуючою технологією, показав їх незначну відмінність, що вказує на можливість його використання у шихті при виплавці феросиліцію після попередньої підготовки (отримання грудкованого матеріалу).

Для оцінки можливості промислового виробництва брикетів із пилу, що утворюється при виплавці феросиліцію в печах постійного струму, на заводі із виробництва брикетів для металургійної промисловості ТОВ «Конкрет» (м. Дніпродзержинськ) були проведені лабораторні та дослідно-промислові дослідження умов їх отримання. Дослідження полягали у виборі сполучної добавки, вивченні та визначенні фізико-механічних властивостей шихти, визначенні оптимальних технологічних параметрів її брикетування, отримання дослідної партії брикетів та оцінки їх міцності.

Однією із визначальних умов створення ефективної технології брикетування пилових відходів виробництва FeSi є правильний вибір сполучної речовини, яка повинна мати високі в'язучі властивості, містити мінімальну кількість шкідливих речовин (С, S та P) та відповідати вимогам щодо властивостей брикетів, які використовуються при виплавці феросиліцію. У лабораторних умовах в якості сполучних добавок до пилу були використані гашене вапно Ca(OH)₂ та порошокподібна органічна сполучна добавка (ОСД), що є відходом боршномельного виробництва.

Експериментальні дослідження у промислових умовах проводили на брикетній установці, яка включала змішувальний апарат, двохвалковий прес, дозуючий пристрій, сушильний апарат. Визначення щільності брикетів здійснювали на лабораторному пресі (ПСУ-250) при тиску пресування 8,0÷15 МПа.

Принципова технологічна схема експериментальних досліджень бри-

кетування пилових відходів виробництва феросиліцію та випробування брикетів на міцність приведена на рис. 1.

У лабораторних умовах проби пилу феросиліцію вологістю 1,0÷2,5 % змішували із сполучною добавкою та пресували на ручному гідравлічному пресі при тиску 0,8÷15,0 МПа. Унаслідок чого отримано брикети циліндричної форми розмірами: висота 50 мм, діаметр 30 мм. Характеристика шихтових матеріалів і результати експериментальних досліджень брикетування пилових відходів виробництва феросиліцію представлені в табл. 4.

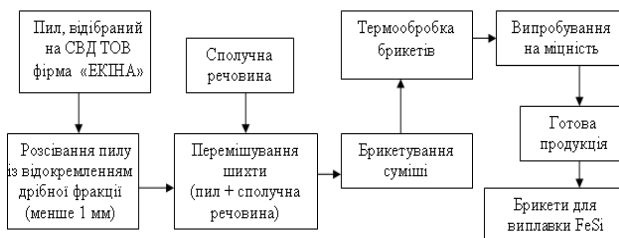


Рис. 1. Принципова технологічна схема лабораторних та дослідно-промислових досліджень процесу брикетування пилу виробництва FeSi та випробування брикетів на міцність

Таблиця 4

Характеристика шихти та результати експериментальних досліджень брикетування пилових відходів виробництва феросиліцію

№ проби	Матеріал, пил FeSi, %	Сполучна речовина	Кількість сполучної речовини, %	Насипна щільність вихідного пилу FeSi, г/см ³	Тиск пресування, МПа
1	2	3	4	5	6
1	Пилові відходи FeSi: проба №1* – 47,5; проба №2** – 47,5	Гашене вапно Ca(OH) ₂	5,0	2,55	5,0
2	Проба №1 – 45,0 Проба №2 – 45,0	Гашене вапно Ca(OH) ₂	10,0	2,65	5,0
3	Проба №1 – 47,5 Проба №2 – 47,5	Гашене вапно Ca(OH) ₂	5,0	2,55	15,0
4	Проба №1 – 45,0 Проба №2 – 45,0	Гашене вапно Ca(OH) ₂	10,0	2,65	15,0
5	Проба №1 – 49,5 Проба №2 – 49,5	ОСД***	1,0	2,45	2,5
6	Проба №1 – 49,0 Проба №2 – 49,0	ОСД	2,0	2,45	2,5
7	Проба №1 – 49,25 Проба №2 – 49,25	ОСД	1,5	2,40	5,0
8	Проба №1 – 49,25 Проба №2 – 49,25	ОСД	1,5	2,40	5,0
9	Проба №1 – 48,25 Проба №2 – 48,25	ОСД	3,5	2,38	10,0
10	Проба №1 – 48,25 Проба №2 – 48,25	ОСД	3,5	2,38	10,0

* – пил, уловлений у пилогазоочисній установці, – проба №1;

** – пил, відібраний на дні димової труби, – проба №2;

*** – порошокподібна органічна сполучна добавка – ОСД.

Проведено дослідження щільності отриманих брикетів на скидання із висоти 2 м на чугунну плиту (вихід класу - 5 мм) та на лабораторному пресі ПСУ-250 при тиску до 250 кг/см².

Кількість пилу (- 5 мм) у загальній масі скинутих брикетів FeSi при використанні у якості сполучної добавки гашеного вапна склала 12,8 %, а на органічній сполучній – 4,6 %. Таким чином, можна констатувати, що щільність брикетів на органічній сполучній добавці істотно вище, ніж на гашеному вапні.

Крім того, при пресуванні пилу FeSi із ОСД завдяки її еластичності при стисканні на ПСУ-250 брикети не розсипалися, а лише частково деформувалися, і практично не руйнувалися при падінні на цементну чи чугунну плиту.

Взагалі, враховуючи високі щільнісні властивості брикетів на органічній сполучній добавці, нижчі показники пресування при їх отриманні, порівняно із сполучною добавкою – Ca(OH)₂, застосування ОСД є перспективним та технологічно обґрунтованим. На основі результатів лабораторних досліджень оптимальними при пресуванні пилу FeSi фракції – 1 мм можна вважати 2,5 ÷ 3,5 % ОСД від загальної маси шихти.

На ТОВ „Конкрет” на двохвалковому пресі проведено дослідно-промислові випробування із брикетування пилу FeSi фракції 1 мм, вологістю ~1,5% при тиску пресування 2,5 ÷ 15,0 МПа. В якості сполучної речовини була використана органічна сполучна добавка, що є відходом борошномельного виробництва. Отримано близько 300 кг брикетів „пельменоподібної” форми (рис. 2). Результати досліджень брикетів, виготовлених на промисловому пресі, підтвердили дані лабораторних досліджень.



Рис. 2. Брикети, отримані при брикетуванні пилу FeSi на двохвалковому пресі

6. Висновки

Проведено експериментальні дослідження із брикетування пилу, який утворюється при виробництві FeSi. Встановлено, що при певних умовах із пилу можна отримати міцні брикети розміром 30×50 мм. До цих умов відносяться: тиск пресу 5-10 МПа,

гранулометричний склад пилу 0-1 мм, вологість – 1,0÷2,5 %, використання органічної сполучної добавки.

Після термічної обробки та досліджень брикетів на міцність при тиску 8,0÷15,0 МПа, встановлено, що вони задовольняють вимоги, які пред'являються до шихтових матеріалів, що використовуються при виплавці феросиліцію в печах постійного струму методом електрошлакового переплаву.

На заводі із виробництва брикетів для металургійної промисловості ТОВ «Конкрет» отримано дослідно-промислово партію брикетів (близько 300 кг). За результатами досліджень запропонована принципова технологічна схема отримання брикетів із шихти (пил + сполучна речовина). Розроблений метод підготовки пилу для електровиплавки дозволить забезпечити підвищення техніко-економічних показників переробки вторинної сировини та зменшити забруднення навколишнього середовища на підприємствах із виробництва феросиліцію в печах постійного струму.

Література

1. Пат. №66958 України, МПК С22С33/04, С22С38/02. Спосіб виробництва феросиліцію з шихти, що містить відходи виробництва феросплавів / С.Л. Борисенко, О.С. Борисенко, П.П. Говорунов, С.Ю. Коростильов, Б.І. Шукстельський; заявник та власник – С.Л. Борисенко. № 2004020952; заявл. 10.02.2004; опубл. 15.06.2004, Бюл. № 6.
2. Каненко, Г. М. Утилізація вторинних ресурсів підприємств чорної металургії [Текст] / Г. М. Каненко, А. Г. Злобин, В. В. Алхасова // Екологія і промисловість. – 2005. – №4 (5). – С. 26-28.
3. Бабакин, В. Н. Брикетирование отходов ферроплавного производства [Текст] / В.Н. Бабакин, А.Я. Еремин // Черная металлургия. Бюл. ин-та „Черметинформация”. – 2006. – №3. – С. 57-61.
4. Моделирование технологий брикетирования отходов ферросплавного производства. Сообщение 1 [Текст] / Б.Р. Маймур, В.А. Носков, В.И. Петренко и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2007. – №4. – С. 112-117.
5. Жуковский, Т.Ф. Исследование способа подготовки твердых отходов энергетических установок для извлечения соединений ванадия [Текст] / Т.Ф. Жуковский, С.А. Гринь // Вестник НТУ «ХПИ» – 2001. – Вып. 23. – С. 57-61.
6. Исследование физико-механических свойств мелкофракционных промышленных отходов, определяющих их поведение при брикетировании [Текст] / Носков В.А., Маймур Б.Н., Петренко В.И., Лебедь А.Т // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1998. - № 4. – С. 104-107.

Abstract

The article discusses the application of the method of briquetting as a method of preparation of ferroalloy production wastes for the melting, applying obtained pellets as a charge or additives to charge of the DC smelter. The main objective of the research is to develop the chemical and granulometric compositions of the wastes from production of ferrosilicon and to determine experimentally the optimum process parameters, which allow effective briquetting that will meet the requirements, when using briquettes, while smelting ferrosilicon by the method of

electroslag remelting in DC smelters.

The use of modern means, while determining the basic physical and chemical characteristics of wastes from the production of FeSi (chemical and granulometric composition, humidity, bulk density, flowability, etc.) allowed the formation of charge composition (wastes + bonding materials) to conduct research on its briquetting.

The experimental studies on wastes briquetting from the production of ferrosilicon with bonding materials were conducted. The compressible materials included dust from the smelting of ferrosilicon in furnaces of battery type, dust, caught in dust and gas cleaning units, and an organic additive. Pellets were obtained; their mechanical strength was determined.

The suggested method of obtaining the waste briquettes and their use while smelting FeSi will increase economic indicators of production and at the same time will improve the environmental situation in the area where an enterprise is located.

Keywords: wastes, dust, ferrosilicon, bonding material, briquetting, strength, DC smelter

Об'єктами розгляду в статті є дві модифікації відмовостійкої системи для джерел безперебійного електроживлення з конфігураціями $(N+M)$ та $2 \times (N+M)$, для яких передбачено профілактичне технічне обслуговування. Подані надійнісні моделі для обох конфігурацій відмовостійких систем джерел безперебійного електроживлення, які дозволяють дослідити залежність їх надійності від періодичності профілактичного технічного обслуговування

Ключові слова: джерело безперебійного електроживлення, технічне обслуговування, змішане резервування, відмовостійка система, надійнісне проектування

Объектами рассмотрения в статье являются две модификации отказоустойчивой системы для источников бесперебойного электропитания с конфигурациями $(N+M)$ и $2 \times (N+M)$, для которых предусмотрено профилактическое техническое обслуживание. Представлены надёжные модели для обеих конфигураций отказоустойчивых систем источников бесперебойного электропитания, которые позволяют исследовать зависимость их надёжности от периодичности профилактического технического обслуживания

Ключевые слова: источник бесперебойного электропитания, техническое обслуживание, смешанное резервирование, отказоустойчивая система, надёжное проектирование

УДК 621.311.68

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПРОФІЛАКТИЧНОГО ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ НА НАДІЙНІСТЬ ВІДМОВОСТІЙКОГО ДЖЕРЕЛА БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ

Б. А. Мандзій

Доктор технічних наук, професор*

E-mail: bmandziy@polynet.lviv.ua

Б. Ю. Волочій

Доктор технічних наук, професор*

Контактний тел.: 063-758-91-84

E-mail: bvolochiy@ukr.net

Л. Д. Озірковський

Кандидат технічних наук, доцент*

Контактний тел.: 067-673-34-45

E-mail: l.ozirkovsky@gmail.com

Д. С. Кузнєцов

Аспірант*

Контактний тел.: 063-167-35-23

E-mail: 111dk111@mail.ru

І. В. Кулик

Асистент*

Контактний тел.: 098-919-47-70

E-mail: kulyk.iw@gmail.com

*Кафедра теоретичної радіотехніки та радіовимірювання
Національний Університет «Львівська Політехніка»
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79000