



УДК 669.15–198, 669.054.83

УТИЛИЗАЦИЯ АСПИРАЦИОННОЙ ПЫЛИ, ОБРАЗУЮЩЕЙСЯ ПРИ ВЫПЛАВКЕ ФЕРРОСИЛИКОМАРГАНЦА В РУДОВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ДУГОВЫХ ПЕЧАХ

С. Л. РОВИН, А. М. КАРИМОВ, Б. Р. ФОЗИЛОВ, *Металлургический научный центр, АО «Узметкомбинат», г. Бекабад, Узбекистан. E-mail: s.rovinsl@uzbeksteel.uz.*

Представлены результаты исследований, направленных на решение задачи рециклинга аспирационной пыли, образующейся при выплавке ферросиликомарганца в рудовосстановительных электродуговых печах. Были разработаны состав и технология изготовления брикетов из образующихся пылевидных отходов, а также специальная методика лабораторных исследований этих брикетов, позволившая оптимизировать их состав, определить критерии качества брикетов и методы их контроля. Апробация полученных брикетов в производственных условиях показала, что они вполне могут использоваться в качестве компонента шихты при выплавке ферросиликомарганца взамен традиционной кусковой марганцевой руды. Полученные результаты дают возможность практически полностью утилизировать аспирационную пыль выплавки ферросплавов (вернуть в производство содержащийся в пыли марганец), значительно уменьшив количество подлежащих захоронению техногенных отходов (на 30–35%), и на 13–15% сократить потребности в марганецсодержащем сырье.

Ключевые слова. Ферросиликомарганец, рудовосстановительная печь, пылевидные отходы, брикетирование, рециклинг.

UTILIZATION OF ASPIRATION DUST GENERATED DURING THE SMELTING OF FERROSILICON MANGANESE IN ORE-RECOVERY ARC FURNACES

S. L. ROVIN, A. M. KARIMOV, B. R. FOZILOV, *Metallurgical Scientific Center, Uzmetkombinat JSC, Bekabad, Uzbekistan. E-mail: s.rovinsl@uzbeksteel.uz.*

The results of research aimed at solving the problem of recycling aspiration dust formed during the smelting of ferrosilicon manganese in ore-reducing electric arc furnaces are presented. During the work, the composition and technology of manufacturing briquettes from the resulting pulverized waste were developed, as well as a special technique for laboratory studies of these briquettes, which made it possible to optimize their composition, determine the quality criteria of briquettes and methods of their control. The approbation of the obtained briquettes in production conditions showed that they can well be used as a component of the charge in the smelting of ferrosilicon manganese instead of traditional lump manganese ore. The results obtained make it possible to almost completely utilize the aspiration dust of ferroalloy smelting (return the manganese contained in the dust to production), significantly reducing the amount of technogenic waste to be disposed of (by 30–35%), and reduce the need for manganese-containing raw materials by 13–15%.

Keywords. Ferrosilicon manganese, ore recovery furnace, pulverized waste, briquetting, recycling.

Введение

Черная металлургия – один из основных источников промышленных выбросов и техногенных отходов. В целом на предприятиях отрасли образуются сотни миллионов тонн отходов, которые постоянно накапливаются в отвалах, шламохранилищах и на промышленных полигонах. При этом в составе большинства этих отходов содержатся ценные компоненты, в первую очередь металлы, востребованные в производстве. К таким потенциально ценным техногенным отходам относятся и большая часть отходов ферросплавного производства: аспирационные пыли выплавки большинства ферросплавов (их образование составляет от 6–8 до 15–20% от количества производимых сплавов), а также пыли и мелочь их дробления и отсева [1].

Несмотря на несомненную ценность, рециклинг этих отходов представляет большие трудности, что связано в первую очередь с их высокой дисперсностью, неоднородностью и нестабильностью состава. Абсолютное большинство плавильных агрегатов металлургических и литейных цехов не приспособлено для работы с такими материалами. Традиционная шихта для дуговых, индукционных, отражательных и шахтных печей должна иметь стабильный химический и оптимальный кусковой состав, как правило, с медианным размером не менее 30–50 мм.

Подготовка тонкодисперсных и неоднородных отходов требует проведения их гомогенизации (усреднения состава), удаления ненужных и вредных примесей (обогащения) и избыточной влаги, а также компактирования (окускования). Все эти операции являются затратными, трудо- и энергоемкими. Наиболее популярным процессом окускования является брикетирование. Но изготовление брикетов для каждого материала требует поиска оптимального состава (имеет значение не только химический состав, но и гранулометрия компонентов), способов приготовления смеси и уплотнения. Брикет должен обладать не только заданными размерами, но и требуемой плотностью, объемной и поверхностной прочностью, достаточной для их транспортировки, складирования, дозирования и подачи в реакционную зону печи. При этом брикеты должны иметь минимальное количество связующего и влаги, чтобы не ухудшать технические параметры плавки [2, 3].

Основными техногенными отходами ферросплавного производства АО «Узметкомбинат» являются печные шлаки и аспирационные пыли, образующиеся в процессе выплавки ферросплавов в рудовосстановительных дуговых печах, а также в процессе дробления и отсева ферросплавов. Наибольшую ценность при этом представляют пыли дробления – их химический состав фактически эквивалентен готовой продукции ферросплавного производства (ФС45, ФС65, МнС-17), однако количество их весьма незначительно, составляет около 0,20–0,25 % от массы готовой продукции – ферросплавов. Среднее образование пыли дробления ферросплавов на комбинате сегодня составляет около 50–55 т в год. Пыль выплавки ферросилиция состоит в основном из микрокремнезема (~80 % и более) и может использоваться как добавка в цементные и бетонные растворы (его стоимость в Узбекистане составляет около 30–35 \$ за тонну). Печные шлаки плавки ферросплавов не составляют особой ценности, они практически не содержат металла, а количество представляющего интерес оксида марганца не превышает 5–8 %. Из неиспользуемых сегодня отходов наибольший интерес представляет аспирационная пыль выплавки ферросиликомарганца, в которой среднее содержание MnO колеблется в пределах 24–28 %, что сопоставимо с содержанием оксида марганца в рудном концентрате – 36–44 %. Среднее образование пыли выплавки ферросиликомарганца МнС-17 составляет около 20 % от объема получаемого сплава – до 2500 т в год. Таким образом, возвращение этой пыли в производство является важным и с экономической, и с экологической точки зрения. Ниже представлены результаты решения этой задачи.

Методика исследований

Стандартной методики для исследования свойств брикетов из техногенных отходов нет, соответственно для определения оптимального состава, способа смешивания компонентов и технологии изготовления брикетов из аспирационной пыли выплавки ферросиликомарганца была разработана оригинальная методика лабораторных исследований, основанная на методах испытания формовочных смесей (ГОСТ 23409-78), строительных (ГОСТ 8462-85 и ГОСТ 310.4-81) и огнеупорных материалов (ГОСТ 4071-2021), позволившая достаточно оперативно и с минимальными затратами решить поставленные задачи.

Для приготовления брикетировочной смеси использовали лабораторный катковый смеситель. Влажность исходных материалов контролировали на приборе ускоренного определения влажности с функцией автоматического взвешивания в процессе сушки. Для испытаний на прочность при сжатии в сыром и отвержденном состоянии на лабораторном копре изготавливали цилиндрические образцы диаметром 50 мм, такие же образцы использовали при проведении испытаний на осыпаемость после отверждения. Испытания в отвержденном состоянии проводили также на прочность при изгибе на образцах типа балочка с прямоугольным сечением 25×25 мм. Изготовление образцов осуществляли с помощью лабораторного копра. Прочностные испытания в сыром состоянии на сжатие и в сухом состоянии на изгиб проводили на лабораторной испытательной машине 04116Б, в сухом состоянии на сжатие – на гидравлическом прессе П-125 (рис. 1).

Исследовали варианты составов брикетов на жидкостекольном, органическом и цементном связующем. Наилучшие результаты, исходя из критериев наибольшей удельной прочности (прочность, отнесенная к содержанию связующего) и минимальной стоимости брикетов, были получены при использовании цементной связующей композиции. При оптимизации состава на цементной связке варьировали относительное количество связующего (табл. 1), а при оптимальном содержании связующего исследовали влияние количества воды на прочность брикетов. В качестве пороговой (минимально достаточной) прочности брикетов принимали значение 3,5 МПа при испытаниях на сжатие в отвержденном состоянии, которое соответствует прочности брикетов из рудного концентрата, используемых на комбинате в качестве одного из компонентов шихты.

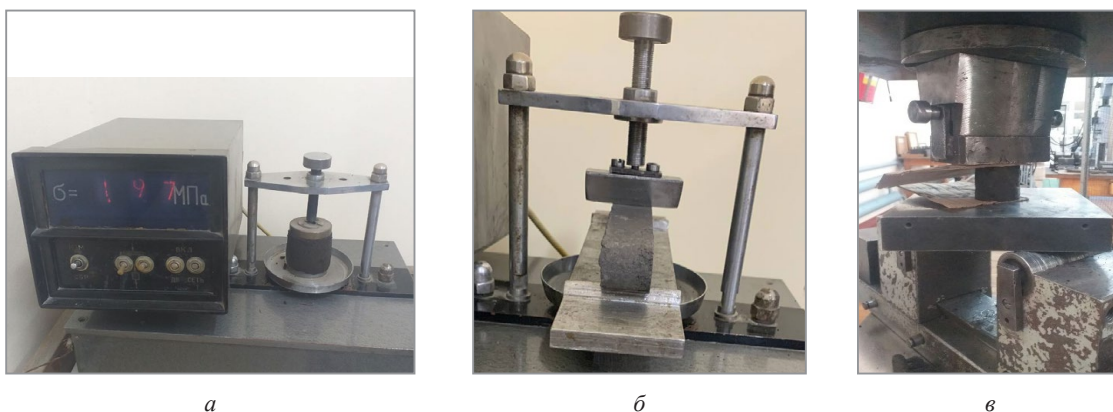


Рис. 1. Прочностные испытания образцов из брикетировочной массы:

a – на сжатие сырых образцов; *б* – на изгиб отвержденных образцов; *в* – на сжатие отвержденных образцов

Таблица 1. Рецепт смеси для брикетов на цементном связующем

Наименование компонентов смеси	Содержание, %				
	90	93	95	97	100
Пыль газоочистки выплавки ферросиликомарганца	90	93	95	97	100
Цементное связующее	10	7	5	3	0
Вода сверх (100%)	12	12	12	12	12

Результаты лабораторных исследований и производственных испытаний

Результаты исследования влияния количества цементного связующего и воды на прочностные характеристики брикетов приведены на рис. 2 и в табл. 2.

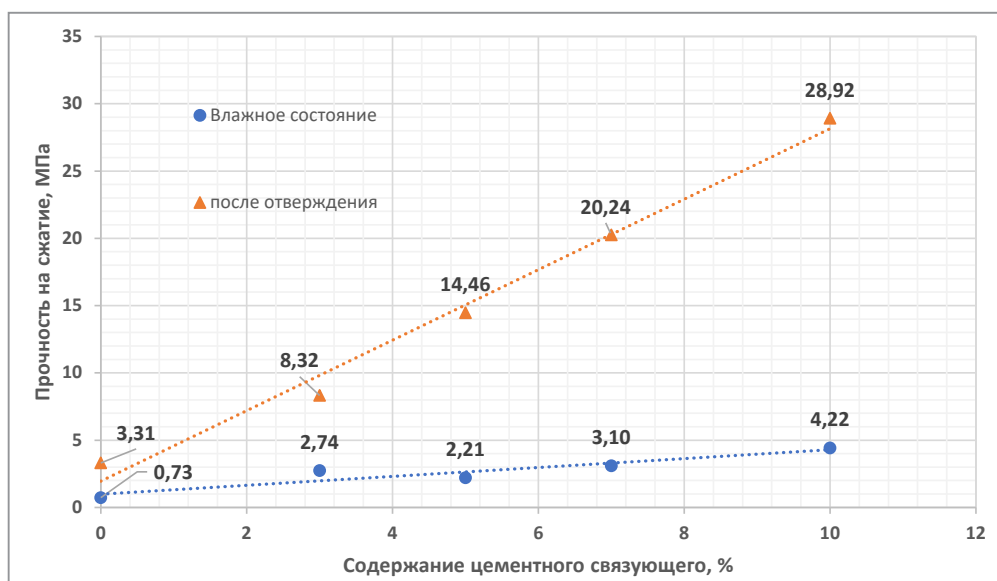


Рис. 2. Зависимость прочности брикетов на сжатие от содержания связующего

Таблица 2. Влияние содержания воды на прочность брикетов

Состав брикетировочной смеси	Вода сверх 100%	Прочность на сжатие, МПа	
		в сыром состоянии	в отвержденном состоянии
Пыль газоочистки выплавки ферросиликомарганца 97%	7	0,45	0,90
	8	0,51	1,03
	9	0,68	1,56
Цементное связующее 3%	10	0,94	3,29
	12	2,74	8,32

Из рис. 2 видно, что прочность брикетов как в сыром состоянии, так и после отверждения практически линейно растет с увеличением содержания связующего. Окончательный выбор состава брикетов осуществляли исходя из принципа, что содержание связующего и влаги должно быть минимальным, но достаточным, чтобы обеспечить требуемые физико-механические и технологические свойства, т.е. исключить или минимизировать разрушение брикетов. На основании практических данных были определены пороговые значения прочности брикетов: сырая прочность при сжатии – не ниже 1 МПа, прочность отвержденных брикетов при сжатии – не ниже 3,5 МПа. В качестве рабочего состава брикетов был принят следующий: пыль – 97%, связующее – 3, вода сверх 100% – 12%. Фазовый химический состав полученных брикетов приведен в табл. 3.

Таблица 3. Химический состав брикетов из аспирационной пыли плавки MnC-17, %

MnO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	P	S
24,65	26,60	5,34	11,75	6,82	6,93	0,37	5,7

На завершающей стадии исследований проводили производственные испытания брикетов с оценкой степени их разрушения при транспортировке, дозировании и подаче в плавильную печь, определяли также коэффициент усвоения и удельные энергозатраты при восстановительной плавке. Приготовление смеси осуществляли в шнековом смесителе непрерывного действия, изготовление брикетов – на валковом прессе с размером ячеек: Ø50×30 мм. Полученные брикеты показаны на рис. 3.



Рис. 3. Брикеты из пыли плавки ферросиликомарганца: а – общий вид, б – опытная партия

Изготовленные брикеты при минимальном содержании связующего (~3%) имели достаточную сырую прочность – 2,74 МПа и высокую прочность после отверждения на воздухе – 8,3 МПа, что почти в 2,5 раза выше прочности покупных брикетов из рудного сырья. Это обеспечило минимальные потери материала в процессе сушки, транспортировки, складирования и подачи брикетов по системе конвейеров от суточных бункеров в рабочее пространство рудовосстановительной печи: суммарные потери (степень разрушения брикетов) составили менее 5%, при том, что степень разрушения покупных брикетов из рудного сырья, как правило, 25–30%.

Опытную партию брикетов (~40 т) использовали в процессе выплавки ферросиликомарганца вместо традиционных брикетов из рудного концентрата и в том же отношении к остальным компонентам шихты: марганцевая руда – 85%; марганцевый концентрат – 10; брикеты из аспирационной пыли – 5%.

Коэффициент восстановления и усвоения марганца из полученных брикетов в процессе плавки составил 80–85%, что соответствует показателям рудных материалов. Выплавка ферросиликомарганца с использованием брикетов прошла без замечаний и практически не повлияла на ход плавки и объемы выбросов. Полученный в результате ферросиликомарганец полностью соответствовал требованиям ГОСТ 4756-91 к сплаву марки MnC-17. Выявленное по результатам опытной плавильной кампании некоторое увеличение удельного расхода электроэнергии составило около 0,5–0,8%, что вполне коррелирует с относительной разницей содержания марганца в брикетах из аспирационной пыли (~19%) и рудного концентрата (~32%).

Выводы

Производственные испытания – выплавка ферросиликомарганца с использованием брикетов из аспирационной пыли рудоплавильной печи показали, что полученные брикеты являются полноценной заменой традиционной марганецсодержащей шихты. Разработанные технические решения позволяют на 13–15% сократить количество закупаемой марганцевой руды (~ на 2000 т ежегодно) и примерно на 30–35% сократить количество захораниваемых сегодня техногенных отходов ферросплавного производства. Ожидаемый суммарный эффект от рециклинга пылевидных отходов ферросплавного производства для комбината составит около 1 млн. долларов в год.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Лисин, В. С.** Ресурсоэкологические проблемы XXI века и металлургия / В. С. Лисин, Ю. С. Юсфин. – М.: Высшая школа, 1998. – 447 с.
2. **Проценко, Т. Л.** Экспериментальные исследования процесса брикетирования пыли производства ферросилиция / Т. Л. Проценко, Е. Ф. Жуковский // Вестник БГТУ им. Шухова. – 2014. – № 6. – С. 187–191.
3. **Носков, В. А.** Исследование технологических параметров и режимов получения брикетов из металлургических отходов / В. А. Носков // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2002. – № 5. – С. 115–117.

REFERENCES

1. **Lisin V.C., Jusfin Ju.S.** *Resursojekologicheskie problemy XXI veka i metallurgija* [Resource and environmental issues of the 21st century and metallurgy]. Moscow, Vysshaja shkola Publ., 1998, 447 p.
2. **Procenko T.L., Zhukovskij E.F.** *Jeksperimental'nye issledovanija processa briketirovanija pyli proizvodstva ferrosilicija* [Experimental studies of the process of briquetting dust from ferrosilicon production]. *Vestnik BGTU im. Shuhova = Bulletin of the BSTU named after Shukhov*, 2014, no. 6, pp. 187–191.
3. **Noskov V.A.** *Issledovanie tehnologicheskikh parametrov i rezhimov poluchenija briketov iz metallurgicheskikh othodov* [Study of technological parameters and modes of obtaining briquettes from metallurgical waste]. *Metallurgicheskaja i gornorudnaja promyshlennost' = Metallurgical and mining industry*, 2002, no. 5, pp. 115–117.