

РЕЦИКЛИНГ АСПИРАЦИОННОЙ ПЫЛИ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ ПЛАВКИ ФЕРРОСИЛИКОМАРГАНЦА

Аннотация. В статье представлены результаты лабораторных исследований и производственных испытаний, направленных на решение проблемы рециклинга аспирационной пыли, образующейся при выплавке ферросиликомарганца в рудовосстановительных электродуговых печах АО «Узметкомбинат». В ходе выполнения работы была разработана специальная методика изготовления и исследования образцов брикетов в лабораторных условиях, позволившая значительно снизить трудоемкость исследований и ускорить достижение результатов. Исследования позволили разработать и оптимизировать состав брикетов и технологию их изготовления, 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), на 13-15% уменьшив количество подлежащих захоронению техногенных отходов, и на 6-8% сократить потребности в марганецсодержащем сырье при соответствующем снижении себестоимости конечной продукции.

Ключевые слова: ферросиликомарганец, рудовосстановительная печь, пылевидные отходы, брикетирование, рециклинг

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, создавая серьезную экологическую опасность [1, 2]. При этом в составе большинства этих отходов содержатся ценные компоненты, в первую очередь востребованные в производстве металлов. К таким потенциально ценным техногенным отходам относятся и значительная часть отходов ферросплавного производства: аспирационные пыли выплавки большинства ферросплавов, а также пыли и мелочь их дробления и отсева [3].

Пыль дробления ферросплавов имеет дисперсность от десятых долей до нескольких миллиметров и состав аналогичный составу ферросплавов, при дроблении которых она образовалась. Задача её возвращения в производство достаточно успешно решена уже на многих предприятиях: пыль дробления брикетируют, как правило, с добавлением цемента и используют так же, как обычные кусковые материалы, для легирования металла в печи, в ковше и установках внепечной обработки. Однако количество образования пыли дробления относительно невелико и составляет не более 0,2-0,25% от объема производства ферросплавов [4].

Аспирационные пыли плавки ферросплавов образуются в значительно больших количествах – от 7-10 до 20-25% от объема производимых сплавов. Однако рециклинг этих пылей представляет серьезные трудности, что связано, в первую очередь, с их высокой дисперсностью (от 0,1-0,3 до 40-60 мкм), неоднородностью и нестабильностью состава. Как правило, металлы, содержащиеся в них, находятся в оксидах или

более сложных соединениях. Их восстановление может быть реализовано в тех же рудотермических печах, однако это требует предварительной гомогенизации, в некоторых случаях сушки и обогащения, и обязательного окускования, так как ни дуговые, ни шахтные печи не могут работать с тонкодисперсными материалами [3, 5].

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), технологии приготовления смеси (последовательность ввода компонентов, продолжительность и способы перемешивания компонентов) и способов уплотнения. Брикет должен обладать не только заданными размерами, но и требуемой плотностью, объемной и поверхностной прочностью, достаточной для их транспортировки, складирования, дозировки и подачи в реакционную зону печи. При этом брикеты должны иметь минимальное количество связующего и влаги, чтобы не ухудшать технические параметры плавки [6 - 8].

На АО «Узметкомбинат» ежегодно изготавливается около 10000 т ферросиликомарганца MnC-17, используемого для нужд собственного электросталеплавильного производства, при этом ежемесячно образуется 200-220 т аспирационной пыли, то есть в среднем около 2500 т в год. Содержание MnO в этой пыли колеблется в пределах 24-28%, что сопоставимо с содержанием оксида марганца в руде (36-44%), используемой в качестве основного шихтового материала. С аспирационной пылью сегодня в отвалы ежегодно попадает около 500 т марганца. Таким образом, рециклинг этой пыли является важной задачей и с экономической, и с экологической точки зрения.

Методика исследований

Стандартной методики для исследования свойств брикетов из техногенных отходов нет, соответственно,

для выбора и оптимизации 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 использовался лабораторный лопастной смеситель. Влажность исходных материалов контролировалась на приборе ускоренного определения влажности с функцией автоматического взвешивания в процессе сушки. Для испытаний на прочность при сжатии в сыром и отвержденном состоянии изготавливались цилиндрические образцы диаметром 50 мм, такие же образцы использовались 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 осуществлялось 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).



а



б



в

Рис. 1. Прочностные испытания образцов из брикетировочной массы:
а – на сжатие сырых образцов;
б – на изгиб отвержденных образцов;
в – на сжатие отвержденных образцов

Аспирационная пыль выплавки ферросиликомарганца в рудовосстановительной электродуговой печи представляет собой тонкодисперсный порошок с размером частиц от 0,1-0,5 до 30-50 мкм светло-коричневого или серо-коричневого цвета с насыпной плотностью около 900 кг/м³.

Исследовались 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 варьировалось относительное количество связующего (табл. 1), а при оптимальном содержании связующего исследовалось влияние количества воды на прочность брикетов: соотношение «вода / связующее» изменялось в интервале от 0,41 до 0,24. Отверждение брикетов, изготовленных с использованием связующего на базе цемента, осуществлялось в условиях естественной сушки при 20-35°С в течение суток.

Таблица 1

Рецептура смеси для брикетов на цементном связующем

Наименование компонентов смеси	Содержание, %				
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 представлены на рис. 2 и в табл. 2.

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

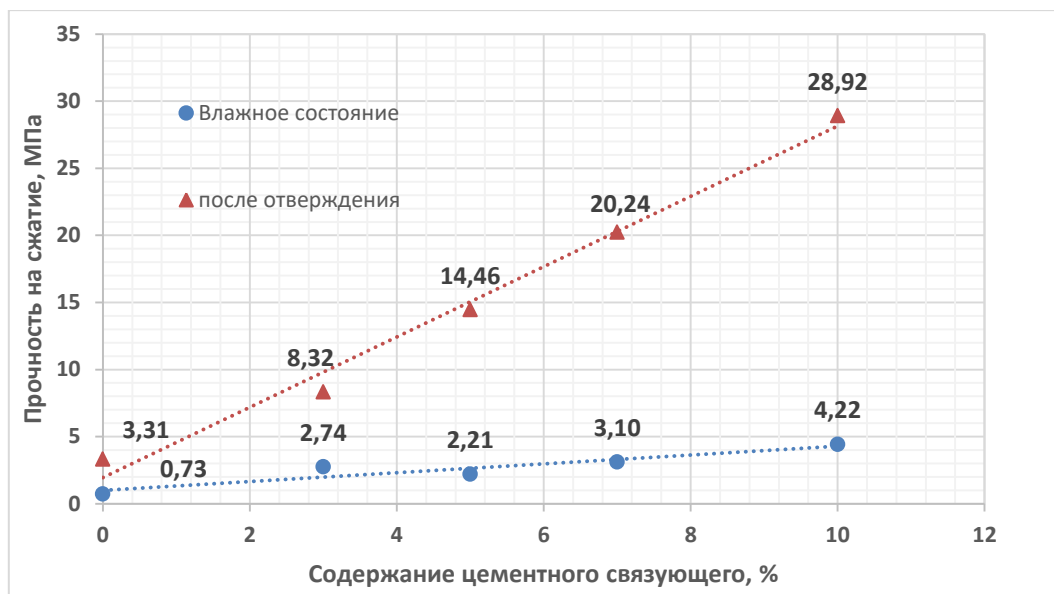


Рис. 2. Зависимость прочности брикетов на сжатие от содержания связующего

Из графиков, приведенных на 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 осуществлялся исходя из принципа, что содержание связующего и влаги должно быть минимальным, но достаточным, чтобы обеспечить требуемые физико-механические и технологические свойства, то есть 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 представлен в табл. 3.

Таблица 3

Химический состав брикетов из аспирационной пыли плавки МнС-17, %

MnO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	P	S
23,5-27,1	26,0-27,5	5,3-5,5	11,5-11,8	6,8-7,0	6,9-7,1	0,35-0,37	5,4-5,7

На завершающей стадии исследований проводились производственные испытания брикетов с оценкой степени их разрушения при транспортировке, дозировании и подаче в плавильную печь и их влияния на технологические параметры плавки: производительность печи, коэффициент усвоения марганца, удельное образование шлака, удельный расход электроэнергии и восстановителя. Приготовление смеси осуществлялось в шнековом смесителе непрерывного действия, изготовление брикетов – на валковом прес-

се с размером ячеек: Ø50×30 мм. Полученные брикеты представлены на рис. 3.



а



б

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 по-

сле 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 не более 5%, при том, что степень разрушения покупных брикетов из рудного сырья составляет, как правило, 25-30%.

Опытная партия брикетов (около 33 т) использовалась в процессе выплавки ферросиликомарганца вместо традиционно используемых брикетов из отсева рудной мелочи и в том же отношении к остальным компонентам шихты: марганцевая руда – 80 %; марганцевый концентрат – 10%; брикеты из аспирационной пыли – 10%.

Коэффициент восстановления и усвоения марганца из полученных брикетов в процессе плавки составил 80-85%, что соответствует показателям рудных материалов и на 10-12% превышает аналогичную характеристику покупных брикетов из рудной мелочи. Выплавка ферросиликомарганца с использованием брикетов из аспирационной пыли прошла без замечаний и практически не повлияла на ход плавки, производительность печи и объёмы выбросов. Полученный в результате ферросиликомарганец полностью соответствовал требованиям ГОСТ 4756-91 к сплаву марки МнС-17. При этом, несмотря на меньшее содержание марганца в брикетах из аспирационной пыли, чем в брикетах из отсева марганцевой руды, при проведении производственных испытаний было отмечено снижение удельного расхода электроэнергии на ~ 5% и кокса на ~ 4%, а также меньшее удельное образование шлака – примерно на 5%, что объясняется более высокой прочностью и меньшей осыпаемостью полученных брикетов по сравнению с покупным брикетированным сырьем.

Выводы

Производственные испытания – выплавка ферросиликомарганца с использованием брикетов из ас-

пирационной пыли рудовосстановительной печи показали, что полученные брикеты являются полноценной заменой традиционной марганецсодержащей шихты. Разработанные технические решения позволят примерно на 7% сократить количество закупаемой марганцевой руды (на ~ 1600 т ежегодно) и на 13-15% сократить количество захораниваемых сегодня техногенных отходов ферросплавного производства. А ожидаемый экономический эффект от рециклинга пылевидных отходов выплавки ферросиликомарганца для комбината составит около 250 тыс. долларов в год.

Список источников

1. Юсфин Ю.С., Леонтьев Л.И., Черноусов П.И. Промышленность и окружающая среда. М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. 469 с.
2. Лисин В.С., Юсфин Ю.С. Ресурсо-экологические проблемы XXI века и металлургия. М.: Высш. шк., 1998. 447 с.
3. Сырье для черной металлургии: Справочное издание: в 2-х т. Т. 1. Сырьевая база и производство окискованного сырья (сырье, технологии, оборудование) / Ладыгичев М.Г. и др. М.: Машиностроение, 2001. 896 с.
4. Проценко Т.Л., Жуковский Е.Ф. Экспериментальные исследования процесса брикетирования пыли производства ферросилиция // Вестник БГТУ им. Шухова. 2014. № 6. С. 187-191.
5. Ровин С.Л. Рециклинг металлоотходов в ротационных печах. Минск: БНТУ, 2015. 382 с.
6. Носков В.А. Исследование технологических параметров и режимов получения брикетов из металлургических отходов // Металлургическая и горнорудная промышленность. 2002. № 5. С. 115-117.
7. Кочкин В.Д., Алиферов А.И., Золотарев В.В. Способы и установки для утилизации мелкодисперсных отсеков ферросплавов // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2023. Т. 31. № 1. С. 91-102.
8. Peng Z., Gregurek D., Wenzel C., and White J.F. Slag Metallurgy and Metallurgical Waste Recycling // JOM. 2016. Vol. 68. Iss.9. P.2313-2315.

Сведения об авторах

Ровин Сергей Леонидович – доктор технических наук, заведующий металлургическим научным центром АО «Узметкомбинат», г. Бекабад, Ташкентская область, Республика Узбекистан. E-mail: s.rovinsl@uzbeksteel.uz

Гараев Роман Салимович – первый заместитель председателя правления – исполнительный директор АО «Узметкомбинат», г. Бекабад, Ташкентская область, Республика Узбекистан. E-mail: garaevrs@uzbeksteel.uz

Каримов Ахрор Муратович – ведущий инженер-исследователь АО «Узметкомбинат», г. Бекабад, Ташкентская область, Республика Узбекистан. E-mail: a.karimov@uzbeksteel.uz

Фозилов Бунеджон Рахматиллаевич – ведущий инженер-исследователь АО «Узметкомбинат», г. Бекабад, Ташкентская область, Республика Узбекистан. E-mail: fozilov.b@uzbeksteel.uz

RECYCLING OF ASPIRATION DUST OF ELECTRIC ARC MELTING OF FERROSILICON MANGANESE

Rovin Sergey L. – Doctor of Technical Sciences, Head of the Metallurgical Research Center of JSC Uzmetkombinat, Bekabad, Tashkent region, Republic of Uzbekistan. E-mail: s.rovinsl@uzbeksteel.uz

Garayev Roman S. – First Deputy Chairman of the Board – Executive Director of JSC Uzmetkombinat, Bekabad, Tashkent region, Republic of Uzbekistan. E-mail: garaevrs@uzbeksteel.uz

Karimov Akhror M. – leading research engineer of JSC Uzmetkombinat Bekabad, Tashkent region, Republic of Uzbekistan. E-mail: a.karimov@uzbeksteel.uz

Fozilov Bunedjon R. – leading research engineer of JSC Uzmetkombinat, Bekabad, Tashkent region, Republic of Uzbekistan. E-mail: fozilov.b@uzbeksteel.uz

Abstract. The article presents the results of laboratory studies and production tests aimed at solving the problem of recycling aspiration dust generated during smelting of ferrosilicon manganese in ore-reducing electric arc furnaces of JSC «Uzmetkombinat». In the course of the work, a special technique for the manufacture and study of briquettes in laboratory conditions was developed, which made it possible to significantly reduce the labor intensity of the studies and accelerate the achievement of results. The studies made it possible to develop and optimize the composition of briquettes and the technology of their manufacture, determine the criteria for the quality of briquettes and methods for their control. Testing of the obtained briquettes in production conditions showed that they can be used as a component of the charge in the smelting of ferrosilicon manganese instead of traditional lump manganese ore. The obtained results make it possible to almost completely utilize aspiration dust from ferroalloy smelting (return the manganese contained in the dust to production), reducing the amount of man-made waste subject to disposal by 30-35%, and reducing the need for manganese-containing raw materials by 10-12%, with a corresponding reduction in the cost of the final product.

Keywords: ferrosilicon manganese, ore recovery furnace, pulverized waste, briquetting, recycling

Ссылка на статью:

Рециклинг аспирационной пыли электродуговой плавки ферросиликомарганца / Ровин С.Л., Гараев Р.С., Каримов А.М., Фозилов Б.Р. // Теория и технология металлургического производства. 2024. №4(51). С. 13-17.

Rovin S.L., Garayev R.S., Karimov A.M., Fozilov B.R. Recycling of aspiration dust of electric arc melting of ferrosilicon manganese. *Teoria i tecnologia metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2024, vol. 51, no. 4, pp. 13-17.