УДК 622.8.055.2

**В.Б.КУСКОВ**, *канд. техн. наук, доцент, opikvb@mail.ru*
**Я.В.КУСКОВА**, *аспирантка, ledizet@rambler.ru*
**А.В.КОРНЕВ**, *аспирант, opiopi@bk.ru*
*Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург*

**V.B.KUSKOV**, *PhD in eng. sc., associate professor, opikvb@mail.ru*
**YA.V.KUSKOVA**, *post-graduate student, ledizet@rambler.ru*
**A.V.KORNEV**, *post-graduate student, opiopi@bk.ru*
*National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg*

# ОСОБЕННОСТИ ПОДГОТОВКИ БОГАТЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД К МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ

Железные руды являются одним из основных видов полезных ископаемых, используемых человечеством. Практически все отечественные месторождения содержат 20-40 % железа в руде и поэтому подвергаются глубокому обогащению. Месторождений богатых железных руд (более 55-60 %) в нашей стране мало. Одним из таких месторождений является Яковлевское железорудное месторождение. Использование сухой магнитной сепарации для предконцентрации руды не дало положительных результатов. Изучение гранулометрического состава руды показало значительную неравномерность распределения содержания железа по классам крупности, что дает возможность осуществлять предконцентрацию руды грохочением. Для переработки руды предложена схема, включающая дробление до крупности 10 мм, грохочение по классу 5 мм. Класс крупнее 5 мм используется, например, в доменном процессе, а класс мельче 5 мм направляется на брикетирование. В качестве связующих веществ для брикетирования использовался раствор карбоксиметилцеллюлозы, или комбинированное связующее на основе карбоксиметилцеллюлозы и высокоактивной глины.

***Ключевые слова:*** богатые железные руды, предконцентрация, брикетирование, связующие вещества, комбинированное связующее.

# FEATURES OF RICH IRON ORES PREPARATION FOR METALLURGICAL PROCESSING

Iron ores is one of the main types of minerals used used by mankind. Practically all domestic deposits contain 20-40 % iron ore and so are the deep concentration. Deposits of rich iron ores, containing more than 55-60 % in our country is not enough. One of these fields is Yakovlevskoye iron ore deposit. The use of dry magnetic separation of ore for the preliminary concentration did not give positive results. The study of grain-size composition of the ore showed a significant disparity in the distribution of iron by classes size that afford it possible to carry out preliminary concentration of ore screening. For ore processing flowsheet is proposed which includes crushing to a particle size of 10 mm, screening fraction of 5 mm. Larger fraction of 5 mm is used, for example, in the blast-furnace process, and the fraction smaller than 5 mm is direct to the briquetting. As binding substance for briquetting used solution of carboxymethyl cellulose, or a combination of binder based on carboxymethyl cellulose or highly active clay.

***Key words:*** rich iron ores, preliminary concentration, briquetting, binding substance, binder combination.

Железные руды являются одним из основных видов полезных ископаемых, используемых человечеством. Практически все железные руды перерабатываются на сталь, чугун и сплавы на железной основе. Чугун и сталь – основа современной индустрии. Основными источниками получения железа являются железорудные месторождения. Прак-

тически все отечественные месторождения сравнительно бедные и содержат 20-40 % железа в руде и поэтому подвергаются глубокому обогащению. Месторождений богатых железных руд (более 55-60 %) в нашей стране мало.

Одним из таких месторождений является Яковлевское железорудное месторождение. Руда этого месторождения представлена двумя основными разновидностями: преимущественно мартитовыми рудами с содержанием железа около 64 % и гидрогематитовыми с содержанием железа около 55 %. Руда рыхлая с высоким содержанием мелких классов. Несмотря на более высокое содержание железа в руде, по сравнению с другими месторождениями руда все же имеет более низкое качество, чем концентраты, получаемые на обогатительных фабриках (65-69 % железа). Поэтому была рассмотрена возможность предварительной концентрации руды, что позволило бы повысить эффективность ее дальнейшей переработки.

Для данной руды требуется незначительное повышение качества, чтобы получить продукты с содержанием железа, сравнимым с содержанием железа в концентратах. «Традиционное» обогащение такой руды, предусматривающее тонкое многостадиальное измельчение и мокрую магнитную сепарацию, вряд ли разумно. Очевидно, что и применение флотации также нерационально. Для этой руды наиболее подходящим будет использование простейшей схемы предконцентрации с использованием простых, дешевых и высокопроизводительных процессов.

Поэтому была сделана попытка обогащения дробленой до 10 мм руды методом сухой магнитной сепарации. Но опыты магнитной сепарации на различных видах сепараторов (и при различных напряженностях магнитных полей) не показали положительных результатов. Так, на мартитовой руде удалось повысить содержание железа в концентрате до 65,2-65,8 %, но выход концентрата составил 25,4-36,8 %. На гидрогематитовой руде содержание железа в концентрате увеличилось до 56,8-57,6 % при его выходе 21,4-25,9 %.

Изучение гранулометрического состава руды показало неравномерное распределение содержания железа по классам крупности. Распределение железа по классам крупности для мартитовой руды следующее:

| Класс крупности, мм | Выход, % | Содержание железа общего, % |
|---|---|---|
| +20 | 0 | – |
| –20 +5 | 15,5 | 53,67 |
| –5 +2,5 | 6,4 | 60,98 |
| –2,5 +1,6 | 8,5 | 62,69 |
| –1,6 +0,63 | 11,8 | 62,97 |
| –0,63 +0,25 | 8,6 | 65,03 |
| –0,25 +0,14 | 9,2 | 66,67 |
| –0,14 +0,071 | 10,5 | 68,47 |
| –0,071 | 29,5 | 69,21 |
| Итого: | 100 | 64,31 |

При этом содержание железа в классе –5 мм составило 66,27 %, а его выход – 84,5 %.

Распределение железа по классам крупности для гидрогематитовой руды следующее:

| Класс крупности, мм | Выход, % | Содержание железа общего, % |
|---|---|---|
| 20 | 0,0 | – |
| –20 +5 | 21,1 | 48,16 |
| –5 +2,5 | 8,0 | 49,52 |
| –2,5 +1,6 | 10,7 | 52,90 |
| –1,6 +0,63 | 13,7 | 56,64 |
| –0,63 +0,25 | 13,1 | 58,08 |
| –0,25 +0,14 | 12,0 | 58,83 |
| –0,14 +0,071 | 8,3 | 59,98 |
| –0,071 | 13,1 | 61,78 |
| Итого: | 100,0 | 55,28 |

Содержание железа в классе – 5 мм составило 57,19 %, выход класса – 78,9 %.

Из полученных данных следует, что в качестве операции предконцентрации руды можно использовать грохочение.

Для подготовки мелких железорудных продуктов к металлургической переработке их всегда подвергают окускованию с целью обеспечения достаточной газопроницаемости шихты. Известно три основных вида окускования: агломерация, окомкование, брикетирование. Под брикетированием здесь понимается так называемое «холодное» брикетирование, когда брикеты не нагреваются до высоких температур.

Для данной руды брикетирование является предпочтительным процессом окускования, так как руда не подвергается тонкому измельчению, и очевидно, что ее окомкова-

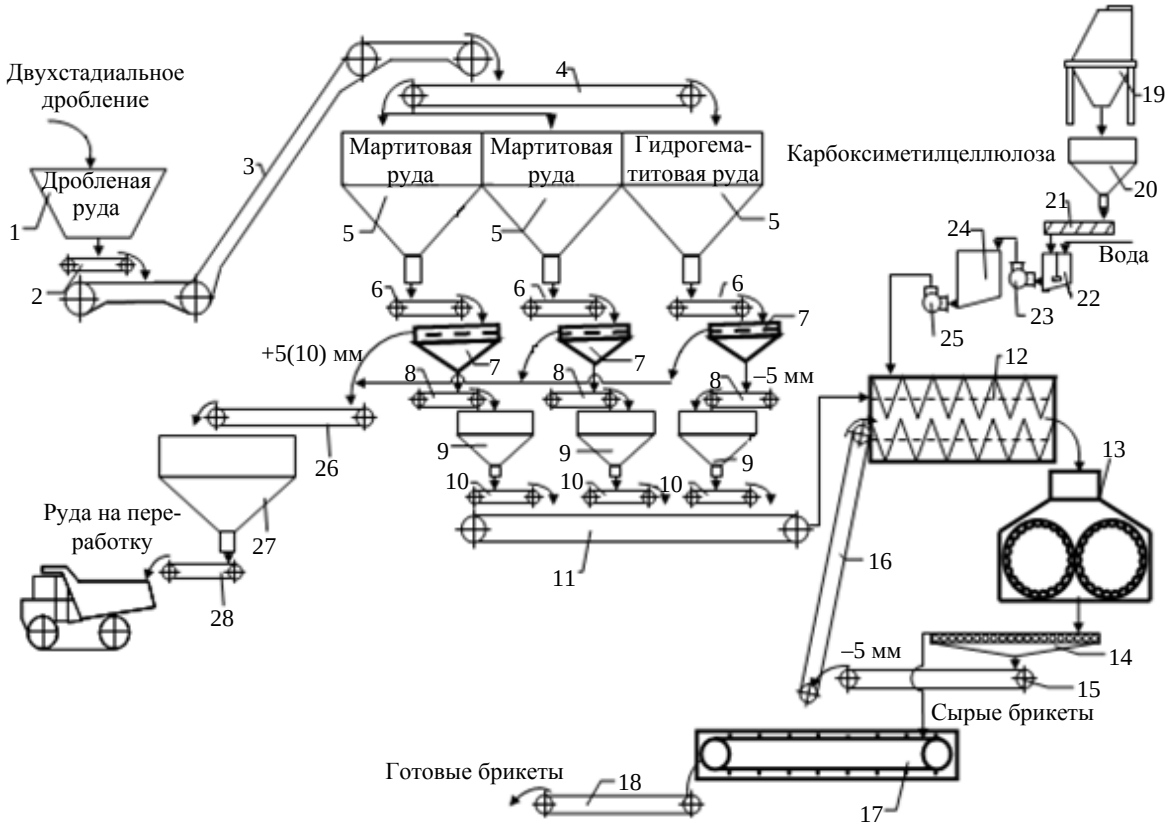



Схема цепи аппаратов брикетирования богатой железной руды с карбоксиметилцеллюлозой

ние, требующее предварительного тонкого измельчения, нерационально. Однако по сравнению с агломерацией брикетирование существенно более дешевый и экологически чистый процесс.

Разработана технология подготовки богатых железных руд к металлургической переработке с использованием брикетирования с различными видами связующих веществ: бентонита, извести, портландцемента, карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ), мелассы, различных комбинированных связующих [1, 2].

Технология подготовки руды к металлургической переработке включает следующие операции (см.рисунок). Предварительно дробленая до 10 мм руда поступает в бункер 1, откуда питателем 2, конвейером 3 и распределительным конвейером 4 транспортируется в бункера исходной руды 5. Из бункеров питателями 6 руда подается на инерционный грохот 7 для грохочения по классу 5 мм. Надрешетный продукт посредством ленточного конвейера 26 перемещается в бункер 27, откуда питателем 28 выгружается в автосамосвалы и отправляется на металлургическую переработку. Подрешетный продукт крупностью менее 5 мм ленточными конвейерами 8 подается в промежуточные бункера 9. Из бункеров питателями 10 материал выгружается на сборный ленточный конвейер 11 и транспортируется в шнековый смеситель 12, куда подается и приготовленное связующее вещество. Сухая КМЦ после растаривателя мешков 19 поступает в бункер для связующего 20. Далее винтовым питателем 21 КМЦ подается в емкость с мешалкой 22 для приготовления водного раствора заданной концентрации. Готовое связующее насосом 23 перекачивается в зумпф 24, откуда посредством насоса-дозатора 25 направляется непосредственно в смеситель. После тщательного перемешивания полученная шихта подается на брикетирование в валковый пресс 13. Полученные брикеты подвергаются грохочению на валковом грохоте 14 для отсева мелочи, которая по системе конвейеров 15, 16 возвращается в операцию смешивания. Далее сырые

*Таблица 1*

**Зависимость прочности брикетов от соотношения типов руды в исходной шихте**

| Давление прессования, МПа | Содержание руды в шихте, % | | Средний предел прочности брикетов на одноосное сжатие, МПа |
|---|---|---|---|
| | мартитовой | гидрогематитовой | |
| 20 | 80 | 20 | 6,9 |
| | 85 | 15 | 5,5 |
| | 90 | 10 | 4,6 |
| | 100 | 0 | 3,4 |
| 40 | 80 | 20 | 9,5 |
| | 85 | 15 | 7,6 |
| | 90 | 10 | 6,3 |
| | 100 | 0 | 4,9 |
| 80 | 80 | 20 | 11,5 |
| | 85 | 15 | 9,8 |
| | 90 | 10 | 7,7 |
| | 100 | 0 | 6,4 |

брикеты для повышения прочности направляются в сушильную машину 17. После сушки брикеты поступают на ленточный конвейер 18 и транспортируются на склад готовой продукции.

Из приведенной схемы цепи аппаратов видно, что предварительное грохочение исходной дробленой руды выступает здесь как простая, дешевая и высокопроизводительная обогатительная операция. Класс мельче 5 мм используется для брикетирования, а класс крупнее 5 мм может быть направлен, например, в доменный процесс как компонент доменной шихты.

В качестве исходного сырья для брикетирования может использоваться как смесь двух видов руд, так и только мартитовая руда. При использовании шихты, состоящей полностью из мартитовой руды, получаются более высокосортные брикеты (с содержанием железа более 66 %), которые можно использовать для некоторых процессов прямого восстановления железа.

Однако в большинстве проведенных опытов брикетируемая шихта состояла из смеси 85 % мартитовой и 15 % гидрогематитовой руд. Это объясняется тем, что добавка гидрогематитовой руды повышает прочность получаемых брикетов. Менее чем 15 % гидрогематитовой руды не дает заметного прироста прочности брикетов, а большее ведет к снижению содержания железа в брикетах (табл.1).

В целях изучения влияния соотношения руд в шихте на прочность получаемых брикетов было проведено большое количество экспериментов при различном давлении прессования и используемых видах связующих.

Результаты исследований с применением в качестве связующего 2,5 %-ного раствора карбоксиметилцеллюлозы представлены в табл.1[*]. Сушку сырых брикетов проводили при $t$ = 105±5 °С.

Также были проведены испытания железорудных брикетов, изготовленных с использованием комбинированных связующих на основе карбоксиметилцеллюлозы.[**]

Состав комбинированных связующих и средние значения пределов прочности полученных с их использованием брикетов представлены в табл.2. Сушка при $t$ = 105±5 °С.

Анализ представленных данных показал, что использование комбинированных связующих на основе карбоксиметилцеллюлозы позволяет получить железорудные

[*] Пат. 2463362 РФ. Способ подготовки железной руды к металлургической переработке / В.Л.Трушко, В.Б.Кусков, Н.М.Теляков. Опубл. 10.06.2012. Бюл. № 16.

Pat. RF 2463362. Method of preparation of iron ore to metallurgical processing / V.L.Trushko, V.B.Kuskov, N.M.Telyakov. Publ. 10.06.2012. Bul. N 16.

[**] Пат. 2466196 РФ. Способ переработки железосодержащегго материала / В.Б.Утков, В.А.Утков, Я.В.Кускова, А.В.Корнев / Опубл. 27.10.2012. Бюл. № 30.

Pat. RF 2466196. Method for processing of ferrous materials / V.B.Kuskov, V.A.Utkov, J.B.Kuskova, A.V.Kornev. Publ. 27.10.2012. Bul. N 30.

*Таблица 2*

**Прочность железорудных брикетов при использовании комбинированных связующих**

| Смесь | Состав связующего, % | Давление прессования, МПа | Средний предел прочности брикетов на одноосное сжатие, МПа |
|---|---|---|---|
| № 1 | КМЦ – 2,3;<br>$H_2O$ – 83,2;<br>Измельченная смесь мартитовой (85 %) и гидрогематитовой (15 %) руд – 14,5 | 40 | 8,45 |
| № 2 | КМЦ – 2,3;<br>$H_2O$ – 83,2;<br>Измельченная смесь мартитовой (85 %) и гидрогематитовой (15 %) руд – 14,5 | 40 | 6,12 |
| № 3 | КМЦ – 2,3;<br>$H_2O$ – 83,2;<br>бентонит – 3,8 | 40 | 11,3 |
| № 4 | КМЦ – 2,3;<br>$H_2O$ – 83,2;<br>бентонит – 7,4 | 40 | 10,5 |

брикеты с высоким пределом прочности на одноосное сжатие.

Брикеты, полученные с такими связующими, имеют достаточную для дальнейшей переработки механическую прочность при минимальном расходе связующего. При этом снижение содержания железа в брикете будет весьма незначительным.

Таким образом, предконцентрация богатых железных руд путем предварительного грохочения, а также использование для брикетирования смеси мартитовой (85 %) и гидрогематитовой (15 %) руд с применением карбоксиметилцеллюлозы или комбинированных связующих на ее основе позволяет получить железорудные брикеты с высокими физико-механическими свойствами.

Работа выполнена в рамках Постановления правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218 «Развитие кооперации российских вузов и производственных предприятий».