

ОКУСКОВАНИЕ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД ЭКСТРУЗИОННЫМ МЕТОДОМ

А. В. КОРНЕВ, В. Б. КУСКОВ, В. Ю. БАЖИН*

Окускование широко применяют в черной и цветной металлургии для подготовки мелких руд и тонкоизмельченных концентратов к плавке. Одним из способов окускования является брикетирование, которое можно производить как со связующими веществами, так и без них. Для брикетирования со связующими веществами обычно применяют валковые прессы. Альтернативой валковым могут служить экструзионные прессы, основными достоинствами которых являются получение весьма прочных сырых экструдатов, возможность переработки более влажных материалов с получением брикетов различных размеров и формы, а также невысокие капитальные и эксплуатационные затраты.

Показана перспективность применения метода экструзионного прессования для окускования железных руд. В частности, доказана эффективность применения данного метода для брикетирования богатых рыхлых полидисперсных железных руд с целью последующего использования полученного кускового продукта в составе металлургической шихты. Брикетирование производили со связующими веществами. Приведены результаты исследований прочностных и других свойств экструзионных брикетов. По физико-механическим свойствам полученные экструзионные брикеты соответствуют предъявляемым требованиям, что позволяет использовать их в качестве сырья для металлургической промышленности.

Ключевые слова: окускование, брикетирование, богатые полидисперсные железные руды, экструзия, брикет экструзионный (экструдат), связующие вещества, прочность.

Введение

Окускование является одним из важнейших технологических процессов, широко применяемых во многих отраслях промышленности во всем мире. В черной и цветной металлургии окускование осуществляют для подготовки мелких руд и тонкоизмельченных концентратов, поскольку эти продукты, как правило, не пригодны для непосредственного использования в плавке и других технологических процессах из-за существенного уменьшения газопроницаемости шихты, содержащей много мелких классов, а также увеличения выноса мелочи из печей. Ввиду снижения качества добываемых руд, обуславливающего необходимость их обогащения, которое предусматривает, в том числе, тонкое измельчение, количество сырья, подвергаемого окускованию с целью обеспечения возможности его последующего металлургического передела, неуклонно растет [1].

* *ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», Санкт-Петербург, Россия:*

канд. техн. наук А. В. Корнев, зав. лабораторией кафедры безопасности производств, доцент кафедры безопасности производств;

канд. техн. наук В. Б. Кусков, доцент кафедры обогащения полезных ископаемых;

докт. техн. наук В. Ю. Бажин, проректор по научно-инновационной деятельности.

Эл. почта: kornev_opi@mail.ru;

opikvb@mail.ru;

bazhin-alfoil@mail.ru

© Корнев А. В., Кусков В. Б., Бажин В. Ю., 2019

Также окускованию подвергают сопутствующие продукты и отходы различных производств (колошниковую пыль, окалину, металлическую стружку и др.), что позволяет получить дополнительное сырье для металлургической промышленности и одновременно снизить экологическую нагрузку на окружающую среду [2–9].

Одним из трех основных способов окускования (наряду с агломерацией и окомкованием) является брикетирование. Брикетирование можно производить как со связующими, так и без них. Для брикетирования со связующими часто применяют вальцовые (валковые) прессы, основными достоинствами которых являются универсальность, простота конструкции, высокая производительность, отсутствие динамических нагрузок на строительные конструкции, сравнительно небольшие габариты, надежность в условиях больших механических и тепловых нагрузок [10–12].

Вместе с тем у вальцовых прессов есть ряд недостатков. Например, в результате даже незначительного смещения ячеек полуформ относительно друг друга образуются асимметричные брикеты. При этом прочность полученных брикетов может существенно снижаться, вплоть до их разрыва. Поверхность ячеек должна быть идеально гладкой, без выемок и шероховатостей, что повышает стоимость их изготовления. Материал бандажей должен иметь низкую адгезионную способность по отношению к формируемой шихте, что ограничивает выбор конструкционных материалов для производства. В противном случае образующиеся в ходе эксплуатации прессового оборудования любые неровности и углубления в полуформах, а также повышенная адгезия приводят к за-

липанию шихты и, как следствие, — к разрушению сырых брикетов. Также к недостаткам можно отнести неравномерность износа сменных бандажей валцов (центральная часть приходит в негодность быстрее, чем остальные области) и непостоянство прикладываемого давления прессования вследствие неравномерного заполнения ячеек пресса материалом [10].

Альтернативой валковому может стать экструзионное брикетирование, которое широко применяют, например, при производстве кирпича. Суть данного метода заключается в формовании посредством экструдера изделий различной длины за счет продавливания материала через формующую головку (фильеру) с каналом (каналами) необходимого профиля. В последнее время экструдерные прессы все шире стали применять в различных отраслях промышленности: химической, пищевой, дерево- и углеперерабатывающей и др. С помощью данного метода окучковывают и различные металлосодержащие пылевидные отходы (марганец-, медь-, цинк-, железосодержащие и т. д.) с целью их дальнейшего использования в металлургической промышленности. К числу основных достоинств экструзии можно отнести следующие:

- высокая прочность сырых экструдатов (экструзионных брикетов) уже на выходе из фильеры;
- сравнительно невысокие капитальные затраты на оборудование и обслуживание в целом;
- относительно невысокие энергетические затраты на формование;
- более низкий расход связующего по сравнению с другими способами брикетирования;
- возможность получения окучкованного продукта различных размеров и формы сечения (круглых, овальных, квадратных и др.), что достигается за счет установки новой фильеры с требуемыми параметрами отверстий;
- возможность эффективной переработки материалов с достаточно высокой влажностью (до 20%) [13, 14].

Цель работы — определение технологической возможности окучкования богатых мартитогидрогематитовых полидисперсных железных руд экструзионным методом с получением брикетов, соответствующих требованиям относительно физико-механических и металлургических свойств.

Решение данной проблемы имеет принципиально важное значение в отношении применения рыхлых руд Яковлевского месторождения, запасы которого оценивают в 9,6 млрд т. Невысокое содержание основных вредных примесей в мартитовой ($S \leq 0,054\%$, $P_2O_5 \leq 0,04\%$, $SiO_2 \leq 2,45\%$) и гидрогематитовой ($S \leq 0,063\%$, $P_2O_5 \leq 0,06\%$, $SiO_2 \leq 6,37\%$) рудах, а также высокое содержание железа ($\beta_{Fe} = 58\div 64\%$) позволяет использовать их для металлургической плавки напрямую без обогащения и предварительной высокотемпературной обработки. Единственным ограничением является преобладающее количество мелочи

в исходной руде ($\beta_{-5+0\text{ мм}} = 75,9\div 83,6\%$). Экономически, экологически и технически с учетом проведенных расчетов и анализа наиболее перспективным способом окучкования для богатых руд Яковлевского месторождения является «холодное» брикетирование.

Исходные материалы и методика исследования

В качестве объекта исследований были выбраны богатые полидисперсные железные руды Яковлевского месторождения (Курская магнитная аномалия) [15]. Ранее была показана возможность получения железорудных брикетов, пригодных для использования в металлургической промышленности методом прессования со связующими веществами [16, 17].

На физико-механические и металлургические свойства брикетов влияет множество различных факторов, таких как состав шихты, вид и расход связующего, влажность шихты, режим сушки и другие [16–18].

Для изготовления экструзионных брикетов использовали смесь мартитовой и гидрогематитовой руд, взятых в соотношении 85:15, следующих классов крупности: $-1+0\text{ мм}$, $-3+0\text{ мм}$ и $-5+0\text{ мм}$. В качестве связующего использовали раствор мелассы с водой в пропорции 1:2, а также 2,5%-ный раствор синтетического вяжущего. Влажность шихты составляла 10–12%.

Процесс изготовления экструзионных брикетов (экструдатов) включал следующие основные операции: смешивание со связующим веществом в течение 5–10 мин, загрузка шихты в аппарат, формование, сушка сырых экструдатов, влажность которых на выходе из пресса составляла примерно 8–9%. Температура сушки варьировалась от 20 до 130 °С. Экструдаты изготавливали диаметром 6 и 10 мм (рис. 1). Сухие экструдаты были испытаны на прочность.

При этом определили прочность экструдатов (нагрузка, при которой раздавливался экструдат при радиальном сжатии) и коэффициент прочности (отношение прочности экструдата к его диаметру). Для проведения испытаний одной серии опытов отбирали не менее 40 целых экструдатов длиной $18,5\pm 1,0\text{ мм}$, диаметром $6,0\pm 0,1\text{ мм}$ и длиной $23,5\pm 1,0\text{ мм}$, диаметром $10,0\pm 0,1\text{ мм}$.



Рис. 1. Сырые экструдаты

Результаты исследования

Результаты испытаний брикетов на прочность представлены в табл. 1–3.

Экструдаты, полученные с использованием синтетического связующего, сушили двумя способами: принудительно при температуре около 100 °С и в естественных условиях — выдержкой при комнатной температуре и влажности $60 \pm 5\%$.

Как видно из полученных результатов, температура сушки мало влияет на прочность экструдата (уменьшается лишь время сушки), а наиболее высокая прочность достигнута с синтетическим связующим веществом.

Снижение прочности экструдатов, полученных из класса –5 мм, объясняется тем, что при продавливании шихты через фильеру частицы размером около 5 мм, касаясь стенок отверстий, проворачиваются, и в шихте образуются пустоты, не успевающие заполниться до выхода из экструдера. Также, возможно, в экструдере происходит частичное разрушение более крупных частиц шихты (так как руда весьма рыхлая) и связующее не успевает «смачивать» вновь образованную поверхность.

Также были проведены испытания экструдатов на сбрасывание (высота 0,5 м) и истирание. Некоторые полученные данные представлены в табл. 4–6.

Из данных табл. 4–6 видно, что все экструдаты выдержали испытания. Их прочность на сбрасывание и истирание не менее 90 %, а сопротивление истиранию не более 10 %.

Анализируя данные лабораторных испытаний, можно сделать вывод о возможности получения железорудных экструзионных брикетов и их пригодности для использования в качестве металлургического сырья. Но также видно, что использование более крупнокусковой шихты (когда диаметр наибольшего куска частиц приближается к половине диаметра фильеры) отрицательно влияет на качество получаемого продукта и приводит к повышенному износу материала фильер.

Для оценки воспроизводимости лабораторных исследований был поставлен ряд экспериментов, приближенных к полупромышленным, по получению экструдатов большего диаметра.

Для опытов использовали отсев руды крупностью –5+0 мм, содержание железа в котором составляло 69,27 %. Применяли синтетическое связующее. Основные операции были такими же, как и при предыдущих лабораторных исследованиях.

Изготавливали экструдаты диаметром 16 мм. Сырые экструдаты, выходящие из фильеры, имели длину примерно от 40 до 120 мм, но в ходе последующих операций они самопроизвольно разламывались (что моделирует перегрузку сырых экструдатов), и в результате длина экструдатов после их сушки составля-

ла примерно от 20 до 50 мм. Для сушки осуществляли выдержку брикетов при комнатной температуре (около 20 °С). Усредненные прочностные данные экструдата: прочность 34,3 кг/экструдат, коэффициент прочности 2,14 кг/мм; прочность на сброс 93,98 %. Экструдат отличался значительной влагостойкостью. Так, за сутки набор массы погруженных в воду (водопроводная вода, температура около 20 °С) экструдатов составил 1,87 %.

Для более полной оценки качественных характеристик полученного окускованного продукта были определены некоторые металлургические свойства экструдатов, в частности восстановимость, температура и интервал размягчения.

Определение восстановимости осуществляли в соответствии с ГОСТ 17212–84 [19] на установке, основными компонентами которой являются электропечь, реакционная камера, взвешивающее устройство и термоэлектрические термометры.

Пробу железорудных брикетов массой около 500 г помещали на перфорированную пластину в реакционную камеру, которую закрывали крышкой и подвешивали к взвешивающему устройству внутри электропечи. После этого включали контрольно-измерительные приборы, электропечь и систему подачи восстановительного газа в реакционную камеру.

Был установлен следующий состав восстановительного газа в объемных процентах: $(33 \pm 0,5)\% \text{CO} + (65 \pm 0,5)\% \text{N}_2$. Содержание примесей в восстановительном газе не превышало следующих значений, %: 0,5 H_2 , 0,5 CO_2 , 0,1 O_2 , 0,2 H_2O . Расход восстановительного газа в реакционную камеру составил $30 \pm 1 \text{ дм}^3$ в мин. Пробу нагревали в течение первых 40 мин со скоростью 15 °С/мин до 600 °С, в последующие 175 мин — со скоростью 2,86 °С/мин до 1100 °С. Через 215 мин после начала испытания электропечь выключали, выводили реакционную камеру из зоны нагрева и вместо восстановительного газа подавали нейтральный газ со скоростью 3 дм^3 /мин для охлаждения пробы железорудных брикетов. После снижения температуры до 100 °С отключали систему подачи газа и контрольно-измерительные приборы. Пробу охлаждали на воздухе до комнатной температуры, после чего она была направлена на химический анализ для определения содержания железа общего, монооксида железа и железа металлического. По результатам химического анализа вычисляли абсолютную и фактическую степень восстановления.

Определение температуры начала размягчения и температурного интервала размягчения основано на нагреве исходной пробы испытуемого материала в инертном газе и определении температуры начала размягчения по началу погружения жесткого стержня в пробу под действием внешнего давления, а также температурного интервала размягчения. Испытание проводили в соответствии с ГОСТ 26517–85 [20].

Таблица 1 Результаты испытаний экструдатов ($d = 6$ мм) на прочность при сжатии (связующее меласса)					
Крупность шихты, мм	Температура сушки сырых экструдатов, °С	Диаметр экструдата, мм	Длина экструдата, мм	Средняя прочность, кг/экструдат	Средний коэффициент прочности, кг/мм
-1+0	130±5	6,0	17,8	12,97	2,16
	80±5	6,1	19,3	10,25	1,68
-3+0	130±5	6,1	18,7	10,02	1,64
	80±5	6,1	19,0	9,71	1,59

Таблица 2 Результаты испытаний экструдатов ($d = 10$ мм) на прочность при сжатии (связующее меласса)					
Крупность шихты, мм	Температура сушки сырых экструдатов, °С	Диаметр экструдата, мм	Длина экструдата, мм	Средняя прочность, кг/экструдат	Средний коэффициент прочности, кг/мм
-1+0	130±5	10,0	23,8	13,98	1,40
	80±5	10,1	23,3	11,95	1,18
-3+0	130±5	10,1	22,7	12,10	1,20
	80±5	10,0	23,0	11,07	1,11
-5+0	130±5	10,1	24,2	9,37	0,93
	80±5	10,0	23,5	9,01	0,90

Таблица 3 Результаты испытаний экструдатов ($d = 10$ мм) на прочность при сжатии (синтетическое связующее)					
Крупность шихты, мм	Температура сушки (выдержки) сырых экструдатов, °С	Диаметр экструдата, мм	Длина экструдата, мм	Средняя прочность, кг/экструдат	Средний коэффициент прочности, кг/мм
-1+0	20±2	10,1	26,9	21,6	2,14
	100±5	10,1	27,5	22,4	2,22
-3+0	20±2	10,1	28,6	23,1	2,29
	100±5	10,0	28,1	23,9	2,39
-5+0	20±2	10,1	27,9	18,2	1,80
	80±5	10,0	23,5	17,5	1,75

Таблица 4 Результаты испытаний экструдатов на сбрасывание (связующее меласса, шихта -3+0 мм)					
Диаметр экструдата, мм	Масса исходной пробы, г	Масса класса +5 мм, г	Масса класса -5 мм, г	Прочность на сбрасывание, %	Средняя прочность на сбрасывание, %
6	495,4	458,1	37,3	92,47	92,80
	499,6	465,3	34,3	93,13	
10	502,5	462,4	40,1	92,02	91,73
	496,3	453,8	42,5	91,44	

Таблица 5 Результаты испытаний экструдатов на сбрасывание (синтетическое связующее, шихта -3+0 мм)					
Диаметр экструдата, мм	Масса исходной пробы, г	Масса класса +5 мм, г	Масса класса -5 мм, г	Прочность на сбрасывание, %	Средняя прочность на сбрасывание, %
6	503,4	470,5	32,9	93,46	93,61
	503,7	472,2	31,5	93,75	
10	501,2	471,8	29,4	94,13	94,12
	502,4	472,8	29,6	94,11	

Таблица 6 Результаты испытаний экструдатов на истирание (связующее меласса, шихта -3+0 мм)								
Диаметр экструдата, мм	Масса исходной пробы, г	Масса класса +5 мм, г	Масса класса -5+0,5 мм, г	Масса класса -0,5 мм, г	Прочность на истирание, %	Сопротивление истиранию, %	Средняя прочность на истирание, %	Среднее сопротивление истиранию, %
6	503,4	459,8	13,3	26,4	92,05	5,29	91,78	5,31
	500,1	454,5	15,7	26,5	91,50	5,34		
10	495,6	445,2	17,6	29,6	90,41	6,01	90,77	5,98
	502,8	455,8	14,6	29,8	91,12	5,96		

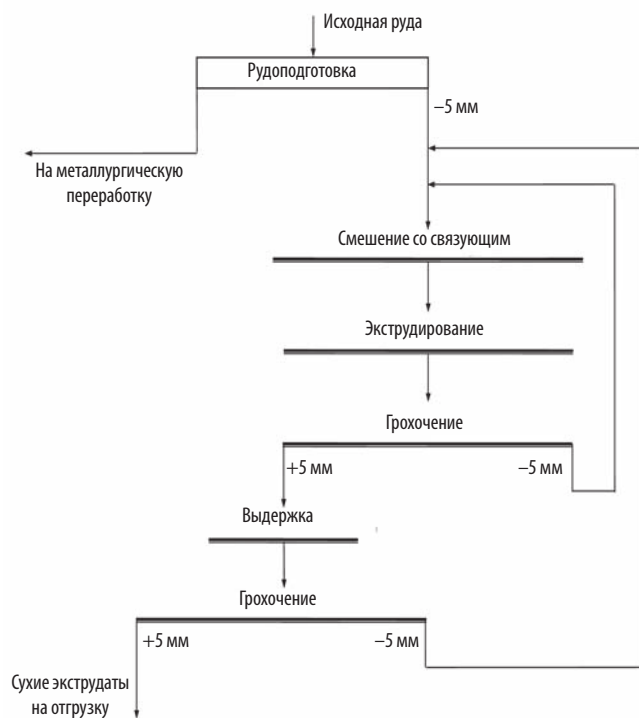


Рис. 2. Принципиальная технологическая схема процесса

Пробу брикетов укладывали в тигель, который помещали в нагревательную камеру. Затем опускали шток с грузом и закрывали верхнюю крышку камеры. Включали контрольно-измерительные и регулировочные приборы, систему подачи инертного газа и электронагревательную печь. Испытания на определение температуры начала размягчения проводили при скорости нагрева $10^\circ\text{C}/\text{мин}$, объемной скорости подачи инертного газа в нагревательную камеру $0,5 \text{ дм}^3/\text{мин}$, давлении штока на пробу $0,1 \text{ МПа}$. При этом фиксировали температуру начала размягчения, при которой шток погружали в пробу на 1 %, и температуру конца размягчения, при которой шток погружали в пробу на 40 % начальной высоты слоя. Температурный интервал размягчения определяли как разницу между температурой конца размягчения и температурой начала размягчения.

Фактическая степень восстановления ($R_{\text{факт}}$) экструдатов диаметром 10 мм составила 91,67 %, 6 мм — 92,53 %. Температура начала размягчения (t_n) и интервал размягчения в обоих случаях были примерно одинаковыми и составили в среднем 1330 и 1346°C соответственно. Таким образом, согласно требованиям, предъявляемым к сырью для доменного использования ($R_{\text{факт}}$ не менее 90 %, t_n не ниже 1000°C и температурный интервал не более 200°C [19, 20]), металлургические свойства полученных экструдатов позволяют применять их в составе шихты для плавки.

На основании проведенных исследований разработана принципиальная энергосберегающая технологическая схема производства экструдатов (рис. 2).

Технологическая схема включает вышеупомянутые технологические операции и является энергосберегающей, поскольку реализует принцип минимизации работы дробления: крупные классы руды не дробятся, а направляются на непосредственную металлургическую переработку, а окучиваются только отсева, для которых окучивание необходимо.

Подобная технология окучивания материалов является универсальной. Ее можно использовать для самых различных видов полезных ископаемых. Например, для железорудных концентратов, концентратов руд цветных металлов, а также различных металлосодержащих отходов. Такие материалы представлены, как правило, мелкими частицами, поэтому нуждаются в окучивании. Для извлечения полезной составляющей, в принципе, можно использовать различные методы. Для подготовки исходного сырья к металлургической переработке, кроме самого окучивания, можно использовать и, например, магнитную сепарацию, гравитационное обогащение, другие процессы [19–24].

Заключение

В результате проведенных исследований установлена практическая возможность реализации технологии производства экструзионных брикетов из мелких классов (крупностью менее 5 мм) богатых мартидо-гидрогематитовых полидисперсных железных руд, в частности руд Яковлевского месторождения. Окучивание экструзией можно рассматривать как альтернативу «холодному» брикетированию на вальцовых прессах, лишенную вышеуказанных недостатков последнего. Полученные экструзионные брикеты по своим физико-механическим и металлургическим характеристикам не уступают брикетам, полученным прессованием на вальцовых прессах. При этом на прочностные свойства брикетов и их восстановимость оказывает влияние гомогенность шихты, ее гранулометрический состав, вид применяемого связующего, температура сушки. ЧМ

Библиографический список

1. Fernandez-González D., Mochon J., Ruiz-Bustanza I. et al. Iron ore sintering: Process // Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review. 2017. Vol. 38(4). P. 215–227.
2. Kasai A., Nozawa K., Toyota H., Kitayma S. et al. Reduction of reducing agent rate in blast furnace operation by carbon composite iron ore hot briquette // ISIJ international. 2011. Vol. 51(8). P. 1333–1335.
3. Narita C. Y., Mourao M., Takano C. Development of composite briquettes of iron ore and coal hardened by heat treatment // Ironmaking & Steelmaking. 2015. Vol. 42(7). P. 548–552.
4. Wang H., Zhao W., Chu M., Wang R. et al. Fundamental research on iron coke hot briquette – A new type burden used in blast furnace // Ironmaking & Steelmaking. 2016. Vol. 43(8). P. 571–580.

5. Zhu D., Shi B., Pan J., Zhang F. Effect of pre-briquetting on the granulation of sinter mixture containing high proportion of specularite concentrate // *Powder Technology*. 2018. Vol. 331. P. 250–257.

6. Polat G., Yilmazer D. K., Saridede M. N. Reduction Conditions of Briquetted Solid Wastes Generated by the Integrated Iron and Steel Plant // *Int. J. Chem. Mol. Nucl. Mater. Metall. Eng.* 2016. T. 10. No 4. P. 422–425.

7. Угаров А. А., Исмагилов Р. И., Михайлов О. Ю., Солодухин А. А. и др. Комплексная реконструкция производства с целью обеспечения сырьем требуемого качества III очереди НБИ АО «Лебединский ГОК» // *Черные металлы*. 2016. № 12. С. 13–16.

8. Puzakov P. V., Kozub A. V., Ugarov A. A. et al. Technological parameters determining physical-chemical properties and required quality of green pellets at the roasting machine No. 3 of PJSC «Mikhailovsky GOK» // *CIS Iron and Steel Review*. 2017. Vol. 14. DOI: 10.17580/cisisr.2017.02.01

9. Drobíková K., Plasha D., Motyka O. et al. Recycling of blast furnace sludge by briquetting with starch binder: waste gas from thermal treatment utilizable as a fuel // *Waste management*. 2016. Vol. 48. P. 471–477.

10. Лурье Л. А. Брикетирование в металлургии. — М.: Металлургиздат, 1963. — 324 с.

11. Eisele T. C., Kawatra S. K. A review of binders in iron ore pelletization // *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*. 2003. Vol. 24. Iss. 1. P. 1–90.

12. Nath S. K., Rajshekar Y., Alex T. C. et al. Evaluation of the Suitability of Alternative Binder to Replace OPC for Iron Ore Slime Briquetting // *Transactions of the Indian Institute of Metals*. 2017. Vol. 70. Iss. 8. P. 2165–2174.

13. Курунов И. Ф., Бижанов А. М. Брэсксы — новый этап в окусковании сырья для доменных печей // *Металлург*. 2014. № 3. С. 49–53.

14. Бижанов А. М., Курунов И. Ф., Дашевский В. Я. О механической прочности брикетов экструзии (брэсков) для доменного и ферросплавного производств. I. Зависимость прочностных свойств брикетов экструзии от связующего // *Металлы*. 2015. № 2. С. 19–25.

15. Сергеев С. В., Лябах А. И., Зайцев Д. А. Опыт разработки богатых железных руд Яковлевского месторождения КМА // *Научные ведомости БелГУ. Серия: Естественные науки*. 2011. № 3(98). Вып. 14. С. 200–208.

16. Kuskov V. B., Kornev A. V. Briquettes for metallurgical industry // *CIS Iron and Steel Review*. 2011. P. 6–7.

17. Кусков В. Б., Корнев А. В., Сухомлинов Д. В. Брикетирование железорудного сырья для металлургической промышленности // *Записки Горного института*. 2013. Т. 202. С. 111–114.

18. Корнев А. В. Безобжиговое окускование полидисперсных железных руд с использованием связующих веществ: автореферат дис. ... канд. техн. наук. — Санкт-Петербург, 2013. — 21 с.

19. ГОСТ 17212–84. Руды железные, агломераты и окатыши. Метод определения восстановимости. — Введ. 01.01.1986.

20. ГОСТ 26517–85. Руды железные, агломераты и окатыши. Метод определения температуры начала размягчения и температурного интервала размягчения. — Введ. 01.01.1986.

21. Арзимбаев К. Р., Корнев А. В., Холодняков Г. А. Обоснование возможности вовлечения в переработку железосодержащих хвостов с последующим окускованием полученных концентратов // *Записки Горного института*. 2013. Т. 206. С. 120–124.

22. Korchevenkov S. A., Aleksandrova T. N. Preparation of Standard Iron Concentrates from Non-Traditional Forms of Raw Material Using a Pulsed Magnetic Field // *Metallurgist*. 2017. Vol. 61. Iss. 5-6. P. 375–381.

23. Aleksandrova T. N., Lvov V. V. The use of High-Gradient magnetic separation to increase the efficiency of extraction of magnetic fraction from coal combustion waste // *16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016*. June 28 – July 6. 2016. Book 4. Vol. 2. P. 165–170.

24. Вайсберг Л. А., Кускова Я. В. Совершенствование круглых концентрационных столов как развитие гравитационных методов обогащения // *Обогащение руд*. 2017. № 4. С. 54–60. DOI: 10.17580/or.2017.04.10

“CHERNYE METALLY”, 2019, No 11, pp. 4–10

IRON ORE AGGLOMERATION BY EXTRUSION

A. V. Kornev¹, Cand. Eng., Associate Prof., Head of Laboratory, Dept. of Industrial Safety

V. B. Kuskov¹, Cand. Eng., Associate Prof., Dept. of Mineral Processing

V. Yu. Bazhin¹, Dr. Eng., Prof., Vice-Rector on Science and Innovations

¹ St. Petersburg Mining University (St. Petersburg, Russia)

E-mail: kornev_opi@mail.ru; opikvb@mail.ru; bazhin-alfail@mail.ru

Abstract: Agglomeration is widely used in ferrous and non-ferrous metallurgy to prepare small-sized ores and finely ground concentrates for smelting. One of the methods of agglomeration is briquetting, which can be done with or without binders. For briquetting with binders, roll presses are usually used. An alternative to roll presses can be extrusion presses, the main advantages of which are obtaining very durable raw extrudates, possibility of processing wetter materials to produce briquettes of various sizes and shapes, as well as low capital and operating costs.

The prospects of using the extrusion pressing method for agglomeration of iron ores have been shown. In particular, the effectiveness of application of this method for briquetting rich loose polydispersed iron ores with the aim of subsequent use of the obtained lump product in the composition of a metallurgical charge has been proved. Briquetting was carried out with binders. The results of studies of strength and other properties of extruded briquettes were presented. The physical and mechanical properties of the obtained extruded briquettes meet the requirements, which allows to use them as raw materials for the metallurgical industry.

Key words: agglomeration, briquetting, rich polydisperse iron ores, extrusion, extruded briquette (extrudate), binders, strength.

References:

1. Fernandez-González D., Mochon J., Ruiz-Bustanza I. et al. Iron ore sintering: Process. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*. 2017. Vol. 38 (4). pp. 215–227.
2. Kasai A., Nozawa K., Toyota H., Kitayama S. et al. Reduction of reducing agent rate in blast furnace operation by carbon composite iron ore hot briquette. *ISIJ international*. 2011. Vol. 51 (8). pp. 1333–1335.
3. Narita C. Y., Mourao M., Takano C. Development of composite briquettes of iron ore and coal hardened by heat treatment. *Ironmaking & Steelmaking*. 2015. Vol. 42 (7). pp. 548–552.
4. Wang H., Zhao W., Chu M., Wang R. et al. Fundamental research on iron coke hot briquette — A new type burden used in blast furnace. *Ironmaking & Steelmaking*. 2016. Vol. 43 (8). pp. 571–580.
5. Zhu D., Shi B., Pan J., Zhang F. Effect of pre-briquetting on the granulation of sinter mixture containing high proportion of specularite concentrate. *Powder Technology*. 2018. Vol. 331. pp. 250–257.
6. Polat G., Yilmazer D. K., Saridede M. N. Reduction Conditions of Briquetted Solid Wastes Generated by the Integrated Iron and Steel Plant. *Int. J. Chem. Mol. Nucl. Mater. Metall. Eng.* 2016. Vol. 10. No. 4. pp. 422–425.
7. Ugarov A. A., Ismagilov R. I., Mikhailov O. Yu., Solodukhin A. A. et al. Full-scale reconstruction of the production facilities to provide the supply of the third HBI plant at Lebedinsky GOK (Lebedinsky Iron Ore Combine, JSC). *Chernye Metally*. 2016. No. 12. pp. 13–16.
8. Puzakov P. V., Kozub A. V., Ugarov A. A. et al. Technological parameters determining physical-chemical properties and required quality of green pellets at the roasting machine No. 3 of PJSC «Mikhailovsky GOK». *CIS Iron and Steel Review*. 2017. Vol. 14. pp. 4–8.
9. Drobíková K., Plasha D., Motyka O. et al. Recycling of blast furnace sludge by briquetting with starch binder: waste gas from thermal treatment utilizable as a fuel. *Waste management*. 2016. Vol. 48. pp. 471–477.

10. Lurie L. A. Briquetting in metallurgy. Moscow: Metallurgizdat. 1963. 324 p.
11. Eisele T. C., Kawatra S. K. A review of binders in iron ore pelletization. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*. 2003. Vol. 24. Iss. 1. pp. 1–90.
12. Nath S. K., Rajshekar Y., Alex T. C. et al. Evaluation of the Suitability of Alternative Binder to Replace OPC for Iron Ore Slime Briquetting. *Transactions of the Indian Institute of Metals*. 2017. Vol. 70. Iss. 8. pp. 2165–2174.
13. Kurunov I. F., Bizhanov A. M. Brexes is a new stage in agglomeration of raw materials for blast furnaces. *Metallurg*. 2014. No. 3. pp. 49–53.
14. Bizhanov A. M., Kurunov I. F., Dashevsky V. Ya. On the mechanical strength of extrusion briquettes (brexes) for blast furnace and ferroalloy production. I. The dependence of the strength properties of extrusion briquettes on a binder. *Metally*. 2015. No. 2. pp. 19–25.
15. Sergeev S. V., Lyabakh A. I., Zaytsev D. A. Experience in the development of rich iron ores of the Yakovlevsky KMA deposit. *Nauchnye vedomosti BelGU. Seriya: Estestvennye nauki*. 2011. No. 3 (98). Issue. 14. pp. 200–208.
16. Kuskov V. B., Kornev A. V. Briquettes for metallurgical industry. *CIS Iron and Steel Review*. 2011. Vol. 6. pp. 6–7.
17. Kuskov V. B., Kornev A. V., Sukhomlinov D. V. Briquetting of iron ore for the metallurgical industry. *Zapiski gornogo instituta*. 2013. Vol. 202. pp. 111–114.
18. Kornev A. V. Unfired agglomeration of polydisperse iron ores using binders: thesis of inauguration of Dissertation ... of Candidate of Engineering Sciences. Saint Petersburg, 2013. 21 p.
19. GOST 17212–84. Iron ores, agglomerates and pellets. Method for determination of reductability. Introduced: 01.01.1986.
20. GOST 26517–85. Iron ores, agglomerates and pellets. Method for determination of initial softening point and temperature range of softening. Introduced: 01.01.1986.
21. Argimbaev K. R., Kornev A. V., Kholodnyakov G. A. Substantiation of the possibility of involving iron-containing tailings in processing with subsequent agglomeration of obtained concentrates. *Zapiski gornogo instituta*. 2013. Vol. 206. pp. 120–124.
22. Korchevenkov S. A., Aleksandrova T. N. Preparation of Standard Iron Concentrates from Non-Traditional Forms of Raw Material Using a Pulsed Magnetic Field. *Metallurgist*. 2017. Vol. 61. Iss. 5–6. pp. 375–381.
23. Aleksandrova T. N., Lvov V. V. The use of High-Gradient magnetic separation to increase the efficiency of extraction of magnetic fraction from coal combustion waste. *16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016*. June 28 — July 6. 2016. Book 4. Vol. 2. pp. 165–170.
24. Vaisberg L. A., Kuskova Ya. V. Improvement of circular concentrating tables as development of gravity concentration methods. *Obogashchenie Rud*. 2017. Iss. 4. P. 54–60. DOI: 10.17580/or.2017.04.10

Романцев Б. А., Гончарук А. В., Вавилкин Н. М., Самусев С. В.

Трубное производство. Учебник

Представлены элементы теории, современные технологии и оборудование для производства бесшовных, холоднодеформированных и сварных труб.

Приведены характеристики исходных заготовок и способы их производства, расчет энергосиловых параметров процессов производства труб, таблиц прокатки, калибровки инструмента. Описаны характерные виды брака труб и способы их устранения. Рассмотрены вопросы производительности при производстве труб по различным технологическим схемам.

Предназначен для студентов специальностей 150106, 150404, может быть полезен инженерно-техническим и научным работникам, специализирующимся в области трубного производства.

2-е изд., испр. и доп.

Коликов А. П., Романцев Б. А.

Теория обработки металлов давлением. Учебник

Представлены базовые сведения по механике деформируемых тел: основы теории напряжений и деформаций, физические уравнения связи напряженного и деформированного состояния металла в элементарном объеме (точке) деформируемого тела, модели сплошных сред и их физические соотношения. Изложены общие положения теории обработки металлов давлением: физические основы пластической деформации и сопротивления деформации, пластичности, деформируемости и элементов механики разрушения, основные закономерности контактного трения. Значительное внимание уделено анализу силовых и деформационных параметров процессов горячей и холодной обработки металлов давлением. Приведены примеры решения задач и контрольные вопросы. Предназначен для бакалавров и магистров направления «Металлургия», научных работников и специалистов в области обработки металлов давлением, а также для инженерно-технических работников.

ISBN: 978-5-87623-887-0

Страницы: 451

Переплет: твердый

Издатель: НИТУ МИСиС

Язык: Russian

Год издания: 2015

Реклама

По вопросам приобретения книги обращайтесь:

119049, г. Москва, Ленинский проспект, д. 6.,

стр. 2, НИТУ МИСИС, "А"-корпус, 6-й этаж, офис 624.

Эл. почта: books@rudmet.ru

Тел: (495) 955-01-75



«Руда и Металлы»
Издательский дом