

Выбор связующего для производства брикетов из высокодисперсной пыли ферросплавного производства

¹*ОМАРОВА Айдана Ержанқызы, докторант, преподаватель, aidana_kartu@mail.ru,

¹ИСАГУЛОВА Диана Аристотелевна, PhD, и.о. доцента, isagulovada@mail.ru,

¹КВОН Светлана Сергеевна, к.т.н., профессор, svetlana.1311@mail.ru,

¹КОВАЛЕВА Татьяна Викторовна, докторант, преподаватель, Sagilit@mail.ru,

¹НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», Казахстан, Караганда, пр. Н. Назарбаева, 56,

*автор-корреспондент.

Аннотация. На основе информационного анализа процесс брикетирования определен как оптимальный способ утилизации высокодисперсной пыли (ВДП) ферросплавного производства. Проведены начальные исследования по выбору связующего при брикетировании (ВДП). Полученные результаты показали возможность утилизации высокодисперсной пыли казахстанского содержания методом брикетирования. В качестве связующего использовались жидкое стекло и каустическая сода в количестве каждое 10% по массе. Для обеспечения необходимой механической прочности брикетов давление прессования ниже 40 кН представляется нецелесообразным.

Ключевые слова: высокодисперсная пыль, ферросплавное производство, брикеты, давление, прочность, связующее.

Введение. При выплавке ферросплавов, применяемых в черной металлургии для раскисления и плавки металлов, образуются пылевые отходы двух видов [1].

Пылевые отходы 1-го типа образуются как побочный продукт, состав которого отличается от состава ферросплава. К ним можно отнести пылевидные продукты, содержащие большое количество оксидов какого-либо химического элемента: кремния, марганца, хрома и др. Этот продукт не имеет раскислительного характера и, соответственно, не может использоваться для раскисления или легирования в сталеплавильном или литейном производстве.

Пылевидные отходы 2-го типа образуются в результате подготовки кондиционного ферросплава к продаже, он имеет такой же состав, как кондиционный ферросплав, но отличается высокой дисперсностью и большой поверхностью взаимодействия. Такие отходы могут использоваться в качестве сырья для производства кондиционного продукта, по свойствам сходного с производимым ферросплавом.

Надо отметить, что воздействие пылевидных отходов на человека и окружающую среду имеет крайне негативный характер. Пылевидные остатки загрязняют окружающую среду, оказывают

вредное воздействие на человека, ухудшают санитарно-гигиенические условия на производстве. Кроме того, хранение пылевидных остатков требует больших площадей, что создает дополнительную нагрузку на экологию региона [2].

Очевидно, что для устранения негативного влияния пылевидных отходов, образующихся при производстве ферросплавов, на человека и окружающую среду необходима их утилизация.

Цель данной работы – на основании информационного анализа определить способ утилизации ВДП и связующее для формирования брикетов, соответствующих определенным требованиям.

В настоящий момент масштабы утилизации отходов ферросплавного производства в Казахстане относительно невелики [3]. Для решения этой проблемы многие предприятия разрабатывают технологии повторного использования пыли ферросплавов – в качестве раскислителей при производстве стали и в качестве добавки при производстве ферросплава.

Методы исследования. Как показывает проведенный информационный анализ, наиболее перспективной технологией переработки высокодисперсной пыли (ВДП) ферросплавного производства является брикетирование с использованием различных связующих [4-12].

При переработке ВДП процесс агломерации не представляется целесообразным, т.к. исходное сырье уже имеет состав, сходный с производимым ферросплавом. В связи с этим такой основной процесс агломерации, как восстановление металла из оксида, в данном случае, не нужен [5].

Процесс окатыwania, также часто применяемый для окучкования пылевидных отходов, при окомковании ВДП не позволяет достичь достаточной прочности окатышей [6] и, соответственно, не может быть использован.

Таким образом, брикетирование является наиболее привлекательным способом рециклинга ВДП.

Брикеты из ферросплавной пыли, вводимые в печь, должны обладать определенными механическими и химическими свойствами. При этом не существует определенного стандарта для определения пригодности брикетов, используемых в процессе плавки. Очевидно, что требования, предъявляемые к готовым брикетам, должны коррелироваться с требованиями, предъявляемыми к ферросплавам в соответствии с ГОСТ.

Общие требования, предъявляемые к брикетам из ВДП, можно сформулировать следующим образом:

- достаточная механическая прочность для обеспечения транспортировки и загрузки. Согласно [9], данный показатель должен составлять не менее 25 МПа;

- размер брикетов. Минимальный размер частиц для класса крупности 6 составляет 10 мм согласно ГОСТ. Однако при такой крупности ухудшаются технико-экономические показатели печи, в связи с чем, потребители неохотно покупают ферросплавы такого класса. По данным [3], наиболее востребованными являются частицы размером 30-70 мм;

- определенная пористость брикетов, т.к. она влияет на такие свойства, как тепло- и электропроводность, а также прочность. По данному показателю в настоящее время не имеется определенного требования, поэтому данный аспект нуждается в дальнейших исследованиях;

- химический состав брикета. Очевидно, что состав брикета не должен отличаться от состава производимого ферросплава, т.к. в противном случае, он не сможет использоваться для раскисления и легирования.

Формирование брикетов с помощью связующего можно рассматривать как разновидность многоэтапного процесса склеивания отдельных зерен с помощью связующего и формирования «связок» [8].

При этом к связующим предъявляются определенные требования [5]:

- большая площадь поверхности связующего для формирования большого количества «связок», т.е. связующее должно также быть высокодисперсным материалом или иметь жидкую природу;

- образовавшиеся «связки» должны быть упругими и пластичными для обеспечения достаточной прочности готового брикета;

- устойчивость к осадкам, температуре, солнечному свету, окислению атмосферным кислородом и др.;

- содержать минимальное количество вредных примесей с точки зрения металлургического качества;

- отсутствие появления в затвердевшем связующем высоких внутренних напряжений, способных разрушить «связку»;

- отсутствие летучих соединений, оказывающих токсическое действие на организм человека;

- низкая стоимость и доступность;

- простота использования;

- стабильность при хранении и транспортировке.

Согласно [2, 6] все виды связующих, применяемых при брикетировании, можно классифицировать по следующим признакам:

- в зависимости от типа образованного соединения;

- по физическому состоянию связующего при смешивании с основным материалом;

- по химической природе связующего;

Наиболее распространенной и самой простой классификацией является классификация по химической природе. Согласно этой классификации все связующие делятся на органические и неорганические (минеральные).

При брикетировании ВДП ферросплавного производства наибольший интерес представляют связующие минерального происхождения, т.к. органические связующие вносят большое количество углерода и азота, что нежелательно.

Неорганические связующие, как правило, вступают с брикетируемыми материалами в химическую реакцию. Интенсивность структурообразования (формирования «связок») зависит от скорости и полноты химических реакций, а также от давления прессования.

В качестве минеральных связующих наибольшее распространение нашли известь, жидкое стекло, цементы, каустический магнезит и доломит, чугунная стружка, глины, гипс и др.

Неорганические (минеральные) связующие, как правило, представляют собой порошкообразные материалы или растворы солей. Прочность брикетов определяется прочностью «связок», которые в большинстве своем являются результатом гидратообразования при взаимодействии связующего с водой и последующей кристаллизации. В ряде случаев, например, при использовании гашеной извести, прочность брикетов определяется ее взаимодействием с атмосферным углекислым газом и одновременной рекристаллизацией гидрата оксида кальция.

При использовании минеральных связующих большое значение имеет время выдержки (сушки), т.е. период постепенного набора прочности

[9, 11].

Наиболее доступными и, следовательно, распространенными связующими при брикетировании ВДП ферросплавного производства являются жидкое стекло и каустическая сода, используемые в разных соотношениях и в комбинации с другими добавками.

Жидкое стекло ($R_2O \cdot nSiO_2$, где R – Na, K или Li) находит применение в различных отраслях цветной и черной металлургии: при брикетировании хромовых, сурьмянистых, флюоритовых, марганцевых концентратов, железорудных материалов, кварцитов и т.д. Для брикетирования применяют натриевое жидкое стекло $Na_2O \cdot nSiO_2$. В отличие от цементов и глины оно обеспечивает брикетам высокую твердость и не вносит в брикетируемый материал нежелательных примесей (серы и фосфора).

Наряду с жидким стеклом широкое распространение при окучивании тонкодисперсных материалов получила каустическая сода. Каустическая сода представляет собой водный раствор NaOH различной концентрации. В работах [5, 8] каустическая сода была использована для брикетирования железной хромоникелевой руды, закиси никеля, доломитовой мелочи, некоторых железных руд. Во всех исследованиях необходимым условием достижения нормативной прочности являлось вылеживание продукта в течение 24 часов.

Научные результаты. Анализ исследований [4-9] показал, что результаты, получаемые при брикетировании ВДП с использованием указанных связующих, являются довольно противоречивыми. В разных работах указываются разные соотношения связующих и полученные результаты по прочности. Кроме того, невозможно использовать простой трансфер данных способов

на сырье казахстанского содержания, т.к. каждое сырье индивидуально, т.е. отличается химическим и фракционным составами, которые оказывают непосредственное влияние на процесс брикетирования.

В связи с этим были проведены начальные исследования, цель которых – определить возможность использования жидкого стекла и каустической соды при брикетировании ВДП казахстанского содержания.

В качестве основного сырья использовалась высокодисперсная пыль ТОО «YDD Corporation». Данное предприятие специализируется на выпуске ферросилиция (FeSi), в частности, марки ФС70 (ГОСТ 1415-93).

В качестве связующего для производства брикетов из ВДП были выбраны: жидкое стекло (водный щелочной раствор силикатов натрия $Na_2O(SiO_2)_n$ и 30%-ный водный раствор каустической соды NaOH.

Связующие и влага добавлялись сверх 100%, за 100% принималась масса чистой ВДП. В таблице 1 приведен состав используемой шихты.

На рисунке показаны сырые брикеты с разным связующим.

Все компоненты шихты тщательно смешивались в течение 5 минут до достижения однородной массы. Затем с помощью пресса из подготовленной шихты готовились образцы диаметром 35 мм и высотой 10 мм, давление прессования варьировалось в пределах от 30 до 50 кН.

Сырые брикеты подвергали сушке при температуре 60°C в течение 2 часов. По окончании процесса сушки готовые брикеты испытывались на прочность на сжатие.

Прочность на сжатие определялась на машине Instron, результаты приведены в таблице 2.

Как видно из данных таблицы 2, образцы обе-

Таблица 1 – Состав используемой шихты

Обозначение шихты	Количество $Na_2O(SiO_2)_n$, %	Количество NaOH, %	Вода, %
А	10	-	5
В	-	10	5



а



б

Сырые брикеты: а – с жидким стеклом; б – с каустической содой

Таблица 2 – Результаты испытаний на прочность			
Номер образца	Шихта	Давление прессования, кН	Прочность на сжатие, МПа
1	А	30	15
2		40	19
3		50	27
5	В	30	12
6		40	22
7		50	26

их серий показывают по прочности на сжатие примерно равные результаты. Использование давления прессования ниже 40 кН представляется нецелесообразным, т.к. не обеспечивают достаточной прочности брикетов, что делает невозможным их транспортировку и загрузку.

Заключение. Проведенный информационный анализ и начальные исследования показали возможность утилизации высокодисперсной пыли ферросплавного производства казахстанского содержания методом брикетирования с

использованием в качестве связующего жидкого стекла или каустической соды в количестве 10% по массе. Давление прессования ниже 40 кН представляется нецелесообразным, т.к. не обеспечивает необходимой механической прочности брикетов.

Работа выполнена в рамках реализации гранта по теме АР19576811 «Разработка технологии получения кондиционного продукта из высокодисперсной пыли ферросплавного производства», финансируемой Комитетом науки МНВО РК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кокорин В.Н., Григорьев А.А., Кокорин М.В., Чемаева О.В. Промышленный рециклинг техногенных отходов. – Ульяновск: УлГТУ. 2005. – 42 с.
2. Gasic, M. Handbook of Ferro Alloys: Theory and Technology; Elsevier: Cambridge, MA, USA, 2013.
3. Маймур Б.Н., Худяков А.Ю., Петренко В.И., Ващенко С.В., Баял К.В. Брикетирование металлургического сырья. Актуальность и пути развития метода // ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ, Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2016; (1): 74-82.
4. Miyamoto Y., Kanehira S., Radwan M. Recycling of Industrial Wastes // Refractories applications and News. 2004. V. 9. No. 1.
5. Fei Li, Zhibo Sun, Fengyun Yan. The Agglomeration of Solid Wastes for Ferroalloy Production // Infacon XVI: International Ferro-Alloys Congress, Edited by A.N. Wærnes, G. Tranell, M. Tangstad, E. Ringdalen, and C. vanderEijk SINTEF/NTNU/FFF, Trondheim, 27-29 September 2021. Pp. 1-7.
6. Mishra, Subash C., Mishra Bhagiratha. Processing Ferroalloys from Lean Ore and Fines using Thermal Plasma // Sumant Kumar 2021.
7. Георгадзе А.Г., Георгадзе Н.А., Гернер В.И., Никифоров А.П., Обрезков В.В., Плетнёв А.Н. Способ изготовления брикетов из мелкофракционных отсеков или порошкообразных отходов ферросиликомарганца (ферросилиция) // Патент RU2600775 C2, ноябрь, 2016.
8. Роот Е.П., Гернер В.И., Никифоров А.П. Способ изготовления брикетов из дисперсных фракций ферросплавов // Патент RU 2268313 C1, Январь, 2006.
9. Проценко Е.Л., Жуковский Т.Ф. Экспериментальные исследования процесса брикетирования мелкофракционной пыли производства ферросилиция // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2014. – № 6. – С. 187-191.
10. Nemchinova, N.V.; Mineev, G.G.; Tyutrin, A.A.; Yakovleva, A.A. Utilization of Dust from Silicon Production // Steel Transl. 2017, 47, 948-957.
11. Еремин А.Я., Бабанин В.И. Изменение физико-механических свойств смесей мелкодисперсных материалов со связующими на стадиях подготовки и прессования в процессе брикетирования // Кокс и химия. – 2003. – № 4. – С. 17-26.
12. Pavlov S.V., Snitko Yu.P., Plyukhin S.B. Wastes and emissions in production of ferrosilicon // Elektrometallurgiya. 2001. No. 4. Pp. 22-28.

Ферроқорытпа өндірісінің жоғары дисперсті шаң брикеттерін өндіру үшін байланыстырғышты таңдау

^{1*}ОМАРОВА Айдана Ержанқызы, докторант, оқытушы, aidana_kartu@mail.ru,

¹ИСАГУЛОВА Диана Аристотелевна, PhD, доцент м.а., isagulovada@mail.ru,

¹КВОН Светлана Сергеевна, т.ф.к., профессор, svetlana.1311@mail.ru,

¹КОВАЛЕВА Татьяна Викторовна, докторант, оқытушы, Sagilit@mail.ru,

¹«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Қазақстан, Қарағанды, Н. Назарбаев даңғылы, 56,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Ақпараттық талдау негізінде брикеттеу процесі ферроқорытпа өндірісінің жоғары дисперсті шаңын (ЖДШ) жоюдың оңтайлы әдісі ретінде анықталған. Брикеттеу кезінде байланыстырғышты (ЖДШ) таңдау бойынша бастапқы зерттеулер жүргізілді. Алынған нәтижелер қазақстандық құрамдағы жоғары дисперсті шаңды брикеттеу әдісімен кәдеге жарату мүмкіндігін көрсетті. Байланыстырғыш ретінде сұйық шыны және каустикалық сода массасы бойынша әрбір 10% мөлшерінде пайдаланылды. Брикеттердің қажетті механикалық беріктігін қамтамасыз ету үшін 40 кН-ден төмен пресстеу қысымы орынсыз болып көрінеді.

Кілт сөздер: жоғары дисперсті шаңы, ферроқорытпа өндірісі, брикеттер, қысым, беріктік, байланыстырғыш.

The Choice of Binder for the Production of Briquettes from Highly Dispersed Dust of Ferroalloy Production

¹*OMAROVA Aidana, Doctoral Student, Teacher, aidana_kartu@mail.ru,

¹ISAGULOVA Diana, PhD, Acting Associate Professor, isagulovada@mail.ru,

¹KVON Svetlana, Cand. Of Tech. Sci., Professor, svetlana.1311@mail.ru,

¹KOVALEVA Tatiana, Doctoral Student, Teacher, Sagilit@mail.ru,

¹NPJSC «Abylqas Saginov Karaganda Technical University», Kazakhstan, Karaganda, N. Nazarbayev Avenue, 56,

*corresponding author.

Abstract. Based on the information analysis, the briquetting process is defined as the optimal way to dispose of highly dispersed dust (HDD) of ferroalloy production. Initial studies have been conducted on the choice of a binder for briquetting (HDD). The obtained results showed the possibility of utilization of highly dispersed dust of Kazakhstan content by briquetting. As a binder, liquid glass and caustic soda were used in an amount of 10% by weight each. To ensure the necessary mechanical strength of briquettes, the pressing pressure below 40 kN seems impractical.

Keywords: highly dispersed dust, ferroalloy production, briquettes, pressure, strength, binder.

REFERENCES

1. Kokorin V.N., Grigoriev A.A., Kokorin M.V., Chemaeva O.V. Industrial recycling of technogenic waste. – Ulyanovsk: UISTU. 2005. – 42 p.
2. Gasic, M. Handbook of Ferro Alloys: Theory and Technology; Elsevier: Cambridge, MA, USA, 2013.
3. Maimur B.N., Khudyakov A.Yu., Petrenko V.I., Vashchenko S.V., Bayul K.V. Briquetting of metallurgical raw materials. Relevance and ways of development of the method // FERROUS METALLURGY, Bulletin of scientific, technical and economic information. 2016; (1): 74-82 pp.
4. Miyamoto Y., Kanehira S., Radwan M. Recycling of Industrial Wastes // Refractories applications and News. 2004. V. 9. No. 1.
5. Fei Li, Zhibo Sun, Fengyun Yan. The Agglomeration of Solid Wastes for Ferroalloy Production // Infacon XVI: International Ferro-Alloys Congress, Edited by A.N. Wærnes, G. Tranell, M. Tangstad, E. Ringdalen, and C. vanderEijk SINTEF/NTNU/FFF, Trondheim, 27-29 September 2021. Pp. 1-7.
6. Mishra, Subash C., Mishra Bhagiratha. Processing Ferroalloys from Lean Ore and Fines using Thermal Plasma // Sumant Kumar 2021.
7. Georgadze A.G., Georgadze N.A., Gerner V.I., Nikiforov A.P., Obrezkov V.V., Pletnev A.N. A method for making briquettes from fine-fraction screenings or powdered wastes of ferrosilicon manganese (ferrosilicon) // Patent RU2600775 C2, November, 2016.
8. Root E.P., Gerner V.I., Nikiforov A.P. Method of manufacturing briquettes from dispersed fractions of ferroalloys // Patent RU 2268313 From January 1, 2006.
9. Protsenko E.L., Zhukovsky T.F. Experimental studies of the process of briquetting fine-fraction dust produced by ferrosilicon // Bulletin of BSTUim. V.G. Shukhov. – 2014. – No. 6. – Pp. 187-191.
10. Nemchinova, N.V.; Mineev, G.G.; Tyutrin, A.A.; Yakovleva, A.A. Utilization of Dust from Silicon Production // Steel Transl. 2017, 47, 948-957 pp.
11. Eremin A.Ya., Babanin V.I. Change of physico-mechanical properties of mixtures of fine-grained materials with binders at the stages of preparation and pressing during briquetting // Coke and chemistry. – 2003. – No. 4. – Pp. 17-26.
12. Pavlov S.V., Snitko Yu.P., Plyukhin S.B. Wastes and emissions in production of ferrosilicon // Elektrometallurgiya. 2001. No. 4. Pp. 22-28.