

ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСТРУЗИОННЫХ БРИКЕТОВ ДЛЯ ВЫПЛАВКИ УГЛЕРОДИСТОГО ФЕРРОХРОМА

С. А. АЛИМБАЕВ, М. С. АЛМАГАМБЕТОВ, Н. З. НУРГАЛИ, А. В. ПАВЛОВ*

В настоящее время на многих металлургических предприятиях особое внимание уделяют экологии. Основными отходами являются шлак, пыль и шламы. Шлак используют в качестве щебня для дорожного строительства, а улавливаемую газоочистными системами пыль частично возвращают в технологическую цепочку. Проблема образования отходов и их складирования актуальна и на предприятиях АО «ТНК «Казхром». Переработка отходов, помимо решения экологических проблем, в некоторых случаях позволяет получить и другие положительные эффекты, например ресурсосбережение и дополнительную прибыль. Основная доля (около 60 %) в себестоимости для выплавки высокоуглеродистого феррохрома приходится на хромовую руду. Постепенное снижение навески хромовой руды с подшихтовкой экструзионными брикетами без нарушения технологического процесса является наиболее привлекательным. Приведены результаты лабораторных и промышленных испытаний по экструдированию пыли от производства феррохрома с применением полимерного органического связующего с дальнейшим их переплавом в составе рудной навески в рудотермической печи. Совместно со специалистами J.C.Steele & Sons освоено изготовление опытно-промышленным путем экструзионных брикетов. Показаны химические составы исходной хромосодержащей пыли для метода жесткой экструзии, а также полученного металла и металлургического шлака.

Ключевые слова: *экструзионный брикет, жесткая вакуумная экструзия, пыль аспирации, феррохром, рудотермическая печь, металл, шлак.*

Введение

На Актюбинском заводе ферросплавов (АктЗФ) был введен в эксплуатацию опытно-промышленный участок по производству экструзионных брикетов. Основным принципом изготовления экструзионных брикетов является метод жесткой экструзии под вакуумом на оборудовании J.C.Steele & Sons. Считается, что удаление воздуха и лишней влаги, находящихся между частицами материала, способствует созданию более плотной упаковки последнего с получением прочных экструзионных брикетов. Сама технология экструзии достаточно широко распространена в строительной отрасли, в частности при производстве строительных изделий (кирпича и др.). Что касается экструзии рудных материалов, то в этом направлении работы ведутся относительно недавно. Известно, что методом жесткой экструзии производят экструзионные брикеты из же-

лезорудного сырья (Индия), а с недавнего времени и из марганецсодержащих отходов (ЧЭМК). Сведений по переработке хроморудного сырья методом экструзии крайне мало, все исследования в этом направлении на уровне лабораторных экспериментов или на стадии опробывания в опытно-промышленных условиях. Ряд работ были опубликован по этому направлению коллективом авторов [1–7].

Цель исследования — применение окускованного методом жесткой экструзии хромосодержащего сырья для выплавки высокоуглеродистого феррохрома.

Методика исследования

На Актюбинском заводе ферросплавов происходит накопление «бедной» пыли рукавных фильтров рудовосстановительных печей (РВП) — ХШП01. Данный вид пыли существенно отличается по своему химическому составу, так как образуется в результате металлургического передела, а пыль аспирационно-технологических установок (АТУ) улавливается в системах аспирации размещенными над транспортными ленточными конвейерами и сушильными барабанами. Она имеет тот же химический состав, что и исходная хромовая руда. Добавление их в шихту для процесса экструдирования удовлетворительно влияет на качественные характеристики экструзионных брикетов. В связи с запретом на размещение и хранение продуктов металлургического передела на территории шлакоотвала руководством предприятия принято ре-

* ФГАОУ ВО «НИТУ «МИСИС», кафедра металлургии стали, новых производственных технологий и защиты металлов, Москва, Россия;

С. А. Алимбаев, аспирант;
докт. техн. наук А. В. Павлов, профессор, зав. лабораторией диагностики;

ТОО «Научно-инжиниринговый центр ERG», Актюбе, Казахстан;

канд. техн. наук М. С. Алмагамбетов, зав. лабораторией металлургии;

канд. техн. наук Н. З. Нургали, главный инженер;

эл. почта: Alim407@mail.ru; pav-gnts@misis.ru

© Алимбаев С. А., Алмагамбетов М. С., Нургали Н. З., Павлов А. В., 2020

Таблица 1
Пыли аспирационных систем Актюбинского завода ферросплавов

Цех	Участок	Источник пыли	Образование пыли, т/год	Содержание химических элементов, % (мас.)			
				Cr ₂ O ₃	C	S	P
ПЦ4	АТУ-1	Станция разгрузки сырьевых материалов	787,3	23,5	16,27	0,25	0,018
	АТУ-3	Отделение сушки сырья	2737,3	15,5	66,85	0,32	0,019
	АТУ-6	Склад сухих сырьевых материалов	4499,9	16,0	47,80	0,27	0,018
	АТУ-7	Отделение хранения подготовленной шихты и ее дозировки печей № 41, 42	5753,6	36,5	15,20	0,18	0,017
	АТУ-8	Отделение хранения подготовленной шихты и ее дозировки печей № 43, 44	3828,8	30,5	11,00	0,11	0,016
ПЦ1	ХШП 01	Пыль рукавных фильтров	23332,3	20,0	5,10	0,68	0,018

шение вводить пыли ХШП01 и АТУ в шихту экструдирования.

В табл. 1 приведены значения годового пылеобразования, расшифровка наименований источников пыли, а также средние значения по содержанию в них оксида хрома, углерода, серы и фосфора.

Исследование состава полидисперсной пыли, а также подбор связующих проведены в лабораторных условиях [8–10].

На рис. 1 приведена аппаратурно-технологическая схема линии производства экструзионных брикетов АктЗФ. В один из бункеров (бункер флюсов) питания экструдера было загружено полимерное связующее. Подачу связующего производили на ленту со слоем дозированной пыли. В первых двух глиномялках-смесителях производят сухое перемешивание шихты. Добавку воды осуществляют на третьей глиномялке, после чего усредненная и увлажненная масса попадает на экструдер. Затраты на передел 1 т материала составляет 11–14 долл. США, расход электроэнергии 33 кВтч [11].

Увлажнение сухой массы производили по консистенции смеси. В результате опытным путем было определено оптимальное соотношение компонентов шихты:

- 75 % АТУ;
- 25 % ХШП01;
- +6 % (к весу смеси пыли) бентонита;
- +3 % (к весу смеси пыли) полимерное связующее.

Готовые экструзионные брикеты посредством ленточного конвейера выгружали в кузов самосвала, после чего вывозили на открытую площадку, где сушили в естественных условиях, как показано на рис. 2. Ежедневно, в течение 6 сут производили отбор проб экструзионных брикетов на влажность для определения динамики сушки при среднесуточной атмосферной температуре 25 °С, а также определения качественных характеристик (в зимний период времени экструзионные брикеты не подвергают сушке, так как влага, присутствующая в составе экструзионных брикетов, ускоряет смерзаемость шихты, что является благоприятным фактором для транспортирования).

За время проведения испытаний была выпущена опытная партия экструзионных брикетов мас-

Таблица 2
Технологическое оборудование для производства экструзионных брикетов

Номер	Наименование оборудования	Число	Масса ед., кг	Примечание
1	Глиномялка Pugmill	1	2136	22,4 кВт
2	Глиномялка Stand Alone	1	6136	45 кВт
3	Экструдер	1	8390	75 кВт
4	Глиномялка	1	6136	45 кВт
5	Дозатор ленточный непрерывный	3	1175	0,55 кВт
6	Конвейер винтовой	1	Н/д	Н/д
7	Конвейер ленточный	1	9200	4 кВт
8	Таль электрическая г/п 2 т	1	272	2,2 кВт
9	Железоотделитель	1	5400	6,4 кВт
10	Z-образный конвейер К-1	1	7200	20 т/ч
11	Z-образный конвейер К-2	1	8600	25 т/ч
12	Бункер приемный	1	Н/д	20,8 м ³
13	Бункер связующего	1	Н/д	20,8 м ³
14	Бункер восстановителя	1	Н/д	15,5 м ³
15	Бункер флюса	1	Н/д	9,7 м ³
16	Контейнер	2	188	Н/д



Рис. 1. Технологическая схема линии производства экструзионных брикетов АктЗФ. Для позиций, представленных на схеме, пояснения даны в табл. 2



Рис. 2. Экструзионные брикеты на выходе из экструдера и при сушке на специальной площадке

сой 600 т для переплава в рудотермической печи. Сравнительные данные по механическим характеристикам полученных экструдатов с требуемыми показателями прочности экструзионных брикетов на АктЗФ представлены в табл. 3.

По результатам проведенных замеров прочности экспериментальных экструзионных брикетов можно увидеть, что по механическим свойствам экструзионные брикеты с добавлением полимерных связующих показали в основном более высокие значения в сравнении не только с текущим производством, но и с требуемыми значениями прочности, которые не были достигнуты.

Испытание по выплавке металла с применением экспериментальных экструзионных брикетов провели в рудотермической печи переменного тока РКО-22,5 МВА. Высушенная на специальной площадке партия экструзионных брикетов была направлена на шихтовый склад хроморудных материалов. При хранении в закромах не наблюдалось самопроизвольное

Вариант	Связующее, %		Механическая прочность сухих брикетов, %				
	Бентонит	Полимерное	На сжатие, МПа	Сброс с высоты 2 м		На удар +5 мм	На истирание -0,5 мм
				+5 мм	-5 мм		
Экспериментальный	6	3	10	97,3	2,7	67,7	19,1
Базовый	6	-	4,7	88,1	11,9	30,0	40,0
Требования	-	-	9	85,0	15,0	60,0	30,0

Период работы	Доля экструзионных брикетов в рудной навеске, %	Содержание Cr ₂ O ₃ в рудной навеске, %	Подача рудных материалов в печь, т/сут	Выпуск хрома в слитках, т/сут (включая простои)	Суточное расходование электроэнергии, МВт·ч	Среднее содержание Cr ₂ O ₃ в шлаке, %
Базовый	11,1	49,71	292,51	64,66	414,86	3,9
В целом за время испытаний		46,5	242,67	49,32	327,81	3,67
Этап 1	10	47,12	305,56	60,78	406,2	3,89
Этап 2	12,8	46,63	163,6	28,63	225	4,08
Этап 3	18,3	45,96	233,01	49,93	317,38	3,37
Этап 3 при отсутствии остановок печи	18,3	47,17	284,51	62,78	390,75	3,72

*На этапе 3 испытания произошла остановка печи на несколько часов по техническим причинам.

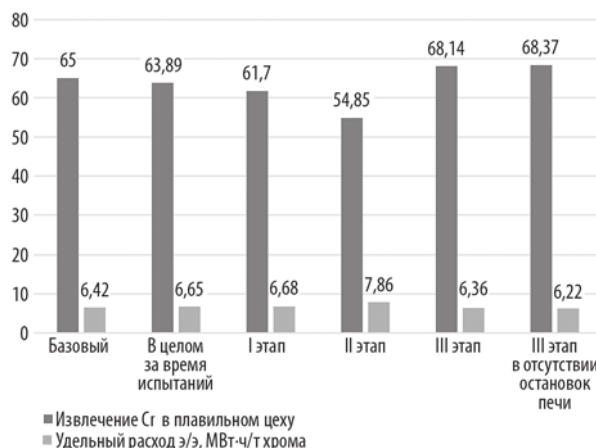


Рис. 3. Извлечение хрома и удельного расхода электроэнергии за время испытаний

разрушение в пределах до трех недель. Перед началом работы были рассчитаны термодинамический и материально-тепловой баланс [12].

Основным сырьем для выплавки высокоуглеродистого феррохрома являлась богатая хромовая руда с содержанием не менее 48 % Cr₂O₃. Количество задаваемых в печь экструзионных брикетов увеличивали в несколько этапов. В базовый период в качестве связующего применяли только бентонит, далее в комбинации с полимерным связующим в зависимости от доли в навеске были выделены три этапа. На первом этапе опытных плавов доля экструзионных брикетов в рудной навеске составляла 10 %, на втором этапе она была увеличена до 12,8 %, на третьем этапе — до 18,3 %.

Дозирование осуществляли через приемные бункеры дозировочного отделения цеха совместно с основной частью рудного материала и восстановителя. Температура на колошнике составляла 1000 °С. По мере схода шихты по высоте печи на колошник засыпали новые порции материала.

В табл. 4 и на рис. 3 приведены обобщенные показатели работы печи в период испытаний. Средний состав металла за время испытаний, %: 69,05 Cr_{мет}; 0,75 Si; 8,54 C; 0,026 S; 0,027 P.

Средний состав шлака, %: 2,2–5,5 Cr₂O₃; 45–47 MgO; 27–31 SiO₂; 0,7–1,1 CaO; 16–17 Al₂O₃; 0,5–0,8 FeO.

Результаты исследований

Показатели работы печи в экспериментальный период близки к базовым. На наиболее стабильном экспериментальном этапе удельный расход электроэнергии на выплавку 1 т хрома ниже базовых значений на 3,1 %. Полученное среднее извлечение хрома за период экспериментальных плавок выше базового периода на 1,7 %.

Улучшение показателей работы печи произошло из-за снижения содержания в шихте мелких фракций и влажности шихты. Ранее, при подаче в печь экструзионных брикетов, приготовленных по базовой рецептуре, неоднократно наблюдалось уменьшение кусковой хромовой руды и наличие большого количества мелочи в шихте, что являлось основной причиной ограничения их доли в навеске при выплавке высокоуглеродистого феррохрома.

Результаты промышленных испытаний показали, что полученный высокоуглеродистый феррохром соответствует требованиям ГОСТ 4757 (ISO 5448–81) [13] и имеет средний химический состав, позволяющий отгружать продукцию потребителям согласно контрактам. Анализ шлака с содержанием Cr₂O₃ в пределах 2,2–5,5 %, показывает максимально возможное восстановление хромосодержащего сырья в промышленных условиях.

Заключение

В процессе изготовления экструзионных брикетов добавка полимерного связующего привела к росту их прочности, при этом технологические затруднения не отмечены.

В ходе работы рудотермической печи отклонения в работе печи не зафиксированы. Получаемый высокоуглеродистый феррохром соответствовал требованиям по химическому составу. Наблюдали небольшой положительный эффект за счет повышенной прочности экструзионных брикетов и улучшения газопроницаемости слоя шихты в печи. Существенно увеличился процент использования хромового сырья — до 5 % в целом по заводу.

Решена экологическая проблема путем использования образующейся пыли в замкнутом технологическом цикле.

ЧМ

Библиографический список

1. Bizhanov A. M., Dashevskii V. Ya. On the mechanical strength of extrusion briquettes (brex) for ferroalloy production // The Fourteenth International Ferro-Alloys Congress. Infacon XIV (31 may – 4 june, Kyiv, Ukraine). 2015. P. 402–406.
2. Bizhanov A. M., Pavlov A. V., Bishenov S. A. Stiff vacuum extrusion agglomeration in ferro-alloys production // The Fifteenth International Ferro-Alloys Congress. Infacon XV (Cape Town, South Africa). 2018. P. 114–124.
3. Bizhanov A. M., Pavlov A. V., But E. A. The Study of the Reduction Process Parameters of Ore-Coal Briquettes for Ferroalloys Production // The Fifteenth International Ferro-Alloys Congress. Infacon XV (Cape Town, South Africa). 2018. P. 139–151.
4. Ovcharuk A. N., Taran A., Krivenko V. V., Mingsheng Yang. Charge and briquettes properties for the production of aluminum-silicon alloys // The Fourteenth International Ferro-Alloys Congress. Infacon XIV (31 may – 4 june, Kyiv, Ukraine). 2015. P. 32–38.
5. Balashov S., Babko S., Likhobitskaia L., Shyshkina Y. Use and processing of dust of dry gas cleaning of ferrosilicon furnaces // The Fourteenth International Ferro-Alloys Congress. Infacon XIV (31 may – 4 june, Kyiv, Ukraine). 2015. P. 738–744.
6. Zhdanov A. V., Zhuchkov V. I., Dashevskiy V. Ya., Leontyev L. I. Wastes generation and use in ferroalloy production // The Fourteenth International Ferro-Alloys Congress. Infacon XIV (31 may – 4 june, Kyiv, Ukraine). 2015. P. 754–758.
7. Улмаганбетов Н. А., Алмагамбетов М. С., Нурғали Н. З., Альмухамедова А. К. Окускование хромосодержащих пылевидных материалов Актюбинского завода ферросплавов методом жесткой экструзии / Конгресс «Техноген-2019». — Екатеринбург : УрО РАН, 2019. С. 481–486.
8. Павлов А. В., Алимбаев С. А., Мырзагалиев А. А., Халитов Т. В. Использование бедных хромосодержащих брэксов для выплавки высокоуглеродистого феррохрома / Сб. тр. Междунар. науч. конф. «Физико-химические основы металлургических процессов имени академика А. М. Самарина». — М. : ИМЕТ РАН им. А. А. Байкова, 2019. С. 66–67.
9. Алимбаев С. А., Шотанов А. Е., Мырзагалиев А. А. Термическая прочность рудо-угольных брикетов / Труды науч.-практ. конф. «Перспективы развития металлургии и машиностроения с использованием завершенных фундаментальных исследований и НИОКР: ФЕРРОСПЛАВЫ» — «НИОКР – 2018», Екатеринбург, 2018. С. 172–175.
10. Корнев А. В., Кусков В. Б., Бажин В. Ю. Окускование железных руд экструзионным методом // Черные металлы. 2019. № 11. С. 4–10.
11. Bizhanov A. M., Chizhikova V. Agglomeration in metallurgy. Springer Nature Switzerland AG. Cham. 2020. — 454 p.
12. Мырзагалиев А. А., Алмагамбетов М. С., Алимбаев С. А., Улмаганбетов Н. А., Халитов Т. В. Использование бедных хромосодержащих брэксов для выплавки высокоуглеродистого феррохрома // Вестник науки. Т. 1. № 1. С. 342–349.
13. ГОСТ 4757 (ISO 5448–81). Феррохром. Технические требования и условия поставки. — Введ. 01.01.1993.

“CHERNYE METALLY”, 2020, No. 5, pp. 4–8

THE USE OF EXTRUSION BRIQUETTES FOR SMELTING CARBON FERROCHROME

S. A. Alimbaev¹, Graduate Student;
M. S. Almagambetov², Cand. Eng., Head of Metallurgy Laboratory;
N. Z. Nurgali², Cand. Eng., Chief Engineer;
A. V. Pavlov¹, Dr. Eng., Prof., Head of Diagnostic Laboratory.

¹ National University of Science and Technology “MISIS” (Moscow, Russia)

² ERG Scientific and Engineering Center Ltd. (Aktobe, Kazakhstan)

E-mail: Alim407@mail.ru; pav-gnts@misis.ru

Abstract: At present, many metallurgical enterprises pay special attention to ecology. The main wastes are slag, dust and sludge. The obtained slag is used as crushed stone for road construction, and dust caught by gas cleaning systems is partially returned to the process chain. The problem of waste generation and storage is relevant in the enterprises of JSC “TNK” Kazchrome. Waste recycling, in addition to solving environmental problems, in some cases allows for additional positive effects, such as resource savings and additional profits. The main share of about 60% in the cost of smelting high-carbon ferrochrome is chromium ore. With the

gradual reduction of the daughter-in-law of chromium ore with extrusion briquette, without disruption of the technological process, is the most attractive. Results of laboratory and industrial tests on extrusion of dust of ferrochrome production with application of polymer organic binder with their further melting in composition of ore suspension in ore-thermal furnace are given in the present paper. In cooperation with the specialists of J. C. Steele & Sons has been mastered by the experimental-industrial way of making extrusion briquette. Chemical compositions of the initial chromium-containing dust for the method of rigid extrusion, as well as the obtained metal and metallurgical slag are shown.

Keywords: extrusion briquette, rigid vacuum extrusion, suction dust, ferrochrome, ore-thermal furnace, metal, slag

References:

1. Bizhanov A. M., Dashevskiy V. Ya. On the mechanical strength of extrusion briquettes (brex) for ferroalloy production. *The Fourteenth International Ferro-Alloys Congress. Infacon XIV (31 May – 4 June, Kyiv, Ukraine)*. 2015. pp. 402–406.
2. Bizhanov A. M., Pavlov A. V., Bishenov S. A. Stiff vacuum extrusion agglomeration in ferroalloys production. *The Fifteenth International Ferro-Alloys Congress. Infacon XV (Cape Town, South Africa)*. 2018. pp. 114–124.
3. Bizhanov A. M., Pavlov A. V., But E. A. The Study of the Reduction Process Parameters of Ore-Coal Briquettes for Ferroalloys Production. *The Fifteenth International Ferro-Alloys Congress. Infacon XV (Cape Town, South Africa)*. 2018. pp. 139–151.
4. Ovcharuk A. N., Taran A., Krivenko V. V., Mingsheng Yang. Charge and briquettes properties for the production of aluminum-silicon alloys. *The Fourteenth International Ferro-Alloys Congress. Infacon XIV (31 May – 4 June, Kyiv, Ukraine)*. 2015. pp. 32–38.
5. Balashov S., Babko S., Likhobitskaia L., Shyshkina Y. Use and processing of dust of dry gas cleaning of ferrosilicon furnaces. *The Fourteenth International Ferro-Alloys Congress. Infacon XIV (31 May – 4 June, Kyiv, Ukraine)*. 2015. pp. 738–744.
6. Zhdanov A. V., Zhuchkov V. I., Dashevskiy V. Ya., Leontyev L. I. Wastes generation and use in ferroalloy production. *The Fourteenth International Ferro-Alloys Congress. Infacon XIV (31 May – 4 June, Kyiv, Ukraine)*. 2015. pp. 754–758.
7. Ulmaganbetov N. A., Almagambetov M. S., Nurgali N. Z., Almkhamedova A. K. Stiff extrusion of chromium-containing dusty materials of Aktobe ferroalloy plant. *Congress "Tekhnogen-2019"*. Ekaterinburg: RAS Ural Branch. 2019. pp. 481–486.
8. Pavlov A. V., Alimbaev S. A., Myrzagaliev A. A., Khalitov T. V. The use of low-grade chromium-containing extrusion briquettes for smelting high-carbon ferrochrome. *Collection of works of the International scientific conference "Physical and chemical foundations of metallurgical processes named after academician A. M. Samarin"*. Moscow: IMET RAS named after A. A. Baikov, 2019. pp. 66–67.
9. Alimbaev S. A., Shotanov A. E., Myrzagaliev A. A. Thermal strength of ore-coal briquettes. *Proceedings of the Scientific and practical conference "Prospects for the development of metallurgy and mechanical engineering using completed fundamental research and R&D: Ferroalloys" — "R&D – 2018"*. Ekaterinburg, 2018. pp. 172–175.
10. Kornev A. V., Kuskov V. B., Bazhin V. Yu. Iron ore agglomeration by extrusion. *Chernye Metally*. 2019. No. 11. pp. 4–10.
11. Bizhanov A. M., Chizhikova V. Agglomeration in metallurgy. Springer Nature Switzerland AG. Cham. 2020. 454 p.
12. Myrzagaliev A. A., Almagambetov M. S., Alimbaev S. A., Ulmaganbetov N. A., Khalitov T. V. The use of low-grade chromium-containing briquettes for smelting high-carbon ferrochrome. *Vestnik nauki*. Vol. 1. No. 1. pp. 342–349.
13. GOST 4757 (ISO 5448–81). Ferrochromium. Specification and conditions of delivery. Introduced: 01.01.1993.

Чукин М. В., Голубчик Э. М., Корчунов А. Г. и др.

Адаптивные подходы к конструированию технологических процессов и управлению качеством металлопродукции.

Монография

В монографии рассмотрены подходы к конструированию многовариантных технологических процессов. Основное внимание уделено современным методам формирования свойств и адаптивного оперативного управления качеством металлопродукции в иерархически сложных технологических системах.

Монография предназначена для специалистов в области разработки и совершенствования наукоемких технологических процессов и управления качеством металлопродукции, а также может быть полезна магистрантам, аспирантам и преподавателям высших учебных заведений.

ISBN: 978-5-4461-0321-8
Страницы: 464
Переплет: твердый

Издатель: Издательство "Питер"
Язык: Russian
Год издания: 2016



По вопросам приобретения книги обращайтесь:

119049, г. Москва, Ленинский проспект, д. 6,
стр. 2, НИТУ МИСИС, "А"-корпус, 6-й этаж, офис 624.
Эл. почта: books@rudmet.ru
Тел: (495) 955-01-75



«Руда и Металлы»
Издательский дом

Реклама