

ОСОБЕННОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ БРИКЕТИРОВАНИЯ ПЫЛЕВИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ В МЕТАЛЛУРГИИ

С.В. КОРНЕЕВ, канд. техн. наук, **Н.И. УРБАНОВИЧ**, канд. техн. наук,
Е.В. РОЗЕНБЕРГ

Белорусский национальный технический университет

В работе представлен обзор оборудования для брикетирования дисперсных материалов, применяемого в металлургическом производстве (валковые прессы, вибропрессование, а также другие типы брикетировочных прессов). Рассмотрены характерные особенности оборудования и технологий.

***Ключевые слова:** пылевидные отходы, брикетирование, валковый пресс, вибропресс, штемпельный пресс, экструзионный пресс.*

FEATURES OF EQUIPMENT FOR BRIQUETTING OF DUST MATERIALS IN METALLURGY

S.V. KORNEEV, Ph. D in Technical Sciences, **N.I. URBANOVICH**,
Ph. D in Technical Sciences, **E.V. ROZENBERG**

Belarusian National Technical University

The paper provides an overview of equipment for briquetting dispersed materials used in metallurgical production (roller presses, vibrocompression, as well as other types of briquetting presses). Considered the characteristic features of equipment and technologies.

***Keywords:** dust waste, briquetting, roller press, vibropress, stamp press, extrusion press.*

Введение. Проблема переработки железосодержащих пылевидных материалов часто связана с необходимостью предварительного или заключительного окускования материала. При этом брикетирование для относительно незначительных объемов пыли может быть более эффективным, чем другие способы окускования. Сами технологии брикетирования могут различаться в зависимости от необходимых размеров и формы брикетов, их химического состава, огра-

ничений на количество и вид связующих и других факторов. Ниже рассмотрены современные конструкции брикетировочных прессов, которые получили распространение в металлургическом производстве.

Валковые прессы для брикетирования. Принцип работы таких прессов заключается в том, что брикетируемая смесь подается в зазор между двумя вращающимися навстречу друг другу валками, на поверхности которых симметрично расположены ячейки в виде полубрикетов. Во время вращения валков происходит сближение ячеек, захват материала и его уплотняющее сжатие. Брикетированный материал подвергается двустороннему сжатию, что способствует более равномерному распределению его плотности по объему. Затем по мере вращения валков ячейки расходятся, и брикет выпадает из ячейки под действием силы тяжести. Особенностью валкового брикетирования является ограничение влажности шихты (не более 5–10 %).

Валковые прессы в черной металлургии позволяют брикетировать широкий класс природных и техногенных материалов с использованием различных связующих материалов. Однако ограничения по влагосодержанию брикетированной шихты создают трудности при использовании получившего широкое распространение портландцемента в качестве вяжущего. Требуемая доля цемента в массе брикета может достигать 8–12 %, что сопоставимо с содержанием этого вяжущего в вибропрессованных брикетах, но в два раза больше, чем требуется в жестких экструзионных брикетах [1]. Также к недостаткам можно отнести снижение прочности брикетов при смещении полуформ. Кроме того величина удельного давления прессования на вальцовых прессах механически не регулируется, поэтому качество получаемых брикетов зависит от равномерности подачи шихты и постоянства ее плотности.

На прочность брикетов существенно влияет продолжительность процесса прессования. Выдержка брикета под давлением позволяет не только более полно вытеснить воздух из сужающегося порового пространства без образования сжатых «воздушных карманов», но и уменьшить количество упругих деформаций, которые могут привести к его размягчению. Увеличение времени прессования достигается за счет ограничения скорости вращения валков.

Ниже рассмотрены основные производители валковых брикетировочных прессов и их конструктивные особенности.

Компания «Кёрреп» (один из основных производителей брикетировочных прессов) известна разработками в области повышения долговечности материалов, используемых при изготовлении валковых прессов. Ячейки гильз для формования брикетов производятся по технологии электрохимической обработки (ECM–Electro Chemical Machining) с 60-х годов 20 века. Электрохимическая обработка заключается в удалении металла с поверхности заготовки путем электролитического растворения до достижения желаемой формы и размера. Компания «Кёрреп» также разработала противоизносную систему HEXADUR® – запатентованную технологию для производства гильз для брикетирования с износостойкой металлической порошковой поверхностью – RESIDUR®. Конструкция валков состоит из двух частей: сердцевины валка и износостойкой части, закрепленной на основании с помощью горячей посадки, что позволяет повторно использовать сердцевину валка.

Крупнейшим производителем валковых брикетировочных прессов также является компания «Комарек». Компания впервые начала использовать сегментные бандажы со сменными элементами. Общий вид валкового пресса представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Общий вид валкового брикетировочного пресса (а) и поверхность валков (б)

Например, для брикетирования оксидов металлов, рудной мелочи и шламов используется пресс Komarek DH500 производительностью до 45 т в час. Конструктивные особенности этого пресса заключаются в следующем: использование непрерывных или сег-

ментных бандажей; вертикальная загрузка под действием силы тяжести или с помощью шнекового питателя; вакуумная деаэрации тонкодисперсных порошковых компонентов шихты; использование двигателей с возможностью регулирования скорости вращения валков и шнека; применение материалов из стойких сплавов и др. Диаметр валка составляет 710 мм, ширина валка – 229–508 мм, усилие прессования – до 3000 кН, мощность привода валков – 200 кВт, привода питателя – 22 кВт. Вес прессы составляет до 33 т [1].

В 2001 г. компания «Komarek» приобрела контрольный пакет акций EURAGGLO, который в настоящее время является европейским подразделением Komarek.

Еще одним крупнейшим производителем валковых брикетировочных прессов является компания «Nosokawa-Verex». Для брикетирования с применением высокого давления используются валковые прессы серии MS, пригодные для обработки также абразивных и горячих материалов. Особенностью конструкции прессов Nosokawa-Verex является возможность их работы в атмосфере инертного газа, как, например, при работе с материалами, требующими исключения контакта с кислородом. При этом кожух валковых прессов серии MS выполнен в газонепроницаемом исполнении. Поверхность валков может быть гладкой, профилированной или с канавками. Для прессов серии MS есть валки, подходящие для различных областей применения (сегментированные, для высокоабразивных материалов и высокопрочные). Усилие прессования прессов серии MS находится в диапазоне от 360 до 6000 кН, диаметр валков – от 300 до 1100 мм.

Крупнейшим французским производителем валковых прессов для брикетирования угля и рудных концентратов является компания «Sahut-Conreur». Производительность современных валковых прессов компании составляет от 500 кг до 100 т брикетов в час. Усилие прессования достигает значений 10–50 кН на погонный сантиметр ширины валка, диаметр валка – 250–1400 мм. Прессы оснащены системой гидравлического сжатия валков и системой автоматического регулирования частоты их вращения.

Компания «Sahut-Conreur» наряду с компанией «Köppegn» производит валковые брикетировочные прессы для горячего брикетирования. Компания также является разработчиком запатентованной концепции «холодного брикетированного железа и углерода» (Cold

Briquetted Iron and Carbon, CBIC). Сырьем для такого брикетирования является так называемое холодное железо прямого восстановления и углерод.

Еще одним крупным производителем является китайская компания «Anyang GEMCO Energy Machinery Company Co., Ltd».

На постсоветском пространстве изготовлением валковых прессов занимаются «Экспериментально-производственное предприятие Института черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины» и ЗАО «НПО Спайдермаш» (Россия).

Современные работы в области валкового брикетирования направлены на: исследование износа и влияния степени износа бандажей валковых прессов на параметры брикетирования; увеличение рабочего ресурса бандажей; изучение путей повышения качества брикетов за счет снижения негативного влияния упругого последельствия; конкретизацию требований к брикетам в зависимости от области их последующего использования; создание стандартов на разные виды брикетированной продукции; исследование влияния совокупности свойств брикетов на показатели плавок и качество продукции металлургических переделов; разработку новых видов связующих добавок, применимых для конкретного вида или максимально широкого круга брикетируемых материалов, обеспечивающих необходимые качественные характеристики брикетов (пластичность, прочность, влагостойкость, термостойкость и т. д.), обладающих технологичностью и рентабельностью; совершенствование конструкции прессов, повышение их надежности и удобства в эксплуатации и др. [2].

Оборудование для вибропрессования. Установлено, что при вибрации с частотой более 50 Гц связи между частицами в уплотненном сухом порошке разрушаются, и внутреннее трение в сжимаемой массе резко уменьшается, что способствует сближению частиц и уплотнению смеси.

В этом случае более высокая степень уплотнения достигается при более низких значениях нагрузки, чем при сжатии. Аналогичные процессы происходят при брикетировании с использованием цементного вяжущего, когда за счет обратимого превращения цементного геля в золь при воздействии вибрации на этапах его разжижения частицы брикетированной шихты сближаются под действием собственной силы тяжести, что способствует уплотнению

брикета, и воздух, вытесняемый приближающимися частицами, высвобождается на поверхности сжимаемой массы в виде пузырьков.

Неслучайно практически все известные предприятия по производству вибропрессующих брикетов используют цемент в качестве вяжущего. Поэтому влагосодержание компонентов шихты играет важную роль при брикетировании с вибропрессованием. Его количества должно быть достаточно для сохранения свойств цементного геля и дальнейшего гидратационного твердения цемента. Обычно его содержание в брикетированной смеси ограничивается 5–8 % от веса брикета.

Процесс вибропрессования состоит из нескольких этапов: установка поддона на вибростол; заливка приготовленной в смесителе брикетированной смеси с добавлением связующего в сменную оснастку формы – матрицу; сжатие смеси пуансоном и включение вибрации всего агрегата.

Крупнейшими производителями оборудования для производства изделий методом вибропрессования является компания «Hess» и «Маса» (Германия). Особенностью вибропрессов Hess является запатентованная вибросистема VARIO TRONIC, которая позволяет задавать параметры вибрации (частоту и амплитуду) индивидуально для каждого типа вибрации и добиваться оптимального уплотнения с помощью восьми вибраторов с минимальным износом компонентов оборудования. Компания поставляет на рынок автоматические линии брикетирования, которые, помимо вибропрессов, включают в себя специальные устройства для транспортировки поддонов с сырыми брикетами на участок термообработки и готовых брикетов к точкам их отгрузки потребителям (складские подъемники, конвейеры поддонов, трансбордер, мультиформы, камеры для термообработки и др.).

Вибропрессы широко распространены при изготовлении тротуарной плитки и подобных ей изделий, поэтому производители могут при необходимости модифицировать их для выпуска металлургических брикетов. Например, в России компанией, предлагающей готовое решение получения брикетов для металлургии, является компания «Гевит» [4]. На рисунке 2 представлены вибропресс и брикеты указанной компании.

*a**б*

Рисунок 2 – Общий вид вибропресса (*a*) и брикетов для металлургии (*б*) фирмы Гевит [4]

Другие типы брикетировочных прессов. К получению брикетов за счет значительных усилий прессования (до 500 МПа) относятся кольцевые прессы. Шихта прессуется в результате непрерывного уплотнения между цилиндрической поверхностью каналов прессового кольца и цилиндрической поверхностью диска. В технологиях брикетирования данные прессы получили наименьшее распространение.

Более распространены штемпельные брикетировочные прессы, которые, однако, обладают меньшей производительностью в сравнении с другими видами прессов и более сложной конструкцией. Размеры брикетов также, как правило, более крупные в сравнении с другими видами прессования. Различают одно-, двух- и четырехштемпельные прессы. Как правило, подобные прессы применяют для брикетирования стружки. Энергопотребление на прессование тонны горячбрикетированной стружки составляет в среднем около 32 кВт·ч/т, а холоднбрикетированной – 65 кВт·ч/т.

Экструдеры жесткой вакуумной экструзии. В последнее время для получения брикетов все большее распространение получает технология брикетирования с помощью жесткой вакуумной экструзии. Слово «жесткий» используется для описания процесса экструзии, который осуществляется при давлении от 2,5 до 4,5 МПа и влажности от 12 до 18 %. Производительность экструдеров жесткой вакуумной экструзии может превышать 100 т брикетов в час [1, 3].

На рисунке 3 представлена схема экструдера жесткой вакуумной экструзии и вид брикетов (брэсов), получаемых на экструдере.

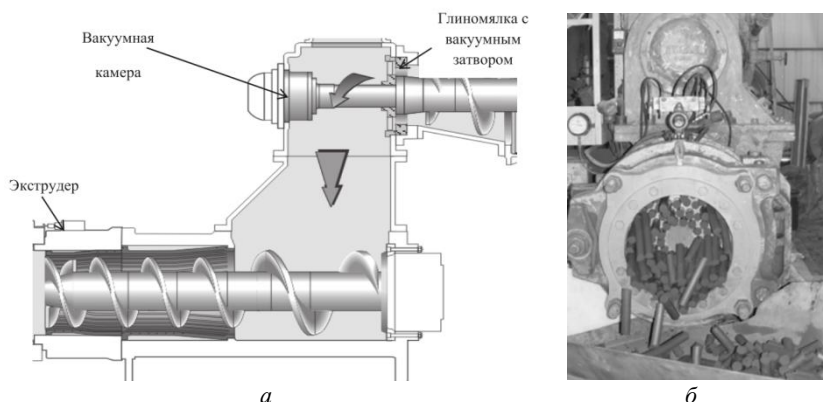


Рисунок 3 – Схема экструдера жесткой вакуумной экструзии (а) и вид брикетов (брэсов) получаемый на экструдере (б)

Авторами [3] проведено сопоставление технологий брикетирования, которое представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Сопоставление технологий брикетирования

Характеристики процесса	Характеристики агрегатов для брикетирования		
	Вибростол	Валковый пресс	Экструдер
Макс. производительность, т/ч	30	50	100
Срок службы, лет	1	1	1,5
Стоимость заменяемых деталей, \$/т	Нет данных	1,5	1,0
Содержание цемента в брикетах, %	8–10	15–16	4–8
Тепловая обработка сырых брикетов	80 °С (10–12 ч)	Не требуется	Не требуется
Оборотный цикл	Отсутствует	30 % от пр-ва	Отсутствует
Влажность шихты, %	<5	<10	12–18
Возможность складирования сырых брикетов в штабель	Отсутствует	Возможно	Возможно
Расходы:			
– электроэнергия, кВт·ч/т	42,6	23,0	33
– природный газ, м ³ /т	47	0	0
– тепло, Гкал/т	0,3	0	0
– сжатый воздух, м ³ /т	90	0	0

Заключение. Из приведенного выше обзора литературных данных следует, что при выборе наиболее эффективного способа брикетирования конкретных пылевидных отходов металлургического производства следует предварительно провести дополнительное исследование процессов брикетирования с учетом характеристик материала и необходимых характеристик готовых брикетов, а кроме того произвести выбор наиболее эффективного связующего.

Параметры брикетирования с использованием различных связующих, а также без использования связующих приведены в многочисленных работах, например [5–7], однако требуют дополнительных проверок при использовании отличных условий и брикетируемых материалов с другими характеристиками.

Список литературы

1. Aitber Bizhanov Briquetting in metallurgy. History, problems and prospects [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://briquetbrex.ru/userfiles/ufiles/all_web_2.pdf. – Дата доступа : 10.08.2021.

2. Брикетирование металлургического сырья. Актуальность и пути развития метода / Б.Н. Маймур [и др.] // Черная металлургия: Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2016 – № 1. – С. 74–82.

3. Бижанов, А.М. Брикеты экструзии (брэкссы) – новый этап в окисковании сырья для черной металлургии / А.М. Бижанов, И.Ф. Курунов. – М.: ООО «Металлургиздат», 2017. – 234 с.

4. Брикетирование металлургического сырья [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://gevit.org/briquet>. – Дата доступа : 08.09.2021.

5. Корнеев, А.В. Исследование влияния параметров брикетирования на физико-механические свойства железорудных брикетов / А.В. Корнеев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – № 12. – С. 154–156.

6. Проценко, Е.Л. Экспериментальные исследования процесса брикетирования мелкофракционной пыли производства ферросилиция / Е.Л. Проценко, Т.Ф. Жуковский // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – Белгород: БГТУ, 2014. – № 6. – С. 187–191.

7. Ленев, Л.А. Изучение закономерностей брикетирования богатой железной руды без связующих добавок / Л.А. Ленев, В.Б. Кусков // Записки Горного института. – 2006. – Т. 169. – С. 150–152.

References

1. URL: <https://briket-brex.ru>

2. **Briketirovanie** metallurgicheskogo syr'ya. Aktual'nost' i puti razvitiya metoda [Briquetting of metallurgical raw materials. Relevance and development of the method] / B.N. Majmur [et al.] // *Chernaya metallurgiya: Byulleten' nauchno-tehnicheskoy i ekonomicheskoy informacii = Ferrous metallurgy: Bulletin of scientific, technical and economic information*. – 2016. – No. 1. – P. 74–82.

3. **Bizhanov, A.M.** *Brikety ekstruzii (breksy) – novyj etap v okuskovanii syr'ya dlya chernoj metallurgii* [Extrusion briquettes (braks) – a new stage in the agglomeration of raw materials for ferrous metallurgy] / A.M. Bizhanov, I.F. Kurunov // Moscow: OOO «Metallurgizdat» Publ., 2017. – 234 p.

4. URL: <https://gevit.org/briket>

5. **Korneev, A.V.** *Issledovanie vliyaniya parametrov briketirovaniya na fiziko-mekhanicheskie svoystva zhelezorudnyh briketov* [Study of the influence of briquetting parameters on the physical and mechanical properties of iron ore briquettes] / A.V. Korneev // *Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten' (nauchno-tehnicheskij zhurnal) = Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. – 2012. – No. 12. – P. 154–156.

6. **Procenko, E.L.** *Eksperimental'nye issledovaniya processa briketirovaniya melkofrakcionnoj pyli proizvodstva ferrosiliciya* [Experimental studies of the process of briquetting fine dust from ferrosilicon production] / E.L. Procenko, T.F. Zhukovskij // *Vestnik BGTU im. V.G. Shuhova = Bulletin of Belgorod State Technical University im. V.G. Shukhova*. – Belgorod: BGTU Publ., 2014. – No. 6. – P. 187–191.

7. **Lenev, L.A.** *Izuchenie zakonomernostej briketirovaniya bogatoj zheleznoj rudy bez svyazyuyushchih dobavok* [Study of the regularities of briquetting of high-grade iron ore without binding additives] / L.A. Lenev, V.B. Kuskov // *Zapiski Gornogo institute = Notes of the Mining Institute*. – 2006. – Vol. 169. – P. 150–152.

Послупила 25.10.2021
Received 25.10.2021