

УДК 669.162.1:622.788

БРЭКСЫ – НОВЫЙ ЭТАП В ОКУСКОВАНИИ СЫРЬЯ ДЛЯ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ

© **Курунов Иван Филиппович**, д-р техн. наук, проф.

ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат». Россия, г. Липецк.

E-mail: kurunov_if@nlmk.ru

Бижанов Айтбер Махачевич

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

Статья поступила 18.02.2014 г.

Введенная в промышленную эксплуатацию в апреле 2011 г. на металлургическом заводе компании Suraj Products Ltd в г. Руркела (Индия) промышленная линия по производству брикетов по технологии жесткой вакуумной экструзии успешно функционирует. Производимые из металлургических отходов (шламы и колошниковая пыль) и железорудной мелочи брикеты экструзионные (брэкссы) являются новым компонентом доменной шихты. Металлургические свойства брэксов позволили увеличить их долю в шихте доменной печи до 100%, вывести из шихты известняк и сократить расход кокса на 200 кг/т.

Ключевые слова: доменная печь; шихта; жесткая вакуумная экструзия; брикеты экструзионные (брэкссы).

История промышленного окускования железорудных материалов берет свое начало с первого коммерчески успешного проекта «Грэндалль» производства брикетов из мелкой магнетитовой железной руды, реализованного в 1899 г. в Финляндии [1]. Брикетыв получали на оборудовании, применявшемся в то время для производства кирпича. Они имели форму и размер обычного строительного кирпича и производились из увлажненной руды без использования связующего. Сырые брикетыв подвергались упрочняющему обжигу в туннельной печи с температурой в зоне горения 1400 °С. Несмотря на необычные для доменных печей размеры, эти брикетыв успешно применялись в доменной плавке на заводе в Питкаранта. В процессе окислительного обжига из руды удалялась сера и уменьшалось содержание железа, которое в брикетах составляло 90% от исходного в руде. Пористые брикетыв имели высокую восстановимость, и их применение привело к сокращению расхода кокса и повышению производительности печей. Успех проекта способствовал его быстрому распространению, и в 1913 г. работали уже 38 подобных линий брикетирования (16 в Швеции, 12 в Англии, 6 в США) [1]. В начале 1920-х годов для окускования рудной мелочи и отходов стали применять и другие технологии брикетирования, включая производство безобжиговых брикетов. Будучи единственным видом окускованного сырья в это время, брикетыв находили широкое применение в доменном производстве. Так, например, их доля в шихте домен-

ных печей (ДП) завода Вест в Кальбе достигала 30–40%, а в низкошахтной ДП завода Макс Хютте (Германия) – 100%. Эти брикетыв изготавливали из железорудной мелочи, известняка и коксовой пыли [2]. В ДП Кушвинского завода доля брикетов в шихте достигала 25%. Брикетыв в количестве до 100 тыс. т в год применялись в ДП Керченского и Таганрогского металлургических заводов [3]. Однако с появлением и развитием высокопроизводительной агломерации железных руд и концентратов методом спекания брикетов этот метод не смог конкурировать с этой новой технологией из-за низкой производительности применяемого оборудования.

В настоящее время окускование техногенных и природных металлосодержащих материалов методом брикетирования с получением безобжиговых брикетов на минеральной или органической связке вновь находит все более широкое применение, в том числе и в доменном производстве. Применяются три технологии брикетирования – прессование в валках, вибропрессование и жесткая вакуумная экструзия. Применение жесткой вакуумной экструзии для окускования мелкой руды и дисперсных металлургических отходов в начале XXI в. освоила компания J.C.Steele & Sons, Inc. (США), основанная в 1889 г. Эта современная технология заключается в продавливании под давлением 3,0–3,5 МПа через отверстия в фильере влажной (12–16%) гомогенной смеси брикетируемых материалов со связующим под вакуумом, создаваемым в рабочей камере экструдера ваку-

умным насосом. Производительность промышленных экструдеров фирмы J.C.Steele & Sons, Inc. составляет 15–115 т/ч. В настоящее время эти экструдеры и технология применяются для производства кирпичей более чем в 60 странах мира. Применение шнековой экструзии для окускования руды и металлургических отходов началось в 1990-х годах, когда была пущена линия брикетирования (20 т/ч) шламов и колошниковой пыли на металлургическом заводе фирмы Bethlehem Steel в США. Получаемые брикеты проплавливали в доменных печах. Линия проработала до закрытия завода в 1996 г. В 1993 г. в Колумбии (горнорудная компания BHP Billiton) была введена в эксплуатацию линия для производства экструзионных брикетов годовой производительностью 700 тыс. т. Брикетирование производится из пылей аспирации производства ферроникеля и мелочи латеритовой никелевой руды. Глинистая пустая порода руды позволяет получать брикеты без применения связующего, что минимизирует эксплуатационные затраты на 1 т брикетов. В 2009 г. состоялся пуск аналогичной фабрики брикетирования уже в Бразилии (компания Vale).

В апреле 2011 г. на металлургическом заводе компании Suraj Products Ltd в г. Руркела (Индия) начала работать промышленная линия по производству брикетов для доменной печи из металлургических отходов (шламы и колошниковая пыль) и железорудной мелочи по технологии жесткой вакуумной экструзии. Производительность этой линии составляет 20 т/ч или в среднем 6000 т в месяц при двухсменной работе и 20 рабочих днях в месяц, что полностью обеспечивает потребность доменного процесса в окускованной шихте. Экструзионные брикеты на цементной связке, имеющие оптимальные и регулируемые размеры и управляемый химический состав, являются шихтовым материалом нового поколения. В настоящее время этот материал получил официальное название БРЭКС (BREX), зарегистрированное в ФИПС [4]. Металлургические свойства брэксов полностью удовлетворяют требованиям к шихтовым материалам доменного производства, что позволяет успешно применять их в доменной плавке, а также в ферросплавных и сталеплавильных печах [5–8].

Первый промышленный эксперимент по применению в ДП брэксов в качестве основного компонента доменной шихты [9] успешно перерос в обычную практику работы печи. Более 2,5 лет небольшая ДП (рис. 1) предприятия

Suraj Products Ltd в г. Руркела (Индия) работает на шихте, состоящей из брэксов (80%) и богатой железной руды фракции 15–50 мм (20%), на сегодня уже полгода эта ДП работает на моношихте из брэксов. На этом предприятии брэксы на цементной связке производятся из дисперсных железосодержащих отходов (сталеплавильные шламы и пыль – 50%, доменный шлам и колошниковая пыль – 20%, мелочь (0–5 мм) железной руды – 30%, портландцемент 6% и бентонит до 0,5%). Успех проекта стал возможным в том числе вследствие всестороннего изучения металлургических свойств брэксов и совершенствования режимов их использования в качестве шихтовых компонентов, выполненного авторами настоящей статьи [6–8] совместно с коллегами в Индии. Специалисты Suraj Products Ltd следовали рекомендациям относительно изготовления и использования брэксов в шихте ДП, основанным как на результатах упомянутых исследований, так и на итогах анализа работы печи во время посещений авторами металлургического завода в Индии.

Работа ДП на шихте из 100% брикетов, безусловно, знаковое событие в доменном производстве, но это в очередной раз лишь подтверждает, что зачастую «новое» является хорошо забытым «старым» [2]. Новый виток развития технологии производства окускованного сырья для ДП путем брикетирования и технологии доменной плавки с применением брикетов обусловлен появлением высокопроизводительной и экономичной техники брикетирования по способу жесткой вакуумной экструзии. В настоящее время, как уже говорилось выше, годовая производительность линий брикетирования путем экструзии достигает 700 тыс. т, что соответствует производительности агломерационной машины площадью спекания 75–100 м².

Основные преимущества технологии окускования способом жесткой вакуумной экструзии следующие:

- экологическая чистота при производстве брэксов, т.е. отсутствие газообразных, твердых и жидких выбросов;
- полное отсутствие каких-либо отходов;
- отсутствие постоянного технологического цикла возврата;
- идеально отвечающие требованиям доменной технологии геометрические размеры и форма получаемых брэксов (рис. 2) и возможность оптимизации этих размеров в процессе производства;

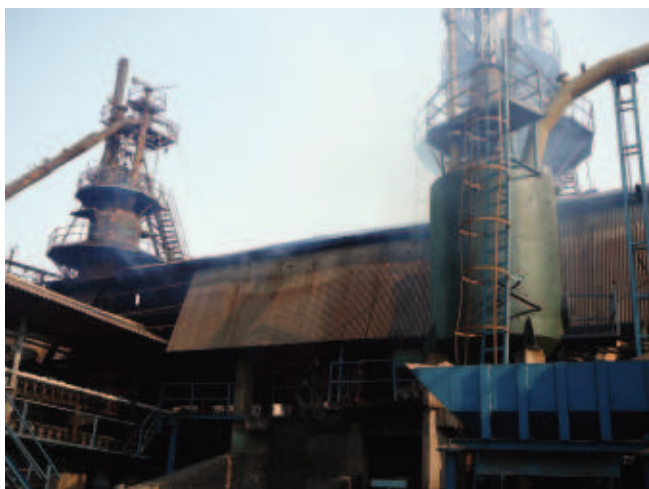


Рис. 1. Доменные печи предприятия Suraj Products Ltd



Рис. 2. Открытый склад брэксов на предприятия Suraj Products Ltd

– возможность производства самовосстанавливающихся брэксов с использованием дешевых углеродсодержащих дисперсных природных или техногенных материалов неорганического и органического происхождения;

– высокая прочность «сырых» брэксов на выходе из экструдера, позволяющая осуществлять их транспортировку и штабелирование с использованием стандартного оборудования (рис. 3).

Для стран с резко континентальным климатом недостатками обсуждаемой технологии окискования способом жесткой вакуумной экструзии являются:

– необходимость осуществлять все технологические операции (шихтовка, смешивание, экструзия, упрочняющее вылеживание) в закрытом помещении и при положительной температуре (выше +5 °С);

– необходимость иметь закрытый склад для упрочняющего вылеживания брэксов (площадь 1,5–1,75 м²/1000 т брэксов в год).

Успешная практика применения брэксов в качестве основного, а затем и единственного компонента доменной шихты обусловлена их физическими и физико-химическими характеристиками, которые удовлетворяют требованиям к сырьевым материалам доменной плавки на всем жизненном цикле брэксов от момента их выхода из фильеры экструдера до образования из них чугуна в ДП. Действительно, на пути от экструдера до штабеля упрочняющего вылеживания, а затем до штабеля готовых брэксов они не образуют мелочи. Незначительное количество мелочи образуется только при заборе брэксов автопогрузчиками из штабелей. Это позволяет исключить операцию отсева мелочи перед

загрузкой брэксов в печь без ущерба для ДП. Скипы с брэксами не содержат мелочи, и их ссыпание из бункера в скип, а из скипа в загрузочное устройство ДП, как и другие операции по перегрузке брэксов, не сопровождается образованием пыли (рис. 4).

В ДП при опускании с колошника брэксы не разрушаются и сохраняют свою целостность вплоть до размягчения и расплавления в зоне когезии. При проведении в восстановительной атмосфере многочисленных высокотемпературных испытаний целых брэксов различного компонентного состава результаты, подтверждающие это, воспроизводились на 100%. Все брэксы при нагреве со скоростью 500 °С/ч до температуры 1150 °С и получасовой выдержке при этой температуре с последующим охлаждением в инертной атмосфере сохранили свою форму. Таким образом, брэксы, как новый шихтовый материал, бла-



Рис. 3. Укладка брэксов в штабель



Рис. 4. Выгрузка брэксов в скип

годаря их перечисленным выше характеристикам и свойствам имеют широкую перспективу применения в металлургии и в первую очередь в доменном производстве.

Показатели работы ДП предприятия Suraj Products Ltd в г. Руркела (Индия) представлены в таблице.

Из данных таблицы видно, что, несмотря на высокие удельные тепловые потери из-за малого объема ДП и невысокую температуру дутья, расход кокса на моношихте из брэксов не превышает 500 кг/т, что соответствует результатам работы современных высокоэффективных ДП на шихте с содержанием железа 58–59% при температуре дутья 1200 °С и избыточном давлении газа на колошнике 180–250 кПа. Это достигается благодаря тому, что брэксы являются самовосстанавливающимся продуктом благодаря присутствию в них углеро-

да колошниковой пыли, а также их основности, обеспечивающей получение необходимой основности доменного шлака. Последнее позволило вывести из шихты известняк. Для корректировки основности шлака и содержания магнезии в нем применяются добавки кварцита и доломита. В результате расход кокса на выплавку чугуна при работе на 100%-ном содержании брэксов в шихте сократился почти на 200 кг/т по сравнению с работой на шихте из 100%-ной богатой железной руды.

Три года эксплуатации промышленной линии экструзии продемонстрировали простоту ее использования и обслуживания (при соблюдении правил эксплуатации), функциональность и высокую надежность. Закупки оригинальных запасных частей за это время не превысили 30 тыс. долл. США. Специалисты Suraj Products Ltd при содействии инженеров J.C.Steele & Sons Inc. освоили производство фильер для экструдера. В настоящее время ресурс одной фильеры со-

Показатели работы доменной печи на железной руде и на брэксах

Показатели работы доменной печи	100% руды	80% брэксов	100% брэксов
Расход, кг/т:			
железной руды	1500	372	–
брэксов	–	1425	1960
известняка	150	–	–
доломита	144	–	29
скрапа	132	–	–
кварцита	–	–	13
промывочных брэксов из Мп руды	–	19	75
кокса	680	530	490
Содержание железа в офлюсованной шихте*, %	57,6	50,4	45,5
Производительность печи, т/(м ³ ·сут.)	1,9	1,62	2,0
Температура горячего дутья, °С	925	900	1000
Давление на фурмах, кПа	50	35–38	38–42
Химический состав чугуна, %:			
Si	1,0–1,8	1,0–1,5	0,8–1,1
Mn	0,2	0,4–0,5	0,7–0,8
C	3,8–4,0	3,75–3,90	3,8–3,95
S	0,050–0,060	0,038–0,050	0,038–0,042
Температура чугуна, °С	1380–1440	1400–1450	1410–1450
Химический состав шлака, %:			
CaO	34,86	33,12	38–39
SiO ₂	31,98	30,23	30,0–32,0
Al ₂ O ₃	23,87	17,98	16,0–18,8
MgO	9,46	9,48	8,0–9,5
FeO	1,01	1,26	0,6–1,15

* Без учета CO₂ флюсов.

ответствует производству 3 тыс. т брэксов. Себестоимость фильеры, изготовленной в заводских условиях, не превышает 50 долл. США. Инспекции J.C.Steele & Sons Inc. не выявили серьезного износа или повреждения элементов основного оборудования. Все компоненты линии, включая питатель равномерной подачи, глиномялки и собственно экструдер, находятся в работоспособном состоянии, обеспечивающем производство брэксов в объеме, требуемом для работы ДП на 100% брэксов.

Заключение. Брэксы, получаемые из природных и/или техногенных дисперсных сырьевых материалов, имеют оптимальные и регулируемые размеры, управляемый химический состав и высокие металлургические свойства. Производство этого нового вида окучкованного и офлюсованного компонента шихты в отличие от агломерата и окатышей экологически чистое и полностью безотходное, не имеющее ни газообразных, ни твердых выбросов. Работа малой доменной печи на моношихте из 100% брэксов, изготавливаемых из смеси металлургических отходов (70%) и железорудной мелочи (30%), демонстрирует уникально низкий расход кокса (490 кг/т) при температуре дутья 1000 °С и содержании железа в офлюсованной шихте 45,5%.

Библиографический список

1. **Pietsch W.** Agglomeration in Industry. Occurrence and Applications Wiley, 2005. 375 p.
2. **Равич Б.М.** Брикетирование в цветной и черной металлургии. М. : Металлургия, 1975. 232 с.
3. **Астахов А.Г., Мачковский А.И., Никитин А.И. и др.** Справочник агломератчика. Киев : Техника, 1964. 448 с.
4. БРЭКС. Свидетельство на товарный знак (знак обслуживания) № 498006, заявка № 2012706053 от 02.03.2012. Правообладатель А.М.Бижанов.
5. **Dalmia Yo., Kurunov I., Steele R., Bizhanov A.** New charge material for blast furnace: Proc. of the 6th Int. Congress on Science and Technology of Ironmaking – ICSTI (Rio de Janeiro, Brazil. 14–18 Oct., 2012).
6. **Курунов И.Ф., Бижанов А.М.** Жесткая вакуумная экструзия Steele – перспективный способ окучкования металлургического сырья и отходов // Бюл. НТИЭИ: Черная металлургия. 2012. № 4. С. 46–49.
7. **Бижанов А.М., Подгородецкий Г.С., Курунов И.Ф. и др.** Брикетки экструзии (брэксы) для производства ферросплавов // Металлург. 2013. № 2. С. 44–49.
8. **Курунов И.Ф., Бижанов А.М., Тихонов Д.Н., Мансурова Н.Р.** Металлургические свойства брикетов // Металлург. 2012. № 6. С. 44–48.
9. **Далмиа Й.К., Курунов И.Ф., Стил Р., Бижанов А.** Производство и применение в доменной плавке брикетов нового поколения // Металлург. 2012. № 3. С. 39–41.

BREX – NEW STAGE IN AGLOMERATION OF RAW MATERIAL FOR BLAST FURNACES

© **Kurunov I.F.,** Dr Sci. (Eng.), prof.; **Bizhanov A.M.**

In April 2011 at the Metallurgical Plant belonging to Suraj Products Ltd in Rourkela (India) the industrial line for production of briquettes made from metallurgical waste and fine iron ore has started the operation based on the stiff-extrusion technology developed by the J.C.Steele & Sons, Inc (USA). Produced by this technology the cement bonded extrusion briquettes (BREX) are the new generation component of charge for BF. Metallurgical properties of the brex allow utilizing them successfully in BF melting. Utilization of the 100% of the brex in the small blast furnace charge helped to reject from raw fluxes and led to decrease in coke consumption by 200 kg/t.

Keywords: blast furnace; charge; extrusion briquettes; brex production.