

5. Oxyfuel Combustion // Developments and Innovation in Carbon Dioxide (CO₂) Capture and Storage Technology. 2010 // URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/oxyfuel-combustion> (дата обращения 01.05.2024).

6. Тимошпольский В.И., Жданок С.А. Комплексные (экспериментальные и теоретические) исследования применительно к нагревательным печам РУП «Белорусский металлургический завод» // URL: <https://docplayer.com/68007055-Kompleksnye-eksperimentalnye-i-teoreticheskie-issledovaniya-primenitelno-k-nagrevatelnyh-pecham-rup-belorusskiy-metallurgicheskiy-zavod.html> (дата обращения: 16.04.2024).

7. Кабишов С.М., Трусова И.А., Ратников П.Э., Менделев Д.В. Интенсификация тепловых процессов в высокотемпературных установках на примере нагревательных печей ОАО «БМЗ» путем обогащения воздушной смеси кислородом // Литье и металлургия. 2012. №3 (66) // URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/intensifikatsiya-teplovyyh-protsessov-v-vysokotemperaturnyh-ustanovkakh-na-primere-nagrevatelnyh-pechey-oao-bmz-putem-obogascheniya> (дата обращения: 11.05.2024).

8. Применение кислорода и природного газа / Библиотека по металлургии. // URL: <http://metallurg.ru/books/item/f00/s00/z0000001/st052.shtml> (дата обращения: 11.04.2024).

УДК 622:788

А. Ю. Поколенко^{1,2}, С. И. Поколенко^{1,2}

¹ ООО «Научно-производственное внедренческое предприятие ТОРЭКС» (ООО «НПВП ТОРЭКС»), г. Екатеринбург, Россия;

² ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

АНАЛИЗ КОМКУЮЩИХ СВОЙСТВ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ ИЗ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОКАТЫШЕЙ ДЛЯ МЕТАЛЛИЗАЦИИ

Аннотация. В настоящее время вопрос увеличения производства металлизированных окатышей является особо значимым. Для увеличения объемов производства печей металлургической металлургии требуется высококачественное железорудное сырье. Актуальна задача исследования новых супер концентратов, полученных при помощи современных методов обогащения для получения необходимых физико-химических свойств железорудных окатышей, поступающих в последующие переделы. Исследовано влияние степени обогащения концентрата на показатель комкуемости, что напрямую связано с процессом получения сырых окатышей надлежащего качества и как следствие получение требуемых физико-химических свойств обожжённых окатышей на обжиговой конвейерной машине.

Ключевые слова: железорудные концентраты, удельная поверхность, комкуемость.

Abstract. Nowadays, a ramp up in DRI pellets production remains a crucial issue. To increase a production volumes of DRI furnaces, the ones should be provided with high-quality iron ore feed. Besides, the study on the brand-new super-concentrates produced as a result of cutting-edge beneficial methods to obtain the target physical and chemical properties of iron ore pellets for further processing stages is also a relevant issue. The impact of a concentrate beneficiation degree on the pelletizing ability is studied, which is directly associated with the process of green pellets production (of proper quality). As a result, the target physical and chemical properties of fired pellets on the straight-grate induration machine are ensured.

Key words: iron ore concentrates, specific surface, pelletizing ability.

Введение. Производство горячбрикетированного железа (ГБЖ, НБИ) и железа прямого восстановления (DRI) непрерывно растет, что обусловлено преимуществами этих продуктов с позиций качества стали (минимум вредных примесей) и экологии (низкая эмиссия парниковых газов) [1]. Следствием этой тенденции является необходимость наращивания производства железорудных окатышей для металлизации (DR-grade), сырьем для которых служат высококачественные концентраты с содержанием железа общего не менее 68 % [2].

В России большая часть железорудных окатышей производится из сырья месторождений железистых кварцитов [3]. Обогащение этих руд позволяет получить кондиционные концентраты для металлизации. При этом, особенности руды (мелкая вкрапленность, соотношение магнитных и немагнитных минералов и т. д.) требуют реализации сложных схем производства концентрата с использованием магнитного обогащения, флотации и тонкого грохочения. Такие концентраты приобретают специфические поверхностные свойства и вещественный (минеральный) состав, что влияет на их структуру и металлургические свойства [4; 5]. Понимание закономерностей изменения этих свойств позволяет целенаправленно корректировать технологические режимы производства и выбирать технические решения по модернизации оборудования. Такая задача приобретает дополнительную актуальность на фоне конкуренции предприятий РФ с мировыми производителями сырья и реализации инвестиционных проектов по улучшению качества концентратов.

Цель данной работы состоит в первичной оценке влияния степени обогащения концентратов на их комкуемость.

Проведение исследования. В качестве объектов исследований были выбраны 8 концентратов, полученных из руды месторождений железистых кварцитов КМА. В качестве варьируемого фактора были выбраны содержание железа (Fe, 4 уровня) и тип месторождения (А и В, два уровня). В качестве функций отклика определены удельная поверхность концентрата, комкуемость и содержание класса $-0,045$ мм в концентрате. Удельная поверхность определена в соответствии с ГОСТ 21043–87, комкуемость определена методом капиллярного всасывания [6], содержание фракции $-0,045$ мм в концентрате определено с использованием прибора «Микросайзер».

Основными силами, обеспечивающими прочность сцепления частиц шихты в окатыше, являются молекулярные и капиллярные силы. Они зависят от следующих основных факторов:

- содержания влаги в окомковываемом материале;

- гранулометрического состава этого материала;
- природы окомковываемого материала (степени гидрофильности), формы зерен (пластинчатая, шарообразная или цилиндрическая);
- условий образования гранул – длительности окомкования и его интенсивности, то есть степени уплотнения окатышей, характеризуемой их пористостью.

Капля воды, помещенная в слой сыпучего материала, начинает быстро распространяться в нем во все стороны. Причиной такого движения воды являются капиллярные силы. На столбик жидкости, находящийся в капилляре, действует разность давлений, под действием которых жидкость приходит в движение, чем выше разность давлений, тем выше скорость движения жидкости. Скорость капиллярного поднятия монотонно убывает с высотой подъема за счет снижения разности давлений. При уравнивании капиллярного давления и силы тяжести жидкости, столб жидкости в капилляре приходит в состояние равновесия. Закономерность кинетики капиллярного всасывания воды в слое мелких гидрофильных материалов объясняется образованием полимолекулярной пленки связанной воды, площадь свободного прохода в капиллярах уменьшается, при этом мелкие поры заполняются, движение капиллярной влаги по ним полностью прекращается. Такой механизм взаимодействия приводит к тому, что средний эффективный радиус капилляров материала со временем непрерывно уменьшается.

Максимальная высота капиллярного поднятия прямо пропорциональна величине поверхностного натяжения жидкости и обратно пропорциональна ее плотности и радиусу капилляра. Скорость капиллярного всасывания определяется свойствами, как жидкости (вязкостью, плотностью, поверхностным натяжением), так и слоя материала (радиусом капилляров, природой вещества и состоянием поверхности частиц материала). С учетом того, что влага в окатышах не заполняет все капилляры вследствие наличия зажатого воздуха, оптимальную влажность окатышей определяют в зависимости от характеристик крупности шихты. Оптимальная влажность отвечает условиям получения сырых окатышей достаточно прочных на сжатие и достаточно пластичных.

Методика заключается в определении скорости капиллярного распространения воды в слое сухих тонкоизмельченных сыпучих материалов.

В стеклянную колбу (трубку) диаметром 20 мм, закрытую снизу двойным слоем марли, засыпают исследуемый материал порциями на высоту 150 мм. Далее, нижний конец установленной вертикальной колбы опускают в дистиллированную воду на глубину 1÷2 мм (рис. 1). Под действием капиллярных сил вода поднималась вверх, фронт распространения воды в материале хорошо виден через стенку колбы. Фиксируется время подъема воды на каждый сантиметр, после чего находится скорость подъема воды в колбе. Выполняется расчет эффективного радиуса по формуле:

$$r = \frac{4ul}{\sigma_n} \cdot \eta \cdot 1000,$$

где r – радиус капилляра, мкм; u – скорость капиллярного всасывания, см/с; l – высота столбика жидкости в капилляре, см; σ_n – коэффициент поверхности натяжения воды, 72,75 мДж/м²; η – коэффициент вязкости воды, 1,005 мм с/м².



Рис. 1. Схема установки для определения комкуемости

Чем выше значение эффективного радиуса капилляра, тем лучше показатель комкуемости материалов. Результаты исследований (в относительных единицах), приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты исследований

№	Месторождение	Fe	Комкуе- мость	Удельная поверхность	Доля класса - 0,045 мм
1	A	1,00	1,00	1,00	1,00
2	A	1,02	1,15	0,92	1,02
3	A	1,02	1,09	0,88	0,98
4	A	1,03	1,00	0,92	1,05
5	A	1,03	0,99	0,91	1,06
6	B	1,00	1,00	1,00	1,00
7	B	1,02	0,90	0,89	1,01
8	B	1,02	0,91	0,92	1,00

Характер изменения зависимости общего содержания железа в концентратах от удельной поверхности данной зависимости для обоих месторождений аналогичен – при росте содержания целевого компонента (Fe) удельная поверхность снижается. Содержание массовой доли класса –0,045 мм не так однозначно: для месторождения А эта величина имеет тенденцию к росту, а для концентрата В – практически неизменна. Это связано с тем, что при производстве концентрата реализуется не только измельчение для вскрытия рудных минералов, но также и

разделение продуктов обогащения по составу и классам крупности. Комкуемость также имеет разную тенденцию – для концентрата А эта величина снижается по мере увеличения массовой доли железа, а для концентрата В – растет. Комкуемость определяется поверхностными свойствами сырья (удельная поверхность, гидрофильность и т. д.), поэтому причины этого могут быть связаны с изменением удельной поверхности и использованием реагентов для флотации и флокуляции концентратов при сгущении.

Выводы. С практической точки зрения, наиболее высоким показателем комкуемости обладает пробы №3 и №6 для месторождений А и В, соответственно. Тенденция снижения удельной поверхности при флотации концентратов сохраняется для обоих месторождений, в отличие от традиционных методов обогащения железорудных концентратов (ММС, тонкое грохочение). Более подробный анализ полученных закономерностей с учетом влияния способа обогащения концентратов, показателей прочности сырых, сухих и обожженных окатышей, оценкой металлургических свойств и другими параметрами планируется после проведения физического и математического моделирования соответствующих процессов. Эти исследования в настоящее время находятся в стадии выполнения.

Список использованных источников

1. Ялунина Е.Н. Тренды, особенности и проблемы развития металлургического производства РФ // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2021. № 3–2. С. 260–264.
2. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 25-2017 «Добыча и обогащения железных руд».
3. Современные проблемы окускования железорудного сырья / И.С. Берсенева, В.В. Брагин, А.А. Солодухин, А.Ю. Поколенко, Г.Г. Бардавелидзе, Н.А. Спирин // Металлургия: технологии, инновации, качество: труды XXII Международной научно-практической конференции: в 2-х ч. Ч. 1; под ред. А.Б. Юрьева, Сиб. гос. индустр., ун-т. – Новокузнецк: изд. центр СибГИУ, 2021. С. 32–37.
4. Features of the iron ore pellets structure depending on the concentrate enrichment degree / I.S. Bersenev, V.V. Bragin, A.I. Gruzdev, G.G. Bardavelidze, A.Yu. Pokolenko, N.A. Spirin // Steel in Translation. 2023. Vol. 53. No. 4. Pp. 328–335.
5. Металлургические свойства окатышей из концентратов Стойленского месторождения / Г.Е. Исаенко, В.Н. Титов, Н.И. Горовых, О.В. Горячко, Д.Ю. Усольцев, Ю.А. Чесноков, И.С. Берсенева, Э.Р. Сабиров // Сталь. 2023. №9. С. 2–6.
6. Пузанов В.П. Структурообразование из мелких материалов с участием жидких фаз: монография / В.П. Пузанов, В.А. Кобелев; отв. ред. В.И. Коротич; РАН Уральское отделение [и др.]. – Екатеринбург, 2001. – 636 с.