

УДК 669.168

П.А. Кравченко, С.М. Балашов, О.Н. Сезоненко,
Ю.В. Иванов, Е.И. Шишкина

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА
ВТОРИЧНЫХ РЕСУРСОВ НА ПАО «ЗФЗ»**

Аннотация: Выполнено рассмотрение технологии изготовления и свойств брикетов, с различным составом шихтовых материалов, полученных с помощью шнекового (экструдерного) брикетировочного пресса.

Ключевые слова: пыль, сухая газоочистка, вторичное сырье, получение брикетов, шихта, шлам, экструдерный шнековый пресс.

Анотація: Виконано розгляд технологій виготовлення та властивостей брикетів, з різноманітним складом шихтових матеріалів, отриманих за допомогою шнекового (екструдерного) брикетувального преса.

Ключові слова: пил, суха газоочистка, вторинна сировина, отримання брикетів, шихта, шлам, екструдерний шнековий прес.

Abstract: Production technology and properties of the briquettes with different material composition were achieved. Briquettes were obtained by means of screw press.

Keywords: dust, dry gascleaner, secondary raw materials, briquettes obtaining, mixture, sludge, screw press.

Ежедневно на Запорожском заводе ферросплавов образуется до 60 тонн пыли сухих газоочисток ферросплавных печей.

Таблица 1

Химический состав пыли сухих газоочисток ПАО «ЗФЗ»

№ пп	Материал	Химический состав, %								
		Mn	SiO ₂	CaO+MgO	Al ₂ O ₃	Fe	Na ₂ O	K ₂ O	п.п.п	C _{об}
1	Пыль газоочистки цеха № 2	26,4	9,6	4,5	1,88	3,7	3,3	18,5	14,4	9,5
2	Пыль газоочистки цеха № 3	28,3	8,4	4,8	1,86	2,1	3,3	20,0	14,6	4,7

Сравнение приведенных данных с составом шихтовых материалов (содержание Na₂O+K₂O в руде – 0,21%; в шлаке - 3,73%; в агломерате - 2,28%) показало, что содержание соединений щелочных металлов в пылевидных продуктах почти на 1-2 порядка выше, чем в марганецсодержащих материалах.

В составе полученной пыли содержатся щелочные металлы Na₂O и K₂O в виде карбонатов и частично гидроксидов. Поэтому при добавлении небольшого количества воды данная пыль проявляет удовлетворительные связующие свойства. Пыль сухих газоочисток от выплавки ферросиликомарганца на 98-99% представлена фракцией – 0,063 мм и имеет насыпную массу 0,3 т/м³.

Таким образом, с учетом химического состава и физических свойств:

- пыль газоочисток марганцевых печей является ценным вторичным сырьем;
- использование вторичного сырья возможно только после подготовки – получения брикетов.

С другой стороны – переработка брикетов изготовленных исключительно из пыли газоочисток неэффективно ввиду довольно низкого содержания марганца. Для регулирования содержания Mn в брикете необходимо введение в состав брикета компонентов с высоким содержанием марганца.

Кроме того, анализ используемых на заводе шихтовых материалов показывает значительное содержание мелкой фракции:

- кокс фракции 0-8 мм – 15%;
- марганцевая руда 1с - фракция 0-5 мм – 32%;
- марганцевая руда 1Б – фракция 0-5 мм – 19,4%;
- агломерат - фракция 0-5 мм – 15%.

Таблица 2

**Качественные характеристики фракции "-1мм" и "1-3мм"
в марганецсодержащем сырье**

Показатель	Руда марганцевая сорт 1с.		Руда карбонатная 1 сорт		Руда ЮАР, M1L		Агломерат AM-2	
	Фракция, %							
	< 1 мм	1-3 мм	< 1 мм	1-3 мм	< 1 мм	1-3 мм	< 1 мм	1-3 мм
Mn	36	42,3	27,2	26	36,3	37,1	32,7	40,4
Fe	0	0			6,2	6	4	3,2
P	0,2	0,19	0,19	0,21	0,04	0,04	0,25	0,26
CaO							5,8	5,8
SiO ₂	16,4	11,8	16,2	19,8			20	19
Влага	12,6	11,8	28,1	30	3,6	3	1,5	1

Сводная информация по содержанию мелкой фракции в Mn-содержащем сырье и коксах, а также их качественные показатели представлены в таблице 3.

Таблица 3

**Содержание мелкой фракции в Mn-содержащем сырье и коксах,
качественные показатели**

Наименование	Фракционный состав руд			
	Содержание фракций, %			
	менее 1 мм	1-3 мм	3-5 мм	более 5 мм
Руда 1 сорт	8,3	9,2	12,7	69,8
Агломерат AM-2	3	1,5	3,6	91,9
Руда ЮАР, M1L	12,6	7,5	9,4	70,5
Руда Австралия, LF	8,8	5,5	7,1	78,6
Руда карбонатная 1 сорт	0	0,6	2,9	96,5

Рассев коксовой мелочи фракции 0-8мм показан в таблице 4.

Таблица 4

Рассев коксовой мелочи фракции 0-8мм

Фракция, %				
менее 1 мм	1-3 мм	3-5 мм	5-10 мм	более 10 мм
35,1	47,1	13,5	3,4	0,9

Опыт производства марганцевых ферросплавов в мощных электропечах свидетельствует, что повышение количества мелких фракций (<5 мм) в шихтовых материалах приводит к нарушению стабильности режима плавки, повышению удельных расходов сырья и электроэнергии [2]. Также мелкодисперсные материалы выносятся из ферросплавных печей на газоочистку и практически возвращаются в технологическом цикле.

Проблема использования мелкодисперсных шихтовых материалов и переработки, утилизации пыли газоочисток ферросплавного и электроплавильного производств рассматривается практически на всех металлургических предприятиях как приоритетное направление совершенствования технологии. Традиционно решение проблемы рассматривается в трех направлениях:

- агломерация;
- применение специальных конструкций печей;

- брикетирование и производства окатышей.

Технология агломерации отработана достаточно хорошо и может считаться наиболее массовой в настоящее время. При этом существует ряд причин по которым ее применение не эффективно.

Печи постоянного тока специальной конструкции разрабатываются ведущими производителями – ярким примером является строительство печей SMS group [3] в Казахстане, [4].

В настоящее время брикетирование не получило широкого распространения в отечественной практике, хотя с точки зрения технологии и экономики производства оно имеет ряд преимуществ [1]:

- брикеты имеют одинаковую правильную форму и вес, они обладают относительно высокой прочностью и лучшей транспортабельностью, достаточной для ферросплавного передела;

- количество оборотного продукта при брикетировании не более 2% в отличие от агломерации, где количество мелкой оборотной фракции составляет 20-25% от общего количества потока шихты;

- весь кислород руды в брикете остается активным, в агломерате же он находится в связанном состоянии (в виде силикатов), первое особенно важно для металлургического производства;

- экологическая безопасность брикетов (безотходность, отсутствие высоких температур при изготовлении);

- возможность использования всех видов тонкодисперсных отходов металлургического передела.

В качестве связующих веществ традиционно используются бентонитоподобные глины, жидкое стекло, сульфит-спиртовая барда и другие продукты и отходы смежных отраслей промышленности.

На ПАО ЗФЗ накоплен большой опыт использования окатышей из пыли газоочисток для выплавки марганцевых сплавов. Данный способ эффективный, но имеет свои ограничения связанные с возможностью влиять на химический состав окатышей и ограничением по их переработке.

Дальнейшее развитие технологии на заводе рассматривается через внедрение технологии получения брикетов с помощью шнекового (экструдерного) брикетировочного пресса. При этом наличие на заводе пыли газоочисток с хорошими связующими свойствами делает применение технологии брикетирования экономически привлекательным. Кроме того в качестве связующего и пластификатора рассматривается использование шлама мокрых газоочисток.

Таблица 5

Химический состав шлама мокрых газоочисток

№ пп	Материал	Химический состав, %						W, %	Взвешенные вещества, г/дмЗ
		MnO	SiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	SO ₃		
1	Шлам мокрых газоочисток	28,3	8,4	25,35	3,45	1,11	3,67	83,76	169,19

Разработка технологии выполнена на основе изучения физических свойств брикетов полученных опытным путем.

Оценка физико-химических свойств полученных марганцевых брикетов выполнена на базе двух типов брикетов:

- брикет 1: пыль сухих газоочисток + шлам мокрых газоочисток печей марганцевых сплавов;

- брикет 2: пыль сухих газоочисток + отсеvy кокса + пыль газоочистки известковой печи + шлам мокрых газоочисток печей марганцевых сплавов.

Изготовление брикетов выполнено с помощью шнекового (экструдерного) брикетировочного прессы.

Изучение свойств полученных брикетов выполнено путем проведения лабораторных испытаний полученных образцов (таблица 6, 7).

Таблица 6

Свойства полученных брикетов							
Химический состав, %	Mn	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	S	P
Брикет 1 (Пыль ГО + шлам)	28,4	9	5	2	2,5	1,7	0,28
Брикет 2 (Пыль ГО+ отсева кокса+ Пыль извести+ шлам)	20,6	12,6	10,6	2,4	2,6	1,7	0,28
Наличие летучих, %							
Брикет 1					14,5		
Брикет 2					16,9		
Влага, %							
Брикет 1					14,9		
Брикет 2					17,4		

Таблица 7

Свойства полученных брикетов							
Прочность		Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4	Среднее значение, Н/см ²	кг/см ²
Брикет 1	Влажные, Н/см ²	571,4	628,6	585,7	571,4	589,3	58,9
	Сухие, Н/см ²	557,1	871,4	942,9	857,1	807,1	80,7
Брикет 2	Влажные, Н/см ²	111,4	128,6	105,7	134,3	120,0	12,0
	Сухие, Н/см ²	714,3	800,0	685,7	571,4	692,9	69,3
Прочность брикетов после термостатических испытаний							
Образец 1							
Т отжига, °С	300	400	500	600	700	800	900
Прочность, Н/см ²	610	-	600	590	260	300	150

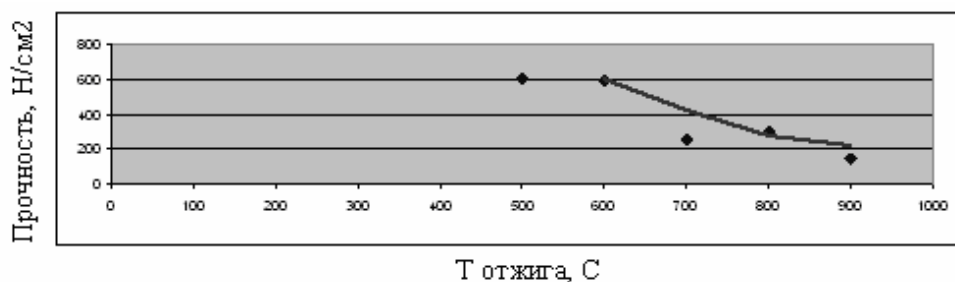


Рисунок 1 – График зависимости прочности брикетов от температуры

Снижение прочности наблюдается после нагрева брикета более 600°C .

У офлюсованных окатышей удовлетворительного качества сопротивление раздавливанию составляет $357\text{-}342\text{ Н/см}^2$ ($35,7 - 34,2\text{ кг/см}^2$), у неофлюсованных $357\text{-}428\text{ Н/см}^2$ ($35\text{-}42\text{ кг/см}^2$) (значения приведены к размерам наших образцов $S=7\text{ см}^2$).

Оценка термической стойкости брикета выполнена на данных, полученных при испытаниях. 7 образцов каждого типа брикетов разогревались в муфельной печи с шагом 100°C до температуры 1000°C . Скорость нагрева $100^{\circ}\text{C} / 5\text{ мин}$.

При этом образцы доставались попарно на температурах 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900°C .

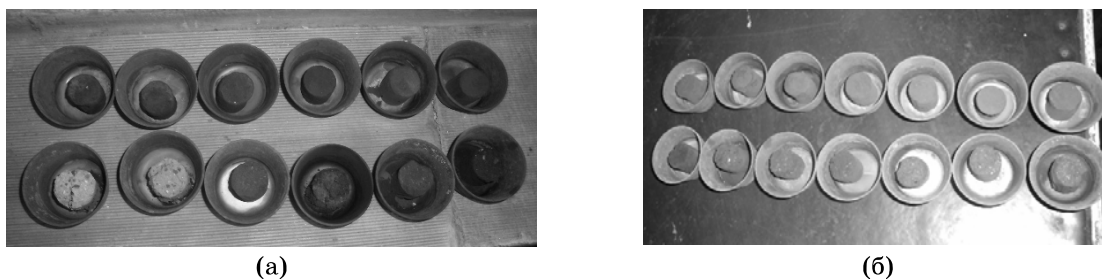


Рисунок 2 – Брикет 1 (а), брикет 2 (б) при оценке термической стойкости

Брикеты сохранили прочность и форму.

В брикете 1 растрескивания отсутствуют.

В брикете 2 первые трещины появились при 400°C .

Прочность брикетов в два раза выше, чем у окатышей. С ростом температуры более 600°C прочность брикетов снижается.

Организация изготовления брикетов на ПАО ЗФЗ

Технологическая схема производства пылевых брикетов показана на рисунке 3.

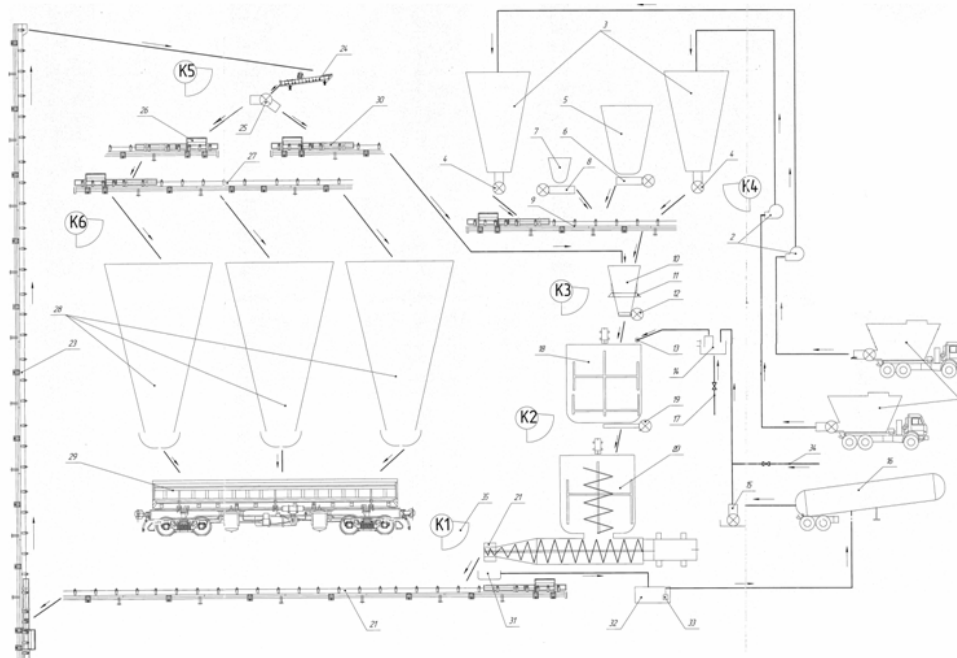


Рисунок 3 – Технологическая схема производства пылевых брикетов
транспортировка и разгрузка

Транспортировка пыли от бункеров сухих газоочисток плавильных цехов №№1,2,3 выполняется двумя автопоездами с бункерами объемом $6,6\text{ м}^3$ и $8,8\text{ м}^3$ (поз.1.)

Разгрузка автопылевозов осуществляется, независимо, с помощью 2-х водокольцевых вакуумных насосов ВВН-1-25-01-01 (поз.2) в накопительные бункера (поз.3) объемом $V=45 \text{ м}^3$ и $V=32 \text{ м}^3$, через осадительные камеры и фильтровальные блоки рукавных фильтров ФРИ-15 с импульсной регенерацией, по двум независимым линиям подачи пыли.

Транспортировка различных добавок (другие необходимые компоненты) осуществляется в саморазгружающихся контейнерах (кюбелях) автотранспортом. Шлам мокрых газоочисток $W=80\%$ транспортируется автоцистерной ТЦ-13,1 $V=12 \text{ м}^3$ (поз.16) и находится в ней до полной выработки.

Подача материалов, дозирование, смешивание

Из накопительных бункеров пыли (поз.3), коксовой мелочи (поз.5), добавок (поз.7) материалы подаются, через питатели и тетки, в дозировочный бункер (поз.10), где на тензометрических весах НВП-2000 (поз.11) выполняется навеска материалов в требуемом соотношении.

Шлам с автоцистерны (поз.16) шламовым насосом ПГН-25-30-Д (поз.15) подается в дозировочный бак для шлама (поз.14), к которому подведен трубопровод сжатого воздуха (поз.17). С помощью давления воздуха и камерного насоса, находящегося в дозировочном баке, осуществляется порционная подача шлама (связующего) в смеситель (поз.18). Количество порций определяется влажностью сырья и установленной дозировкой.

Дозированная смесь из бункера (поз.10) выгружается в смеситель $V=1,3 \text{ м}^3$ (поз.18), где она перемешивается и увлажняется через форсунки (поз.13) порцией шлама. Время смешивания до 5 мин.

Подготовленная смесь из смесителя (поз.18) через шиберный затвор (поз.19) выгружается в приемник (подпрессовщик) шнекового пресса ПШ 5000 (поз.20).

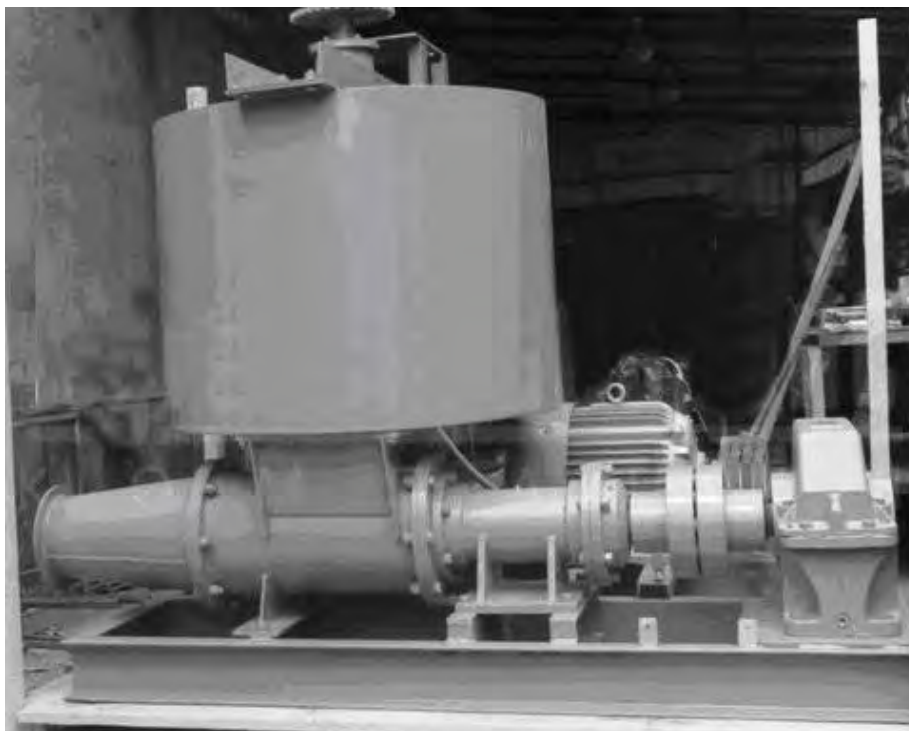


Рисунок 4 – Вид шнекового пресса ПШ 5000

Шнековые (экструдерные) брикетировочные прессы, благодаря высокому давлению в конусных камерах сжатия (около 2000 кг/см.кв.) позволяют изготовить высококачественные брикеты из самых разнообразных сыпучих материалов. Принцип действия экструдерных прессов обуславливается самим принципом технологического процесса экструзии.

Технические характеристики прессы ПШ 5000

Шнековый пресс	ПШ 5000
Производительность	5000 кг/час
Усилие прессования	До 20 тонн
Давление прессования	275 кг/см
Частота вращения шнека подпрессовщика	5-35,5 об/мин
Привод-электродвигатель: Мощность	30 кВт
Мотор редуктор подпрессовщика, Мощность электродвигателя	3 кВт

В следствии давления создаваемого шнеком прессы на смесь в ней происходят адгезивно-химические процессы заставляющие мелкодисперсные частицы связываться между собой. В результате смесь, проходя через разогретую нагревателем (поз.21) фильеру, образует брикеты диаметром 30 мм.

Брикеты после выхода из фильеры попадают на ленточный конвейер (поз.21) и проходят через камеру предварительной сушки где установлены два инфракрасных нагревателя UFO-1800.

Далее брикеты с ленточного конвейера (поз.21) попадают на ленточный элеватор (поз.23), питатель (поз.24), ленточные конвейера (поз.26 и поз.27) в бункера готовой продукции (поз.28), где происходит их досушивание естественным путем. Избункеров готовые брикеты отгружаются в ж.д. вагоны и отправляются в цех для дальнейшей переработки.

Время выдержки брикетов перед подачей в печь определяется на этапе отработки технологии.

Выводы

На основании результатов проведенных исследований установлена целесообразность совместного брикетирования мелких фракций марганцевой руды с пылью газоочисток производства ферросиликомарганца, которая содержит до 20% марганца. При этом исключаются добавки специальных связующих веществ. Роль связующего материала по данному способу будет выполняться пылью газоочисток, за счет содержащихся в ней соединений щелочных элементов. Утилизация пыли в виде связующего при брикетировании позволит использовать для производства стандартных марок ферросиликомарганца некондиционную по фракции марганцевую руду или концентраты. Одновременно решается проблема утилизации пыли, снижается себестоимость предела по окускованию, увеличивается сквозное использование марганца.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Толымбекова Л.Б. Использование пыли сухих газоочисток производства ферросиликомарганца. Инновационный Евразийский университет, Казахстан/ Изв вузов. Черн. Металлургия, 1998, №8.- 34–38 с.
2. Мянновская, Я.В. Теоретический анализ формирования фаз при тепловой обработке мелкозернистых марганцевых концентратов 2 сорта [Текст] / Мянновская Я.В., Камкина Л.В., Грищенко Ю.Н. // Международные конференции: Литье: Металлургия. - Запорожская торгово-промышленная палата, 2014. - 355-357 с.
3. Dr. Rolf Degel, Dr. Christian Frohling, Martin Koneke, Erik Hecker, Hermen Oterdoom, Andrew van Niekerk. History and new milestones in submerged arc furnace technology for ferroalloy and silicon production /INFACON XIV. Energy efficiency and environmental friendliness are the future of the global ferroalloy industry. – К.,2015. – 7-16 с.
4. L.J.Erasmus, L.J.Fourie. ESS Smelting technology enabling FeNi smelting from limote/ INFACON XIV. Energy efficiency and environmental friendliness are the future of the global ferroalloy industry. – К.,2015. – 210-218 с.