

УДК 669.168:622.788

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ БРИКЕТОВ ЭКСТРУЗИИ (БРЭКСОВ) ДЛЯ ВЫПЛАВКИ ФЕРРОСИЛИКОМАРГАНЦА

© Бижанов Айтбер Махачевич

J.C.Steele&Sons. USA, Statesville, NC. E-mail: abizhanov@jcsteele.com

Подгородецкий Геннадий Станиславович, канд. техн. наук;**Курунов Иван Филиппович**, д-р техн. наук, проф.;**Дашевский Виктор Яковлевич**, д-р техн. наук, проф.;**Фарнасов Геннадий Алексеевич**, д-р техн. наук, проф.

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС». Россия, Москва

Статья поступила 22.11.2012 г.

Приведены результаты опытно-промышленных плавков с использованием брикетов экструзии (брэкс) в шихте промышленной рудно-термической печи для выплавки ферросиликомарганца. Применение способа жесткой экструзии позволило придать окучкованным продуктам на основе концентрата марганцевой руды и пыли аспирации металлургические свойства, позволившие достичь в плавках значительного снижения расхода электроэнергии и кокса при сохраненном качестве ферросиликомарганца без снижения производительности печи.

Ключевые слова: брикет экструзии (брэкс); жесткая экструзия; экструдер; ферросплавы; ферросиликомарганец; пыль аспирации; рудно-термическая печь.

Окучкование природных и техногенных мелкодисперсных материалов способом жесткой экструзии, разработанным компанией J.C.Steele&Sons (США) для производства керамического кирпича, находит широкое применение в различных производствах горно-металлургического комплекса [1–3]. В соответствии с классификацией способов экструзионного окучкования под термином «жесткая» понимается экструзия подготовленной смеси с влажностью на входе в диапазоне 12–16% [4]. Прилагаемое при этом усилие прессования не превышает 3–3,5 МПа. Научно-технические разработки в области металлургии компания проводит совместно с НИТУ «МИСиС».

Интерес к такому виду брикетов, названному нами «брэкс» (брикет экструзии), обусловлен рядом причин, среди которых:

- высокая прочность сырых брэксов уже на выходе из фильеры вследствие более высоких значений плотности смеси (до ее формования), как результат удаления воздуха (на 94%) в вакуумной рабочей зоне агрегата глиномялки-экструдера;
- снижение расхода связующего в сравнении с альтернативными способами брикетирования;
- низкая себестоимость изготовления брэксов – меньше 10 долл. США за 1 т (со связующим);

- невысокие капитальные затраты на оборудование и обслуживание в целом;

- низкие энергетические затраты на формование;

- возможность придания брэксу практически любых заданных размеров и формы сечения простым изменением параметров отверстий фильеры;

- высокая производительность экструдера (15–115 т/ч), возможность изготовления мобильных модификаций экструдера;

- возможность изготовления сменных фильер в условиях металлургического предприятия;

- высокая надежность оборудования, основанная на многолетнем опыте сервисного обслуживания и существовании разветвленной сети филиалов J.C.Steele & Sons по всему миру.

В интересах одного из крупнейших производителей марганцевых ферросплавов были изучены металлургические свойства брэксов на основе концентратов марганцевой руды, пылей газоочистки производства ферросиликомарганца и углеродистых восстановителей [5–8]. Брикеты изготавливали на лабораторном экструдере компании J.C.Steele & Sons.

Целесообразность проведения промышленной кампании обусловлена необходимостью выбора оптимального способа использования



Рис. 1. Лабораторный экструдер J.C.Steele и образцы брэксов для выплавки ферросиликомарганца



Рис. 2. Подготовка шихтовых материалов для изготовления брэксов



Рис. 3. Изготовление опытно-промышленной партии брэксов на экструдере Steele 75 (производительность 55 т/ч)



Рис. 4. Погрузка свежизготовленных брэксов на грузовик и выгрузка на склад, спустя 5 мин после изготовления

мелкой фракции марганцевых руд и утилизации образующихся в процессе производства марганецсодержащих пылей сухих газоочисток. Известно, что использование в шихте материалов мелкой фракции вызывает:

- нарушение газопроницаемости колошника, обвалы и выбросы шихты, что приводит к работе печей с неустойчивой нагрузкой на электродах и к потере мощности;
- значительный рост образования пыли от газоочистных установок;
- снижение извлечения основного компонента в металл вследствие его потерь с пылью;
- резкий рост аварийности с увеличением времени горячих простоев;
- ухудшение технико-экономических показателей в целом, рост производственной себестоимости.

Для устранения указанных недостатков работы на мелких фракциях было решено использовать брэксы в качестве компонента шихты промышленной рудно-термической печи. Для проведения опытной кампании была выбрана стабильно работавшая промышленная рудно-термическая печь мощностью 27 МВА. Производительность печи – 85 т/сут. Удельный расход электроэнергии составлял в среднем 4200 кВт·ч/т. Степень восстановления марганца 80%. Содержание марганца в отвальном шлаке 12–14%.

Был выбран следующий состав брэкса: мелочь марганцевой руды 70%, пыль аспирации производства ферросиликомарганца 30%. В лабораторных условиях эти компоненты были связаны в прочный брэкс с использованием 5% портландцемента (рис. 1). Для изготовления партии брэксов (2000 т) было выбрано предприятие, оснащенное промышленной экструзионной линией J.C.Steele, куда и были доставлены 1400 т мелочи руды из одной из стран СНГ и 600 т пыли аспирации с собственного предприятия клиента. Компоненты шихты смешивались на рудном дворе фронтальным погрузчиком и подавались на экструзионную линию (рис. 2).

Экструдер Steele 75 позволил изготовить требуемое количество брэксов со средней производительностью 55 т/ч (рис. 3). При изготовлении этой партии было решено ограничить долю связующего (портландцемента) 3%, и, как показал опыт транспортировки и последующей проплавки, такого его количества оказалось вполне достаточно. Как и ожидалось, не потребовалось никаких специальных способов защиты или обработки сырых брэксов (тепловлажностная обработка, укладка на поддоны для сохранения целостности и т.п.). На рис. 4 изображена погрузка сырых брэксов с конвейера на борт самосвала и их выгрузка на склад предприятия-производителя брэксов.



Рис. 5. Брэксы на рудном дворе производителя ферросиликомарганца

При дальнейшей транспортировке на ферросплавный завод брэксы выдержали 20 перегрузочных операций:

завод-изготовитель – экструдер, конвейеры, самосвал, штабели; фронтальный погрузчик, грузчик;

порт погрузки – штабель; фронтальный погрузчик, бункер, грейфер, баржа;

порт выгрузки – грейфер, бункер, конвейеры, самосвал;

рудный двор ферросплавного завода – штабель, фронтальный погрузчик, хранилища завода, печь.

Совокупное образование мелочи (менее 6 мм) не превысило 10%. Внешний вид брэксов на руд-

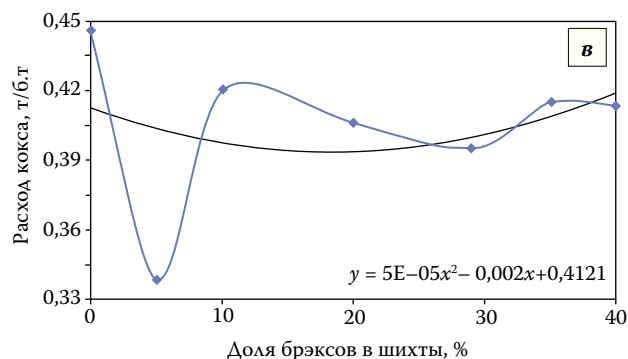
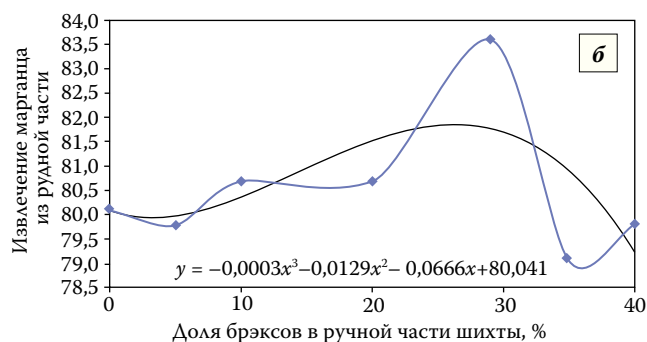
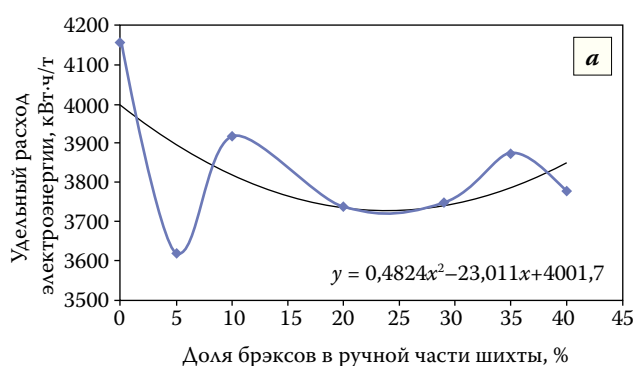


Рис. 6. Влияние количества брэксов в рудной части шихты на: а – удельный расход электроэнергии; б – извлечение марганца; в – расход кокса (приведенный к 1МВт введенной электроэнергии)

Таблица 1. Химический состав шихтовых компонентов

Материалы	Содержание элементов, мас. %						
	Mn	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Fe	P
Руда 1	49,5	13,0	0,7	0,5	1,0	4,0	0,05
Руда 2	29,0	20,2	5,9	5,2	2,1	0,9	0,06
Брэксы	31,37	24,32	6,10	2,05	2,79	1,36	0,12
Скрапы	23,3–38,6	Н.д.	Н.д.	Н.д.	Н.д.	Н.д.	Н.д.
Брикеты из отсевов ферросиликомарганца	53	18	4	Н.д.	Н.д.	10,5	0,15

ном дворе ферросплавного завода показан на рис. 5.

Состав шихты:

– рудная часть шихты (40% оксидная марганцевая руда (далее «Руда 1»), 60% карбонатная руда (далее «Руда 2»));

– восстановитель (30% кокс доменный (фракция 40–80 мм), 70% кокс-орешек (фракция 5–12 мм));

– кварцит.

Химический состав марганцевых компонентов шихты приведен в табл. 1.

Скрап представлен отходами собственного производства, образующимися при скачивании шлака с поверхности металла в ковше, а также от зачистки ковшей и лётки печи, переборки шлака на отвалах и при разливке ферросиликомарганца. Брикеты из отсевов ферросиликомарганца – отсевов дробления (некондиционная мелочь фракции 0–6 мм) изготовлены вибропрессованием. Для придания брикетам из отсевов необходимой прочности потребовалось добавлять существенно больше портландцемента, чем для брэкса (10%).

Был проведен предварительный расчет состава шихты для достижения стабильного содержания

марганца в рудной части шихты (табл. 2). По мере повышения доли брэксов в рудной части шихты было решено снизить подачу Руды 2, что являлось бы равноценной заменой, поскольку среднее содержание марганца в брэксах составляло 31% против 29% в такой руде.

Для корректного сопоставления результатов работы печи без использования брэксов и с ними был выбран период работы печи продолжительностью около месяца. В качестве базового был выбран недельный период работы печи без брэксов, непосредственно предшествовавший началу кампании.

Было решено начать с 5% брэксов в рудной части шихты для получения первого опыта работы на такой шихте. В течение трех дней работы видимых изменений в технологическом процессе выплавки ферросиликомарганца не наблюдалось, печь работала ровно, с постоянной и равномерной токовой нагрузкой в течение всего периода использования брикетов. Незначительное снижение извлечения марганца на 0,3% в этот период вызвано простоем печи, связанным с ремонтом леточного узла (простой в течение 1,5 ч).

Затем в течение четырех дней доля брэксов в рудной части шихты поддерживалась на уровне 10%. Визуально отмечалось улучшение работы колошника печи. Появились языки пламени по всей площади колошника, что свидетельствовало об улучшении газопроницаемости столба шихтовых материалов и равномерном распределении температуры по поверхности колошника. Наблюдалась глубокая посадка электродов, без образования свищей в распаде электродов и вокруг них. Спекания шихты в распаде электродов не наблюдалось.

Таблица 2. Состав шихты, ч. т (%)

Компонент шихты	Периоды кампании						
	Базовый	1	2	3	4	5	6
Руда 1	0,526 (30)	0,525 (30)	0,525 (30)	0,525 (30)	0,525 (30)	0,525 (30)	0,525 (30)
Руда 2	1,205 (70)	1,120 (65)	1,030 (60)	0,855 (50)	0,705 (41)	0,600 (35)	0,525 (30)
Брэксы	–	0,087 (5)	0,175 (10)	0,350 (20)	0,500 (29)	0,605 (35)	0,690 (40)
Расчетная масса колоши,	1,730	1,732	1,730	1,730	1,730	1,730	1,740
Задано марганца с материалом							
Руда 1	0,262/43	0,262/42,6	0,262/42,6	0,262/42,4	0,262/42,2	0,262/42,1	0,262/41,8
Руда 2	0,350/57	0,325/53	0,299/48,6	0,224/40,1	0,205/32,8	0,174/27,9	0,152/24,2
Брэксы	–	0,027/4,4	0,054/8,8	0,109/17,5	0,160/25	0,188/30	0,214/34
Масса марганца в колоше	0,612	0,614	0,614	0,619	0,622	0,624	0,628
Среднее содержание марганца, %	35,4	35,5	35,6	35,8	36,0	36,1	36,1

Далее в течение трех последующих дней доля брэксов в рудной части шихты была увеличена до 20%. Печь работала ровно, посадка электродов была глубокой, токовая нагрузка без видимых отклонений и толчков, газопроницаемость шихты хорошая по всей площади колошника.

В течение всей следующей недели доля брэксов в рудной части шихты была увеличена до 29%. Печь работала хорошо. Отмечалось увеличение скорости схода шихты в области распада электродов, особенно во время выпусков расплава, что свидетельствовало об увеличении скорости плавления шихты в активной зоне печи. Колошник работал ровно, без свищей, токовая нагрузка постоянная, ровная, без толчков и перепадов. Расплав выходил хорошо, металл и шлак были достаточно прогреты. Однако в этот же период имел место простой печи в течение 4 ч вследствие причин, не связанных с наличием брэксов в шихте (проблемы с трансформатором).

Начало следующего этапа кампании, когда доля брэксов возросла до 35% (взамен Руды 2), было отмечено проблемой, связанной с отсутствием перепуска леточного электрода, что привело к его укорочению и ухудшению выхода расплава. Основная масса шлака оставалась в печи. Это повлекло за собой увеличение расхода кокса и вывод из состава шихты скрапа и брикетов из

отсевов ферросиликомарганца. В этот период наблюдалось ухудшение технико-экономических показателей работы печи, а именно: рост удельного расхода электроэнергии и удельного расхода марганцеворудного сырья, а также снижение извлечения марганца. Для введения печи в нормальный режим была повышена мощность печи для разогрева в печи шлака и его нормального выпуска.

В заключительный период кампании (неделя) печь работала с долей брэксов в рудной части шихты, составлявшей 40%. Работа печи характеризовалась хорошей токовой нагрузкой, газоделение на колошнике было ровным, без свищей и обвалов шихты, расплав выходил хорошо.

По результатам кампании авторами был проведен сравнительный анализ технико-экономических показателей работы печи с брэксами и без них, а также химический анализ продуктов плавки (табл. 3 и 4). Из приведенных результатов видно, что кампания опытно-промышленных плавов с использованием брэксов в шихте промышленной рудно-термической печи завершилась успешно, продемонстрировав высокую эффективность использования брикетов экструзии в процессе выплавки марганцевых сплавов. Замещение существенной части марганцевой руды в шихте брэксами на основе рудной мелочи и

Таблица 3. Параметры работы печи в базовый и в опытные периоды кампании

Показатель		Период кампании						
		Базовый	1	2	3	4	5	6
Фактическое производство металла за период времени, т	т	816,323	298,4	277,1	196,6	570,6	397,2	757,2
	б. т	839,670	300,7	285,8	199,5	584,75	393,2	767,8
Фактическая работа печи, %		98,9	97,6	97,4	99,7	96,2	98,6	93,6
Расход электроэнергии, МВт		3339,27	1078,2	1085,4	734,7	2120,8	1536,3	2821,48
Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/б. т		3977	3586	3798	3682	3627	3908	3675
Руда 2	т(29%Mn)/б. т	1,106	0,933	0,892	0,714	0,635	0,626	0,492
	т(48%Mn)/б. т	0,668	0,563	0,539	0,431	0,383	0,378	0,297
Руда 1	т(49,5%Mn)/б. т	0,565	0,505	0,482	0,509	0,480	0,524	0,484
	т(48%Mn)/б. т	0,582	0,520	0,497	0,525	0,495	0,540	0,499
Брэксы	т(31,37%Mn)/б. т	0	0,077	0,164	0,273	0,387	0,571	0,605
	т(48%Mn)/б. т	0	0,050	0,107	0,178	0,252	0,373	0,395
Общий расход марганцеворудного сырья	т/б. т	1,671	1,515	1,538	1,496	1,502	1,721	1,581
	т(48%Mn)/б. т	1,250	1,133	1,143	1,134	1,130	1,291	1,191
Кокс, т/б. т		0,432	0,341	0,420	0,400	0,381	0,418	0,404
Кварцит, т/б. т		0,419	0,499	0,524	0,465	0,529	0,456	0,475
Брикеты из отсевов ферросиликомарганца, т/б. т		0,158	0,082	0,103	0,092	0,120	0,110	0,094
Скрап (содержание Mn в скрапе, %), т/б. т		0,358 (23,3)	0,601 (29,9)	0,462 (33,0)	0,477 (35,3)	0,461 (32,0)	0,455 (25,8)	0,373 (38,6)
Электродная масса, т/б. т		0,034	0,032	0,030	0,035	0,028	0,033	0,028
Извлечение марганца из рудной части, %		80,1	79,8	80,7	80,7	83,6	79,1	79,9

Таблица 4. Содержание основных элементов в базовый и в опытные периоды кампании

Период кампании	Содержание основных элементов, мас. %								
	В металле				В шлаке				
	Mn	Si	Fe	P	MnO	MgO	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃
Базовый	66,64	17,71	14,06	0,127	10,50	7,38	44,28	21,43	15,29
1	66,33	16,30	14,25	0,128	12,70	7,14	45,33	20,31	13,46
2	66,90	17,69	14,18	0,098	12,89	6,52	44,78	18,67	13,80
3	66,77	16,45	14,21	0,12	11,30	6,77	44,57	19,86	15,07
4	68,02	16,02	14,01	0,14	11,79	6,39	45,11	19,42	15,13
5	65,98	15,22	14,30	0,16	15,08	5,73	46,20	26,11	15,71
6	66,08	17,07	14,25	0,18	10,8	5,17	45,30	19,83	15,35

пыли аспирации привело к улучшению технико-экономических показателей процесса в целом. Сама опытно-промышленная кампания прошла без видимых изменений технологического процесса: печь работала ровно, с постоянной токовой нагрузкой, выпуск расплава производился по графику, существенных изменений химического состава металла и шлака не наблюдалось, газопроницаемость колошника печи улучшилась.

Удельный расход электроэнергии в опытный период значительно снизился. В базовый период расход электроэнергии на 1 т сплава составлял 4091 кВт·ч. При подаче в рудную часть шихты 40% марганецсодержащих брикетов удельный расход электроэнергии снизился до 3727 кВт·ч на 1 т сплава (рис. 6, а).

Следующим положительным фактором проведенной кампании стало увеличение доли извлечения из рудной части шихты ведущего компонента – марганца. Если в сравнительном периоде работы печи без брикетов извлечение марганца из рудной части шихты составляло в среднем 80%, то при использовании в рудной части шихты 30% брэксов извлечение марганца достигало 83,5% (рис. 6, б). Ухудшение параметров его извлечения в период, предшествовавший заключительному, не связано с наличием брэксов в шихте и явилось следствием

простой печи и проблем с электродом. Снижение расхода кокса иллюстрируется рис. 6, в.

Заключение. Приведенные выше результаты полномасштабного эксперимента позволяют считать целесообразным применение брэксов на основе мелочи марганцевой руды и пыли газоочисток в качестве одного из основных компонентов рудной части шихты для выплавки ферросиликомарганца.

Библиографический список

1. Steele R.B. Agglomeration of Steel Mill By-products via Auger Extrusion: Proc. 23rd Biennial Conf. IBA (Seattle, WA, USA. 1993). P. 205–217.
2. Далмиди И.К., Курунов И.Ф., Стил Р.Б., Бижанов А.М. Производство и проплавка в доменной печи брикетов нового поколения // *Металлург*. 2012. № 3. С. 39–41.
3. Курунов И.Ф., Бижанов А.М. Жесткая вакуумная экструзия Steele – перспективный способ окускования металлургического сырья и отходов // *Черная металлургия: Бюл. НТИЭИ*. 2012. № 4. С. 46–49.
4. Хавкин А.Я., Берман Р.З. Кирпичные заводы малой мощности // *Строительные материалы*. 2000. № 4. С. 18–19.
5. Steele R.B., Bizhanov A.M. Stiff Extrusion Agglomeration of Arc Furnace Dust and Ore Fines for Recovery at a Ferro Alloy Smelter: Proc. 32nd Biennial Conf. (September, 2011. New Orleans, Louisiana). Inst. for Briquetting and Agglomeration. Vol. 3. P. 41–53.
6. Курунов И.Ф., Бижанов А.М., Тихонов Д.Н., Мансурова Н.Р. Металлургические свойства брэксов // *Металлург*. 2012. № 6. С. 44–48.
7. Бижанов А.М., Курунов И.Ф., Дуров Н.М., Нуштаев Д.В., Рыжов С.В. Механическая прочность брэкса // *Металлург*. 2012. Ч. 1. № 7. С. 32–35; Ч. 2. № 10. С. 36–40.
8. Бижанов А.М., Стил Р.Б., Подгородецкий Г.С. и др. Брикетты экструзии (брэкссы) для производства ферросплавов // *Металлург*. 2012. № 12. С. 52–57.

EXTRUSION BRIQUETTES (BREX) FOR THE PRODUCTION OF THE FERROALLOYS

© Bizhanov A.M.; Podgorodetskiy G.S., PhD; Kurunov I.F., ScD, prof.; Dashevskiy V.Ya. ScD, prof.; Farnasov G.A., ScD, prof.

The results of the full-scale industrial trials with the extruded briquettes (brex) as a charge component for the ferrosilicon manganese production are represented. Utilization of the Steele Stiff Extrusion agglomeration technology allowed to achieve the metallurgical properties of the brex required for the sufficient reduction in electric energy and coke consumptions without changes in goods quality and furnace productivity.

Keywords: extruded briquette (BREX); stiff extrusion; Steele Extruder; ferrosilicon manganese; aspiration dust; electric ore smelting furnace.