

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРЕВА БРИКЕТИРОВАННЫХ ПЫЛЕВИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

С. В. КОРНЕЕВ, канд. техн. наук, **Н. И. УРБАНОВИЧ**, канд. техн. наук
Белорусский национальный технический университет
А. С. РАКОВЕЦ
РИУП «НТП БНТУ «Политехник»

В работе представлен анализ условий применения брикетированных пылевидных материалов. Проведено моделирование нагрева брикетов различных размеров в условиях конвективного и радиационного теплообмена. Определены среднемассовые температуры брикетов и проведено их сравнение.

Ключевые слова: пылевидные отходы, брикет, нагрев, моделирование.

MODELING OF HEATING OF BRIQUETTED DUST MATERIALS

S. V. KORNEEV, Ph. D. in Technical Sciences,
N. I. URBANOVICH, Ph. D. in Technical Sciences
Belarusian National Technical University
A. S. RAKOVETS
Science and Technology Park of BNTU “Polytechnic”

The paper presents an analysis of the conditions for the use of briquetted pulverized materials. Modeling of heating of briquettes of various sizes under conditions of convective and radiative heat transfer has been carried out. Mass-average temperatures of briquettes are determined and compared.

Key words: pulverized waste, briquette, heating, modeling.

Задачи нагрева брикетированных материалов актуальны в процессах переработки пылевидных материалов, и в частности в пирометаллургических процессах удаления соединений цинка и других металлов из пыли газоочистки высокоомощных электродуговых печей, восстановления оксидов железа и последующей плавки полупродукта.

Экспериментальные исследования в подавляющем большинстве проводят с малыми навесками материала в условиях медленного нагрева, тогда как производственные процессы предполагают использование кусковых материалов в условиях интенсивного нагрева.

Применяемые в настоящее время технологии переработки пылевидных материалов в подавляющем большинстве предполагают использование окускованных или брикетированных материалов. При этом размеры кусков могут значительно различаться, что приводит к различному времени их нагрева до необходимых температур начала восстановления. Размеры некоторых окускованных и брикетированных материалов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики некоторых брикетированных и окускованных материалов

Материал	Размеры, мм	Источник
Железорудный концентрат, сталеплавильный шлак, отсев кокса, гидратная известь, жидкое стекло	Диаметр 105, высота 50–80 Диаметр 30, высота 16	[1]
Брикеты экструзии из пылевидных отходов, восстановителя и связующего	Диаметр 25, высота 20	[2]
Смесь железо-цинксодержащего материала, оборотных пылей, твердого углеродистого восстановителя и связующего	Окатыши диаметром 15–40 мм	[3]
Пыль газоочисток, углеродистый восстановитель и связующее	Пеллеты диаметром 5–20 мм и 5–30 мм	[4]

С учетом диапазона размеров существующих брикетов для моделирования были приняты следующие размеры кусков: максимальные – диаметр 105 мм, высота 80 мм; средние – диаметр 25 мм, высота 20 мм; минимальные – диаметр 10 мм, высота 5 мм.

Анализ условий нагрева материалов в существующих технологиях показывает, что теплообмен материала со средой осуществляется посредством вынужденной конвекции и излучением с превалированием одного из этих вариантов. Например, во вращающихся

печах трубчатого типа велика доля конвективного теплообмена, а в печах с вращающимся подом преобладает теплообмен излучением, особенно в высокотемпературных зонах печи. При экспериментальных исследованиях процессов в электрических печах теплообмен осуществляется практически за счет излучения. Существует также ряд технологий, где определенную роль в дополнение к указанным видам теплообмена играет теплообмен за счет контакта брикетов с твердым материалом разогретой подины печи или жидким металлом в технологиях переработки отходов с переплавом материала.

Проведенные нами предварительные эксперименты по нагреву и восстановлению брикетов, содержащих как соединения цинка, так и оксиды железа (отходы в виде пыли газоочистки электродуговых печей), а также восстановлению оксида цинка углеродистым восстановителем в виде графита, показали, что для эффективного хода процесса необходима температура не менее $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($1100\text{--}1250\text{ }^{\circ}\text{C}$).

В связи с этим для расчета нагрева брикетов было принято значение температуры среды (печи): $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Так как коэффициенты теплопроводности брикетированных материалов зависят от состава и пористости брикетов, а также от температуры, а точные значения этой характеристики материала отсутствуют в литературе, то для модельных расчетов было задано их постоянное значение на уровне $0,9\text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, которое характерно для усредненного значения известных коэффициентов теплопроводности оксидов и материалов близкого состава и пористости. Плотность принимали на уровне плотности реальных брикетов, получаемых нами из пылевидных отходов системы газоочистки (в среднем $1750\text{ кг}/\text{м}^3$). Теплоемкость определяли как сумму теплоемкостей отдельных составляющих брикета в соответствии с их долей в составе материала.

Точность такого задания теплофизических характеристик достаточна для оценки влияния размеров брикетов на время их нагрева. Так как гранулы размером до 1 см прогреваются достаточно быстро, для сравнения ниже представлены только брикеты размерами $\text{Ø}105\times 80\text{ мм}$ и $\text{Ø}25\times 20\text{ мм}$. Так как в известных технологических процессах условия нагрева могут существенно различаться, было рассмотрено два случая нагрева: конвективный нагрев с коэффициентом теплоотдачи $50\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ и нагрев излучением. Принятие одинакового коэффициента теплоотдачи в общем случае не свидетельствует об одинаковой скорости движущейся среды, так как этот

коэффициент в инженерных расчетах определяется из критериальных соотношений (Нуссельта и Рейнольдса), в которых присутствует характерный размер объекта. Для основания брикета, лежащего на подине, при моделировании выбрано условие изоляции.

На рисунке 1 представлено изменение профиля температур в основании брикета $\text{Ø}105 \times 80$ мм, расположенного на подине печи, от времени при нагреве конвекцией, а на рисунке 2 – изменение профиля температур в основании брикета $\text{Ø}105 \times 80$ мм, расположенного на подине печи, от времени при радиационном нагреве.

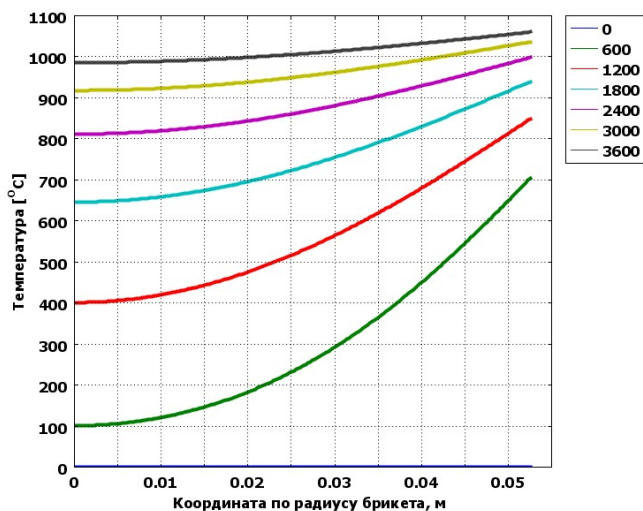


Рисунок 1 – Изменение профиля температур в основании брикета, расположенного на подине печи, во времени при нагреве конвекцией (интервал между линиями 600 с)

Помимо профиля температур по сечению брикета большой интерес представляет средняя по объему брикета температура, поэтому было проведено интегрирование температур по объему брикетов в различные моменты времени, результаты которого представлены в виде графиков на рисунках 3 и 4.

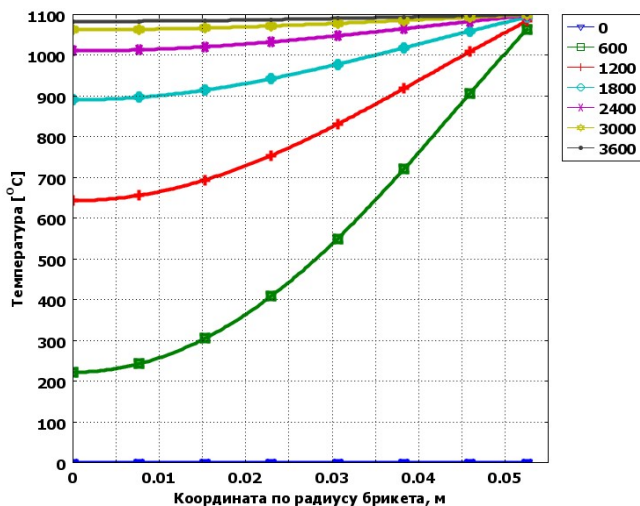


Рисунок 2 – Изменение профиля температур в основании брикета, расположенного на подине печи, во времени при радиационном нагреве

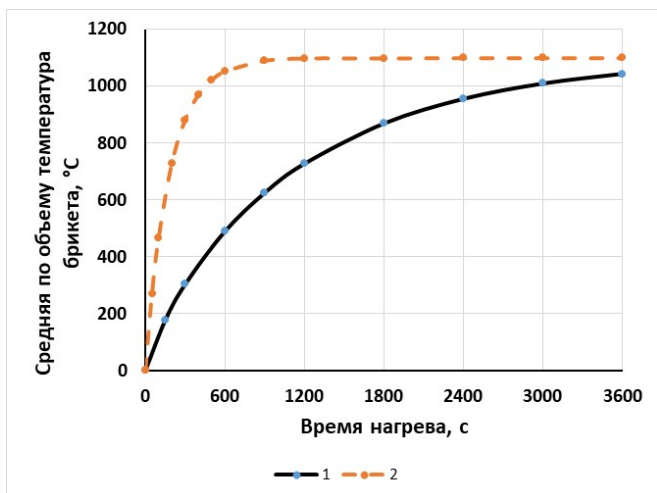


Рисунок 3 – Изменение средней по объему брикета температуры при конвективном нагреве при температуре среды 1100 °С и коэффициенте теплоотдачи, равном 50 Вт/(м²·К):
 1 – Ø105×80 мм; 2 – Ø25×20 мм

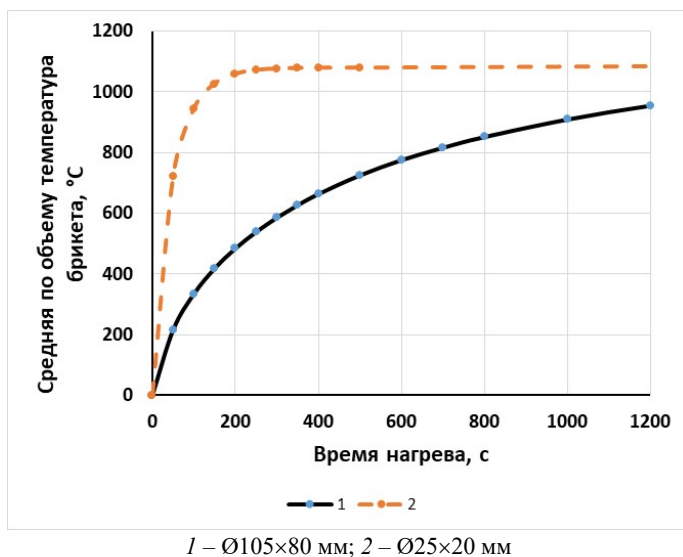


Рисунок 4 – Изменение средней по объему брикета температуры при радиационном нагреве при температуре печи 1100 °С

Анализ рисунков показывает, что при постоянной температуре среды (печи) время достижения среднemasсовой температуры брикета, близкой к температуре печи, различается для сравниваемых размеров брикетов в 6–7 раз. При плотной укладке брикетов на подину их нагрев будет приближаться к одностороннему, то есть время нагрева увеличится в сравнении с приведенным выше. Аналогично, укладка материала в два и более слоя будет существенно увеличивать время его нагрева, поэтому в известных технологиях (в некоторых печах с вращающимся подом) при расположении материала в два и более слоя используются только относительно мелкие гранулы или пеллеты.

Таким образом, на основании выполненных исследований можно сделать следующие выводы. Современные процессы переработки пылевидных материалов предполагают использование оксидоуглеродистых самовосстанавливающихся окатышей или брикетов, время восстановления которых существенно меньше, чем время восстановления железорудных окатышей в промышленных процессах с использованием как газовых восстановителей, так и твердофазных.

В этих условиях на общее время восстановления может оказывать влияние способ брикетирования, размеры брикетов и способ их расположения в печи и условия нагрева.

Показано, что крупные брикеты достигают необходимой среднemasсовой температуры для восстановления и удаления в газовую фазу цинка за 40–60 минут в зависимости от условий нагрева.

Для повышения точности определения времени восстановления брикетированного материала в зависимости от его размеров необходимы дополнительные экспериментальные данные о коэффициентах теплопроводности брикетированных материалов с учетом их состава, пористости и температуры.

Список литературы

1. Железоуглеродистый брикет оптимального состава // Вестник Приазовского государственного технического университета / В. В. Ожогин [и др.]. – 2004. – Вып. № 14. – С. 26–29.

2. Бижанов, А. Брикеты экструзии (брэкссы) – новый этап в окусковании сырья для черной металлургии / А. Бижанов, И. Куркунов. – М.: Metallurgizdat, 2017. – 233 с.

3. Способ переработки железозинксодержащих материалов : Патент РФ № 2329312 / В. Г. Мизин [и др.]; заявитель ОАО «НЛМК», заявка № 2006107028/02А от 06.03.2006; патент выдан 20.07.2008 // опубликован 20.07.2008. Бюл. № 20.

4. Oda, H. Dust Recycling System by the Rotary Hearth Furnace / H. Oda, T. Ibaraki, Y. Abe // Nippon Steel technical report. – July 2006. – No 94. – P. 147–152.

References

1. *ZHelezougl'erodistyj briket optimal'nogo sostava* [Iron-carbon briquette of optimal composition] / V. V. Ozhogin [et al.] // *Vestnik Priazovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Priazov State Technical University*. – 2004. – Vyp. 14. – P. 26–29.

2. *Bizhanov, A. Brikety ekstruzii (breksy) – novyj etap v okuskovanii syr'ya dlya chernoj metallurgii* [Extrusion briquettes (brex) – a new stage in the agglomeration of raw materials for ferrous metallurgy] / A. Bizhanov, I. Kurkunov. – Moscow: Metallurgizdat Publ., 2017. – 233 p.

3. Sposob pererabotki zhelezocinksoderzhashchih materialov [Method for processing iron-zinc materials] / V. G. Mizin [et al.]; Patent Rossijskoj Federacii No 2329312.

4. Oda, H. Dust Recycling System by the Rotary Hearth Furnace / H. Oda, T. Ibaraki, Y. Abe // Nippon Steel technical report. – July 2006. – No. 94. – P. 147–152.

Поступила 14.11.2022

Received 14.11.2022