

**БЮЛЛЕТЕНЬ**  
научно-  
технической  
и экономической  
информации

# ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

ISSN 0135-5910

---

ОАО «ЦЕНТРАЛЬНЫЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ИНСТИТУТ ИНФОРМАЦИИ  
И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ»

**Чер/Лет**  
информация

---

ВЫПУСК № 4 (1348)

**2012**



## ЖЕСТКАЯ ВАКУУМНАЯ ЭКСТРУЗИЯ STEELE — ПЕРСПЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ОКУСКОВАНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО СЫРЬЯ И ОТХОДОВ

И. Ф. КУРУНОВ<sup>1</sup>, д-р техн. наук, kurunov\_if@nlmk.ru; А. М. БИЖАНОВ<sup>2</sup>  
(<sup>1</sup> ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат», <sup>2</sup> компания J.C. Steele & Sons, Inc., США)

В последние два десятилетия технология окускования дисперсных материалов и рудной мелочи методом брикетирования получает все более широкое распространение в металлургии. Из известных технологий брикетирования с использованием минерального связующего (валковые прессы, вибропрессование) технология жесткой вакуумной экструзии, разработанная и успешно применяемая компанией J.C. Steele & Sons, Inc., США, в горно-металлургическом комплексе [1], является в настоящее время наиболее перспективной. С целью четкого обозначения технологических особенностей этого метода брикетирования авторами настоящей статьи был введен в обиход новый термин «брэкс» (брикет экструзионный), который уже используется в публикациях, посвященных этому продукту.

Основными особенностями жесткой экструзии, определяющими ее привлекательность для металлургии и горного дела, и ее принципиальным отличием от конкурирующих технологий являются:

1. Высокая механическая прочность «сырых» брэксов, обусловленная наличием вакуумной камеры в экструдере, что позволяет удалить более 93 % воздуха из формуемого материала. Это приводит к росту плотности смеси до ее формирования, обеспечивает высокую прочность при меньшем расходе связующего по сравнению с другими технологиями брикетирования и не требует термической обработки для достижения рабочей прочности брэксов и необходимых для этой обработки логистических операций и соответствующего оборудования.

2. Возможность производства брэксов оптимального размера и формы с точки зрения металлургической технологии, в которой они используются, что достигается простым изменением профилей и размеров выходных отверстий фильер.

3. Высокие прочностные характеристики готовых брэксов, позволяющие осуществлять погрузочно-разгрузочные операции и транспортировку

с минимальным образованием мелочи, и высокая горячая прочность.

4. Возможность эффективного брикетирования высоковлажных материалов (до 18–20 %), приводящая к снижению затрат на осушение шихты.

5. Низкие затраты энергии на формирование при давлениях в рабочей камере до 3,5 МПа.

6. Промышленное совершенство технологии, вековой опыт производства и обслуживания, высокая надежность, долговечность и экономическая эффективность оборудования компании J.C. Steele & Sons, Inc.

Технология жесткой вакуумной экструзии давно и широко применяется в различных отраслях промышленности. С 1889 г. компания J.C. Steele & Sons, Inc. поставляет оборудование для производства керамического кирпича и была пионером в разработке и внедрении технологии жесткой экструзии. В настоящее время более 600 экструдеров по всему миру используются при производстве кирпича по технологии жесткой вакуумной экструзии.

В последние два десятилетия компания J.C. Steele & Sons, Inc. начала распространять применение этой технологии в металлургической и горнорудной промышленности с целью окускования природного и техногенного минерального сырья.

Примерами этого являются: три линии по производству брэксов из латеритовых никелевых руд в горнодобывающей компании BHP-Billiton в Колумбии с годовым производством 700 тыс. т; аналогичные по производительности три линии для производства брэксов тоже из латеритовых никелевых руд на предприятии в Mineracao Onca Puma бразильской горно-добывающей компании Vale; линия по производству синтетических гипсовых камней (брэксов) из синтетического гипса и пыли газоочистки цементных трубчатых печей в компании Marsulex, США; восемь линий по производству брэксов из угольной пыли в компании COVOL Coal Synfuels, США; пять линий по производству брэксов из бокситов на пред-



предприятиях компаний CE Minerals, США, и Xiuwen, Китай; ряд линий по производству брэксов из золы уноса, бумажных шламов и шламов сточных вод на предприятиях компаний Universal Aggregates и Wisconsin Electric Power Company, США.

Первая в черной металлургии промышленная линия брикетирования железосодержащих отходов по технологии жесткой вакуумной экструзии была реализована компанией J.C. Steele & Sons, Inc. в 1993 г. на металлургическом заводе Bethlehem Steel Corporation в США [1]. Проектная производительность первой линии по производству брэксов составляла 20 т/ч, или в среднем 6 тыс. т/мес., при двухсменной работе и 20 рабочих днях в месяц. Брэксы производили из шлама и пыли кислородно-конвертерного цеха, доменного шлама и шлама коксохимического цеха. В качестве связующего и пластификатора использовали соответственно портландцемент и лигнин. Брэксы применяли в шихте доменных печей. Линия брикетирования успешно работала с 1993 по 1996 г. и была остановлена в связи с ликвидацией основного предприятия.

Применение новой технологии брикетирования в доменном производстве возобновилось лишь в наши дни. В апреле 2011 г. была пущена промышленная линия по производству брэксов номинальной производительностью 20 т/ч на небольшом металлургическом заводе компании Suraj Products Ltd в г. Руркела, Индия (рис. 1). Продукцией этого завода является литейный и передельный чугун, выплавляемый в двух малых доменных печах, и губчатое железо, получаемое из кусковой железной руды во вращающихся трубчатых печах с использованием угля в качестве восстановителя.



Рис. 1. Промышленная экструзионная установка на предприятии компании Suraj Product Ltd

Создание промышленной линии по производству брэксов коренным образом изменило состав доменной шихты и технологию плавки. Поскольку брэксы производятся в основном из покупных конвертерных и доменных шламов с использованием цемента (6 %) в качестве связующего, то они имеют высокую основность ( $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 1,4$ ). Это позволяет полностью исключить из шихты известняк и доломит. Однако этот же фактор лимитирует долю брикетов в доменной шихте на уровне 80 % из-за роста основности шлака и повышения температуры его кристаллизации и вязкости при дальнейшем увеличении доли брэксов в шихте.

Вывод известняка и доломита из шихты и наличие в брэксах углерода доменных шламов, переход на новую шихту, состоящую из 80 % брэксов и 20 % богатой железной руды, позволил сократить расход кокса на 150 кг/т чугуна по сравнению с работой доменной печи только на богатой руде [2]. Углерод в брэксах участвует в восстановлении оксидов железа, заменяя углерод кокса и сокращая потребность процесса в нем. Работа доменной печи на шихте из брэксов заставила понизить уровень засыпи для повышения температуры колошниковых газов с целью обеспечения нормальной работы рукавных фильтров сухой газоочистки, применяемой на доменной печи.

Холодная и горячая прочность производимых брэксов обеспечивает успешное применение их в доменной плавке. Этот промышленный опыт производства брэксов и их использования в качестве основного компонента доменной шихты позволяет сделать вывод о том, что применение высокопроизводительной техники и технологии окускования дисперсных материалов методом жесткой вакуумной экструзии для производства шихтового материала для доменной печи является знаковым событием в доменном производстве. Производимые по этой технологии из техногенных и/или природных железосодержащих материалов брэксы являются компонентом доменной шихты нового поколения (рис. 2).

Кроме шламовых брэксов компания Suraj Products Ltd производит также промывочные брэксы из мелочи (0–3 мм) марганцевой руды на цементной связке (5 %), которые успешно применяются для промывки горна доменной печи.





Рис. 2. Склад готовых брэксов на предприятии компании Suraj Product Ltd

В настоящее время в интересах крупнейших металлургических компаний России и СНГ, США, Японии, Южной Африки был проведен комплекс лабораторных и опытно-промышленных исследований металлургических свойств брэксов для доменного, сталеплавильного и ферросплавного производств, приведший к размещению ряда заказов на изготовление оборудования и строительства объектов “под ключ”.

Для крупной российской металлургической компании были отработаны составы брэксов на основе пыли электросталеплавильного цеха (ЭСПЦ). Попытки изготовления прочных брикетов альтернативными способами (вибропрессование, прессование в валках) не привели к успеху. Только жесткая вакуумная экструзия, придающая увлажненным сыпучим материалам необходимую пластичность, позволила изготовить прочные брэксы на основе такого материала (рис. 3). Компонентный состав: пыль ЭСПЦ — 90 %, коксовая мелочь — 10 %, бентонит — 1 % (сверх 100 %), портландцемент — 6 % (сверх 100 %). Среднее значение прочности на раздавливание —  $155,04 \text{ кг/см}^2$ . Испытания на восстановимость показали удовлетворительные металлургические свойства брэкса. Прочность брэксов на раздавливание после восстановления составила  $47,9 \text{ кг/см}^2$ .

По результатам лабораторных исследований [3] были рекомендованы составы брэксов на основе различных комбинаций концентратов марганцевой руды и пыли аспирации производства ферросиликомарганца.

На кирпичном заводе, где используются экструдеры Steele 75, была изготовлена опытная партия (2 тыс. т) брэксов из смеси указанных

компонентов и 3 % цемента. Спустя 2 мин после выхода из экструдера брэксы выгружались самосвалом на бетонный пол рудного двора (рис. 4).



Рис. 3. Брэксы из пыли ЭСПЦ и коксовой мелочи



Рис. 4. Выгрузка “зеленых” брэксов спустя несколько минут после изготовления

Далее брэксы были доставлены до рудного двора ферросплавного завода с менее чем 10 %-ным содержанием мелочи (–6 мм), несмотря на многочисленные перевалки (около 20) и погрузочно-разгрузочные работы под открытым небом в течение месяца. Все 2 тыс. т брэксов успешно проплавлены в промышленной руднотермической печи завода по выплавке ферросиликомарганца.

Основным положительным аспектом проведенной кампании с использованием в шихте для выплавки товарного ферросиликомарганца марганецсодержащих брэксов является работа печи в стабильном, ровном режиме. Работа колошника печи характеризовалась хорошей газопроницаемостью по всей поверхности, на колошнике не наблюдалось свищей и обвалов шихты. Токсовая нагрузка была равномерна по трем электродам, а их посадка была глубокая и устойчивая. Сравнительная оценка работы печи (с использо-



ванием брэксов и без них) показала улучшение технико-экономических показателей работы печи. При использовании в составе шихты брэксов до 29 % (по физическому весу) удельный расход электроэнергии снизился на 350 кВт·ч/т, а именно с 3977 кВт·ч/т в базовом варианте до минимального за всю кампанию 3627 кВт·ч/т, а извлечение марганца возросло с 80,1 до 83,6 %.

Проведенная опытная кампания с использованием марганецсодержащих брэксов показала эффективность использования указанных материалов в процессе выплавки марганцевых сплавов, что отразилось на улучшении технико-экономических показателей процесса. Опытно-промышленная кампания прошла без видимых изменений технологического процесса: печь работала ровно, с постоянной токовой нагрузкой, выпуски расплава производились по графику, химический состав металла и шлака существенных изменений не показал. Разрушение брэксов на поверхности колошника не наблюдалось. Это свидетельствует об их достаточной стойкости к термоудару.

Авторами также были изготовлены и подвергнуты испытаниям брэксы из коксовой мелочи (содержание портландцемента 5 %), которые можно использовать в качестве восстановителя при выплавке ферросплавов в рудотермических печах. Полученные при испытаниях по стандарту ISO значения показателей горячей прочности (CSR = 20 %) превосходили аналогичные показатели имеющих успешную коммерческую прак-

тику коксовых брикетов (содержание комбинированного связующего 15 %, включая 8 % цемента), производимых на вальцевых прессах компанией Harsco Metals (CSR = 1,1 %).

На лабораторном экструдере были получены также брэксы из хромовой руды, имеющие высокую прочность на выходе из фильеры и не разрушающиеся при ударе о бетонный пол (рис. 5).



Рис. 5. Брэксы из хромовой руды [25 % уголь + 75 % руда + 5 % цемент (сверх 100 %)]

Брэксы на цементной связке (5 %) с прочностью на раздавливание  $344,5 \text{ кг/см}^2$  получили при окусковании в экструдере мелочи, образующейся при дроблении ферросиликомарганца, с добавкой аспирационной пыли. Аналогичные брикеты, изготавливаемые на вибропрессе, потребовали бы 10–12 % цементной связки.

### Заключение

Появление на рынке технологий окускования дисперсных материалов методом брикетирования с использованием минерального связующего высокопроизводительной технологии жесткой вакуумной экструзии является знаковым событием для металлургии, и в частности для доменного производства. Брикетные экструзионные (брэксы) имеют на выходе из экструдера высокую начальную прочность, обеспечивающую их целостность при транспортировке и перегрузках на пути к площадке для упрочняющего вылеживания. После упрочнения без применения термообработки брэксы имеют высокую холодную и горячую прочность, обеспечивающую их успеш-

ное использование в доменной печи и в ферросплавных рудотермических печах. Применение брэксов из смеси железоуглеродсодержащих доменных шламов и железоизвестьсодержащих конвертерных шламов в доменной печи позволило отказаться от использования сырых флюсов в шихте и привело к сокращению расхода кокса на 150 кг/т чугуна. Применение брэксов из марганцевой руды и аспирационной пыли производства ферросиликомарганца при выплавке ферросиликомарганца привело к увеличению извлечения марганца на 3,5 % (абс.) и сокращению расхода электроэнергии на 9 %.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Steele R. B. Agglomeration of Steel Mill By-products via Auger Extrusion // Proc. 23d Biennial Conf. IBA, Seattle, WA, USA. 1993. P. 205–217.
2. Производство и проплавка в доменной печи брикетов нового поколения / Йогеш К. Далмиа, И. Ф. Курунов, Р. Б. Стил, А. М. Бижанов // Металлург. 2012. № 3. С. 39–41.
3. Steele R. B., Bizhanov A. M. Stiff Extrusion Agglomeration of Arc Furnace Dust and Ore Fines for Recovery at a Ferro Alloy Smelter // IBA PROCEEDINGS 32nd Biennial Conference, September, 2011. New Orleans, Louisiana. V. 32. 2011 (Published 2011).