

## АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОЛУЧЕНИЯ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ БРИКЕТОВ ИЗ ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

**Целью** выполняемой работы является изучение и анализ известных способов брикетирования накопленных техногенных отходов и железорудных концентратов, определение глубины исследованности теоретических аспектов процесса брикетирования и поиск резервов совершенствования существующих технологий получения брикетов.

Для решения поставленных задач в работе использовались такие **методы** исследования, как метод теоретического анализа данных научных публикаций, патентной документации по исследуемой проблеме; метод синтеза и интеграции результатов анализа; метод интерпретации.

**Научная новизна** заключается в доказательстве целесообразности и определении направления дальнейшего развития теории и технологии брикетирования железорудного сырья.

**Практическая значимость** работы заключается в том, что результаты исследования могут быть использованы для достижения экономического эффекта от рециклинга накопленных техногенных отходов и окускования железорудных концентратов холодным способом, а также для повышения экологической безопасности промышленных регионов.

**Результаты работы.** Анализ работы отечественных и зарубежных предприятий горно-металлургического комплекса показал, что на сегодняшний день технология брикетирования успешно применяется для утилизации техногенных отходов и почти не применяется для окускования железорудных концентратов и мелкодисперсных руд. Поэтому доля сырья, окускованного этим методом, остается на уровне 2%.

Несмотря на то, что процесс брикетирования является наиболее ранним из способов окускования, он в большинстве направлений развивался и развивается эмпирически. Решение и сколь-нибудь теоретическое обоснование находили исключительно вопросы, поставленные производством, а развитию теоретических основ уделяется гораздо меньшее внимание.

Несмотря на богатый опыт использования технологии брикетирования, существует потенциал для дальнейшего ее совершенствования, а именно посредством направленного изменения свойств связующих компонентов, применения принципиально новых методов и устройств для распределения этих составляющих в объеме шихты, использование для упрочнения брикетов чистых от примесей энергоносителей, таких как электрический ток и другие. Углубленное изучение теории и технологии брикетирования обеспечит статус-кво и развитие её в промышленном масштабе.

**Ключевые слова:** брикетирование, брикет, металлургическое сырье, железосодержащие отходы, связующие компоненты, рециклинг

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-105-39-42

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** На текущий момент основной сырьевой базы металлургической промышленности являются мелкодисперсные руды и концентраты, которые представляют собой продукты глубокого обогащения, оборотные материалы, техногенные отходы, ранее не вовлекавшиеся в переработку. Необходимость использования данных материалов объясняется количественным содержанием в них ценных компонентов. Традиционные методы окускования сырья агломерацией и окатыванием во многом исчерпали свои резервы и возможности. Поэтому научные разработки, направленные на обеспечение металлургического производства первородной высококачественной шихтой, представляются весьма актуальными, а направление развития производства железосодержащих брикетов – перспективным.

**Анализ исследований и публикаций.** Традиционными методами окускования сырья для металлургических переделов являются агломерация и производство окатышей. Современные фабрики окускования используют отработанные технологии, оснащены надежным высокопроизводительным оборудованием и успешно выполняют задачу окускования железорудных материалов природного происхождения. Вместе с тем использование данных технологий при переработке тонкоизмельченных железосодержащих компонентов обнаруживает ряд особенностей, ограничивающих возможность их применения.

Агломерация мелкодисперсных отходов недостаточно эффективна, поскольку при увеличении доли тонких материалов в составе аглошихт снижается газопроницаемость слоя шихты на конвейерной машине, уменьшается ее производительность и сокращается выход годного агломерата.

Процесс производства окатышей затрудняется необходимостью соблюдения жестких требований по влажности и гранулометрическому составу шихты. Вследствие высокой чувствительности процесса к начальному влагосодержанию незначительное превышение предела в 9,5–10 % влаги приводит к переувлажнению окатышей в зоне сушки, разупрочнению гранул и последующему их термическому разрушению [1].

Наличие вышеперечисленных недостатков переработки отходов способами агломерации и производства окатышей обуславливает закономерный интерес к такому методу окускования, как брикетирование.

Брикетирование имеет ряд существенных преимуществ, которые позволяют считать его перспективным методом окускования [2]:

брикетирование предъявляет менее жесткие требования к качеству сырья, позволяет окусковывать сырьё широких классов крупностью 10,0–0,074 мм, а также более крупные или более тонкие фракции практически в любых соотношениях;

процесс технологически прост; некоторую трудность представляет лишь дозирование связующих и их смешивание с брикетируемым материалом;

сохраняются свойства компонентов, входящих в брикет;

брикетирование является экологически чистым способом окускования.

Эти преимущества позволяют эффективно решать такие актуальные задачи, как получение новых, комплексных видов сырья, включающих оксиды железа, восстановитель и флюс, внедрение новых способов обработки сырья, например, металлизацией, снижение вредного влияния металлургических процессов на окружающую среду.

Однако, несмотря на существенные преимущества перед остальными способами окускования, брикетирование в чёрной металлургии пока ещё не получило должного признания. Доля сырья, окускованного брикетированием, остаётся на уровне 2 % [3].

**Постановка задачи.** В связи с вышеизложенным, возникает необходимость изучения и анализа известных способов брикетирования накопленных техногенных отходов и железорудных концентратов, определение глубины исследованности теоретических аспектов процесса брикетирования и поиск резервов усовершенствования существующих технологий получения брикетов.

**Изложение материала и результаты.** Новый, современный этап повышения интереса к брикетированию связан с обострением экологических проблем, пришедшихся на последнюю треть XX века, а также ростом цен на энергоресурсы.

Холодное брикетирование отличается простотой технических и технологических решений, небольшой энергоёмкостью и экологической безопасностью, возможностью размещения малотоннажных производств в местах образования отходов. Вместе с тем необходимо отметить, что по сравнению с агломератом и окатышами брикеты холодного прессования имеют более высокую истираемость и низкую термостойкость, поскольку при повышенных температурах большинство связующих веществ разлагается, что приводит к разрушению куска и ухудшению газодинамики при плавке с использованием таких брикетов [4]. Тем не менее грамотный подбор состава брикетов и организация режима плавки позволяют увеличивать объёмы переработки брикетов в низкошахтных печах, доменных печах, кислородных конвертерах и электродуговых печах [5, 6].

Все более востребованным процесс брикетирования становится в области переработки промышленных отходов. Число использующих его предприятий, номенклатура и объёмы производства брикетов в последние годы неуклонно растут.

Современный опыт плавок брикетов в печах основных металлургических переделов располагает достаточным количеством положительных примеров, которые позволяют считать брикетирование надёжным и высокоэффективным методом окускования металлургического сырья.

По способу Ильсесдер-Хютте (Германия) колошниковую пыль в смеси с прокатной окальной и глинистым шламом промывки бурого железняка нагревают и прессуют при давлении 30 МПа. Упрочнение брикетов осуществляют в закрытом помещении до прочности 10 МПа [7].

Способ Гизенке позволяет брикетировать без связующих материалов глинистые мелкие руды, колошниковую пыль и огарки. Пластичность, необходимую для брикетирования, обеспечивали увлажнением и помолом компонентов шихты. Прессование производили в штемпель-

ных мундштучных прессах (сечение штампея 60×90 мм), а обжигали в шахтной печи изменённой конструкции производительностью до 40 т/сут. Высокий расход топлива (14 %) и низкая производительность привели к свёртыванию производства [8].

На заводе «Фор-сюр-Мэр» (Франция) свежую замасленную окалину (40 тыс. т в год) брикетируют в смеси с известью и добавляют 1 % брикетов размером  $\geq 5$  мм в конвертер. Также в виде брикетов переплавляют в дуговых сталеплавильных печах 160 тыс. т в год пыли, опилок, прокатной окалины, нержавеющей стали на заводе Южин Савой, периодически получая богатую цинком пыль которую передают на заводы цветной металлургии [9].

В Японии в связи с жёсткими экологическими требованиями брикетирование также получило широкое распространение. В частности, на заводе фирмы «Ниссенсэйко» из высушенного кека, сухой пыли и окалины с добавкой связующих на вальцовых прессах изготавливают брикеты, которые подсушивают до влажности 2 % и упрочняют в конвейерной сушилке при температуре 250 °С. Брикеты подают в электропечь с флюсом и коксом [10].

Из всего разнообразия технологий переработки и утилизации металлургических материалов подавляющее большинство не вышло за рамки лабораторных или опытно-промышленных установок. Поэтому особую ценность имеют технологии, которые подтвердили свою осуществимость и экономическую значимость на промышленном уровне. Одной из таких технологий является технология ОХУ Сур, разработанная фирмой «ThyssenKruppStahl» в Дуйсбурге (Германия) [11].

Научно-производственная фирма «ЭкоМашГео» (Россия) имеет богатый опыт производства брикетов на основе первородного сырья (железорудный концентрат, марганцевый концентрат, отсеvy хромовой руды) с введением углеродной составляющей до 25%; железоуглеродосодержащих брикетов на основе промышленных отходов (прокатной окалины, чугуновой стружки, стальной стружки, железосодержащих шлаков, различных шламов, пылей установок аспирации, коксовой мелочи, коксовой пыли, угольных шламов, отсеvов графита, отсеvов углей и т.д.) с проектным содержанием Fe и C; углеродосодержащих брикетов на основе отсеvов углеродосодержащих материалов; брикетов с содержанием легирующих элементов (Ni, Cr, V, Mn).

В настоящее время технология изготовления металлургических брикетов компании "ЭкоМашГео" отработана на различных линиях российского и импортного производства. Успешно проведены промышленные плавки с использованием металлургических брикетов разнообразных составов в доменном, мартеновском, электросталеплавильном, в том числе на индукционных печах, переделах и в вагранках на металлургических предприятиях России и стран ближнего зарубежья: ОАО «Тулачермет», ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат», ОАО «Липецкий металлургический завод «Сободный сокол» (Россия), АО «Лиепаяс Металургс», (Латвия), РУП «Белорусский металлургический завод» (Республика Беларусь) и др. [12]

Следует отметить, что найденные рациональные параметры технологии брикетирования соответствуют строго определенным видам исходного сырья и носят скорее частный характер.

**Выводы и направления дальнейших исследований.** Анализ работы отечественных и зарубежных предприятий горно-металлургического комплекса показал, что на сегодняшний день технология брикетирования успешно применяется для утилизации техногенных отходов и почти не применяется для окускования железорудных концентратов и мелкодисперсных руд. Поэтому доля сырья, окускованного этим методом, остается на уровне 2%.

Несмотря на то, что процесс брикетирования является наиболее ранним из способов окускования, он в большинстве направлений развивался и развивается эмпирически. Решение и сколь-нибудь теоретическое обоснование находили исключительно вопросы, поставленные производством, а развитию теоретических основ уделяется гораздо меньшее внимание.

Несмотря на богатый опыт использования технологии брикетирования, существует потенциал для дальнейшего ее совершенствования, а именно посредством направленного изменения свойств связующих компонентов, применения принципиально новых методов и устройств для распределения этих составляющих в объеме шихты, использование для упрочнения брикетов чистых от примесей энергоносителей, таких как электрический ток и другие. Углубленное изучение теории и технологии брикетирования обеспечит статус-кво и развитие её в промышленном масштабе.

## Список литературы

1. Пути интенсификации процесса сушки окатышей на конвейерных машинах / **Е. В. Некрасова, А. П. Буткарев, Г. М. Майзель, С. А. Мариев**: В кн.: Интенсификация процессов окускования железорудного сырья. — Свердловск: Уралмеханобр. 1985. С. 58–63.
2. Брикетирование как полноправный метод окускования металлургического сырья / **В. В. Ожогин, А. А. Томаш, И. А. Ковалевский, О. В. Жерлицина, В. В. Исаева** // [Металлург. процессы и оборудование](#). - 2005. - № 2. - С. 54-58.
3. **Носков Н.А.** Роль брикетирования в проблеме утилизации металлургических отходов // Теория и практика производства чугуна: Сб. трудов международн. конф. доменщиков. -Кривой Рог: КГТМК "Криворожсталь". 2004. -С. 591-594.
4. Брикетирование металлургического сырья. Актуальность и пути развития метода / **Б. Н. Маймур, А. Ю. Худяков, В. И. Петренко, С. В. Ващенко, К. В. Баюл** // Бюллетень «Черная металлургия». 2016. №1.С. 74-81.
5. Производство и применение в доменной печи брикетов нового поколения / **Й. К. Далмиа, И. Ф. Курунов, Р. Б. Стил, А. М. Бажанов** // [Металлург](#). 2012. № 3. С. 39–41.
6. **Равич Б. М.** Брикетирование руд. — М.: Недра. 1982. — 183 с.
7. **Равич Б.М.** Брикетирование в цветной и черной металлургии. — М.: «Металлургия», 1975. — 356 с.
8. **Ожогин В.В.** Основы теории и технологии брикетирования измельченного металлургического сырья: монография. — Мариуполь: ПГТУ, 2010. — 442 с.
9. **Кожевников И.Ю., Равич Б.М.** Окускование и основы металлургии. — М.: Металлургия, 1991. — 296 с.
10. История брикетирования и предлагаемый способ. Режим доступа: [http://briket.ru/briket\\_his.shtml](http://briket.ru/briket_his.shtml)
11. **Федосеев С.Н.** Технология ОХУ Сур для экологически чистого производства черных металлов // Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения: сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Юрга, 27–28 Ноября 2014. — Томск: ТПУ, 2014 — С. 162–167.
12. [http://briket.ru/briket\\_exp.html](http://briket.ru/briket_exp.html)

Рукопись поступила в редакцию 03.04.2019

УДК 621.771

В.А. ЧУБЕНКО, канд. техн. наук, доц., А.А. ХІНОЦЬКА, ст. викладач  
Криворізький національний університет

## ВПЛИВ ШВИДКОСТІ ДЕФОРМАЦІЇ НА ЗМІНУ НАПРУЖЕННЯ ПРИ ПОВЗДОВЖНЬОМУ ПРОКАТУВАННІ

**Мета:** визначити закономірності впливу швидкості деформації на величину напружень при повздовжньому прокатуванні.

**Методи:** базуються на фундаментальних положеннях теорії обробки металів тиском, на використанні теоретичного аналізу утворення напруженого стану металу, що виникає в осередку деформації при прокатуванні експериментальної перевірки прийнятих гіпотез та отриманих результатів.

**Наукова новизна** полягає у тому, що отримано закономірності впливу ступеню обтиснення при прокатуванні на напруження та швидкість обробки, визначено залежність границі текучості металу від швидкості деформації.

**Практична значимість** полягає у тому, що отримані закономірності та залежності дозволяють доповнити та підвищити точність розрахунків енергосилових параметрів при повздовжньому прокатуванні, що забезпечує можливість більш надійно визначити витрати енергії при прокатуванні та обирати раціональні режими обтиснення.

**Результати:** в результаті аналізу напружено-деформованого стану металу, що утворюється у осередку деформації при повздовжньому прокатуванні виявлено, що домінуючою є об'ємна схема з трьома стискаючими напруженнями, які викликають деформацію, внаслідок чого утворюється деформований стан, що має об'ємну схему, яка характеризується однією деформацією скорочення і двома деформаціями подовження. На величину напруження впливає швидкість деформації. Визначено ступінь та швидкість деформації, напруження, що виникають при повздовжньому прокатуванні в залежності від ступеню деформації. Досліджено зміну тензора напружень в залежності від швидкості деформації. Виявлено, що швидкість деформації зменшується при збільшенні ступеню деформації. Встановлено, що напруження при гарячому прокатуванні сталі звичайної якості Ст 3 змінюється в межах від 55 МПа до 88 МПа в залежності від швидкості деформації за лінійною залежністю. Отримано закономірність впливу швидкості деформації на напруження металу при прокатуванні, що дозволяє підвищити точність розрахунків при визначенні зусиль та деформації при обробці тиском

**Ключові слова:** осередок деформації, повздовжнє прокатування, напруження, швидкість деформації, обтиснення, схема деформованого стану

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-105-42-46

© Чубенко В.А., Хіноцька А.А., 2019