

УДК 622.7:669.1.054.8:669.24

Б.Н.Маймур, В.А.Носков, В.И.Петренко, В.М.Соколов

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА БРИКЕТИРОВАНИЯ ПЫЛЕОБРАЗНЫХ НИКЕЛЬСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

Приведены результаты исследований по прессованию никельсодержащих отходов Побужского ферроникелевого комбината с различными связующими добавками на лабораторной установке и валковых прессах.

Постановка задачи. Потребность металлургической промышленности в никеле, являющемся необходимым элементом при выплавке специальных сталей, постоянно растет.

В Украине основным производителем ферроникеля является ОАО «Побужский ферроникелевый комбинат» (ПФК). ПФК перерабатывает как отечественную, так и импортную латеритовую руду. На разных этапах технологического передела – при подготовке руды к плавке, в процессе плавки в рудотермической печи, при рафинировании ферроникеля в кислородном конвертере – образуются мелкодисперсные никельсодержащие отходы, большей частью выбрасываемые в отвалы. Это, в конечном счете, приводит не только к потере дорогостоящего металла, но и представляет значительную экологическую опасность. Канцерогенное действие никельсодержащих соединений при проникновении в организм человека связано с нарушением ферментных и обменных процессов в клетках.

Наиболее важной, в плане повышения степени использования ценного никельсодержащего сырья и улучшения экологической обстановки на комбинате, является утилизация сухой пыли, образующейся ежегодно в количестве 80–100 т при работе вращающихся обжиговых печей.

Исследования специалистов ИЧМ в направлении утилизации пыли ПФК обусловлены участием в работах по проекту Украинского научно-технологического центра (УНТЦ) «Ликвидация экологической опасности от мелких отходов, содержащих никель, путем их обработки черновым ферроникелем», который выполняется (совместно с представителями Института газа и Физико-технологического института металлов и сплавов НАНУ) в соответствии с программой научных проектов НАН Украины и УНТЦ.

Методика исследования. В проекте рассматриваются 2 варианта утилизации никельсодержащей пыли ПФК – обработка жидким черновым ферроникелем и обжиг совместно с кусковой рудой во вращающейся печи с последующей переработкой по принятой на комбинате схеме. Для обоих вариантов необходимо предварительное окускование пыли.

Проводившиеся ранее, в частности, в институте «Механоборчермет», опыты показали, что, несмотря на очень развитую поверхность, при окомковании пыли ПФК имеются существенные трудности. Кроме того, учи-

тывая предполагаемое в проекте введение в окускованный материал, который будет обрабатываться черновым ферроникелем, углеродистого восстановителя, возникает проблема его сохранения в процессе упрочняющего обжига окатышей. Поэтому более перспективным методом окускованная пыли представляется брикетирование, позволяющее получить сырье заданной формы и размера, ввести в его состав различные полезные добавки.

Исследования процесса брикетирования пыли ПФК, получение опытных партий брикетов проводились в лаборатории ИЧМ с использованием методик и оборудования, описанных ранее [1,2].

Доставленная из комбината пыль даже при нулевой влажности характеризуется очень плохой сыпучестью. В ней содержится, в % мас.: Ni – 2,90; Fe – 23,50; SiO₂ – 37,10; CaO – 1,10; MgO – 18,21; Al₂O₃ – 1,62; Co – 0,09; Cr₂O₃ – 0,75.

Технологические режимы брикетирования пыли отработывались на лабораторной установке, позволяющей уплотнять шихту в цилиндрической прессформе с автоматической регистрацией усадки в процессе уплотнения. Записанные диаграммы прессования переставляли в координатах $K_y = f(P)$, где P – давление прессования, а K_y – коэффициент уплотнения материала. Сравнительную оценку прочностных свойств прессовок производили по величине прочности на сжатие ($\sigma_{сж.}$) при приложении разрушающего усилия к торцевой поверхности цилиндрических образцов диаметром 30 и высотой 17,5 мм.

Исходя из прогнозных требований к свойствам и составу брикетов, предназначенных как для обработки черновым ферроникелем, так и для обжига во вращающейся печи, были проанализированы возможные связующие добавки и определен их круг с учетом вяжущих свойств, технологичности применения и доступности.

В частности, в опытах использовали хорошо зарекомендовавшее себя в ряде разрабатываемых в ИЧМ технологий органическое связующее (ОС) в виде низкосортной муки [3]. Шихта с таким связующим приобретает высокие пластические свойства и хорошо брикетируется после кратковременной тепловой обработки при температуре 70–75⁰С. В качестве связующих использовались также меласса (М) – отход развитого на Украине сахарного производства, материал недефицитный и относительно дешевый, а также широко применяемый лигносульфонат технический (ЛСТ). Учитывая требование сохранения брикетами прочностных свойств в процессе обжига и высокотемпературной обработки, применяли также комбинированные связующие, добавляя спекающиеся при повышении температуры компоненты – бентонит и каолин.

После проведения пробных опытов было решено сравнительные испытания на лабораторной установке по влиянию связующих добавок на прочность прессовок проводить при давлении прессования 50 МПа. Определяли прочность на сжатие ($\sigma_{сж.}$) прессовок сырых и высушенных при

150⁰С. Чтобы в какой-то степени смоделировать температурное воздействие на брикеты при высокотемпературной обработке во вращающейся обжиговой печи ПФК, сырые прессовки загружали на 30 мин. в муфельную печь с температурой 370⁰С, затем вынимали образцы и часть их горячими помещали в печь, нагретую до 800⁰С. Термообработанные образцы также испытывали на сжатие.

Прочность прессовок после «ударного» приложения тепловой нагрузки оценивали по величине $\sigma_{сж.}$ образцов, помещаемых на 10 мин в разогретую до 1000⁰ печь.

Результаты исследования. В табл.1 приведены характеристики шихты и прессовок из никельсодержащей пыли ПФК. Приведены результаты только по тем из опробованных связующих, применение которых, после проведения предварительных опытов, представляется наиболее технологичным и экономически целесообразным. Используемый жидкий ЛСТ имел плотность 1,16 г/см³, меласса – 1,20 г/см³. Такие значения плотности выбраны из условий хорошего смешивания с пылью и сохранения связующими высоких вяжущих свойств.

Анализ результатов по прессованию пыли на лабораторной установке дает основание сформулировать следующие соображения по выбору связующих добавок:

1. Применение органического связующего позволяет получать прочные сырые брикеты, которые, за счет высокой пластичности, не будут разрушаться до попадания в печь. Однако при термообработке брикеты будут разупрочняться, в основном превращаясь в пыль.

2. Применение ЛСТ и мелассы дает возможность получать достаточно прочные сырые и термообработанные брикеты. Лигносульфат можно использовать как жидкий, так и порошкообразный (при правильно выбранном количестве влаги, добавляемой к сухой смеси). Более технологичным представляется использование жидкого ЛСТ.

3. На прочностные свойства брикетов как сырых, так и, особенно, термообработанных положительно влияют спекающие глинистые добавки – бентонит и каолин. Особенно хорошо видно преимущество брикетов с глинистыми добавками при «термоударе».

4. Условия формирования и прочностные свойства брикетов будут оптимальными при влажности шихты 10–12%. При этом такая влажность должна обеспечиваться за счет добавления необходимого количества жидкого связующего с высокими вяжущими свойствами, а не за счет дополнительного увлажнения материала водой.

Таблица 1. Характеристики шихты и прессовок из никельсодержащей пыли ПФК с различными связующими ($P = 50$ МПа)

Шихта		Прочность прессовок на сжатие, кг/образец				
Компонентный состав, % масс.	Влажность, % масс.	Сырые	Сушка при 150°C, 60 мин.	Сушка 30 мин при 370°C	Сушка 30 мин при 370°C +15 мин при 800°C	Сушка 30 мин при 370°C +40 мин при 800°C
Пыль (72) + ОС (8) + вода (20)	20	Пластическая деформация без разрушения	445	80	45	
Пыль (77) + ОС (4) + каолин (4) + вода (15)	15	175	380	175	170	
Пыль (90) + ЛСТ _{тв.} (4) + вода (6)	6	175	340	400	290	
Пыль (77) + ЛСТ _{тв.} (4) + каолин (4) + вода (15)	15	210	745	490	400	
Пыль (80) + ЛСТ _{жидк.} (20)	11	240	370	760	380	330
Пыль (75) + ЛСТ (20) + бентонит (5)	11	240	230	920	500	410
Пыль (80) + меласса (20)	11	180	620	630	270	
Пыль (75) + меласса (20) + каолин (5)	11	235	850	450	395	565
Пыль (75) + меласса (20) + бентонит (5)	11,5	210	490	840	560	630

Полученные взаимосвязи коэффициента уплотнения ряда шихт от давления прессования показаны на рисунке.

Из анализа приведенных на рисунке зависимостей видно, что наиболее жесткой шихтой является шихта с использованием ЛСТ (кривая 5), а наиболее пластичной является шихта с использованием мелассы (кривая 2). При этом насыпная плотность шихты на мелассе составляет $0,63 \text{ г/см}^3$, а шихты на ЛСТ – $1,02 \text{ г/см}^3$. Представленные кривые прессования показывают, что тип связующего оказывает существенное влияние на взаимосвязь давления прессования и уплотнения. Так, например, если принять в качестве рабочего давления прессования $P = 50$ МПа, то пыль на связующем из ЛСТ уплотнится всего в 2,02 раза, а пыль с мелассой уплотнится в

3,4 раза, при этом плотность прессовок будет близкой – соответственно $2,06 \text{ г/см}^3$ и $2,14 \text{ г/см}^3$.

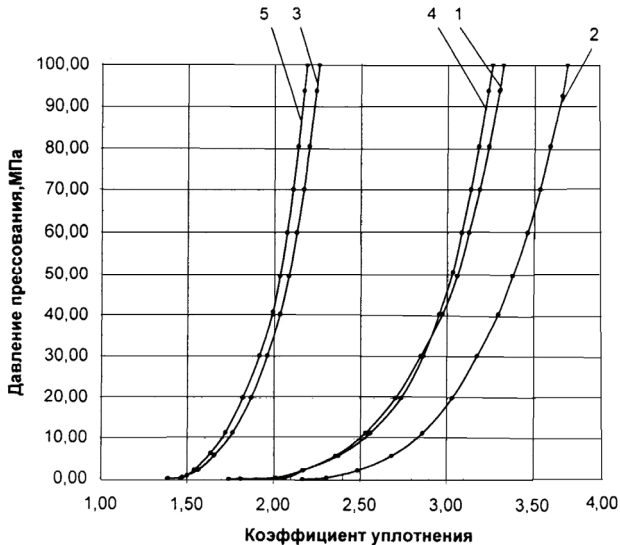


Рисунок. Зависимость коэффициента уплотнения от давления прессования для никельсодержащей пыли с различными связующими. 1. 75 % пыли + 20 % мелассы + 5 % каолина; 2. 80 % пыли + 20 % мелассы; 3. 75 % пыли + 20 % ЛСТ (жидк.) + 5 % бентонита; 4. 75 % пыли + 20 % мелассы + 5 % бентонита; 5. 80 % пыли + 20 % ЛСТ (жидк.)

Исследования показали, что рациональным является режим получения прессовок с плотностью $1,9\text{--}2,3 \text{ г/см}^3$ в диапазоне давлений прессования 40–70 МПа. Добавка бентонита к шихте на ЛСТ практически не изменяет ее жесткости, а добавка бентонита либо каолина к шихте на мелассе увеличивает жесткость \approx на 10%.

Эксперименты и приведенные зависимости показывают, что вести процесс уплотнения при давлении выше 70 МПа нерационально, т.к. рост давления уже незначительно повышает плотность прессовок, к тому же наблюдаются негативные явления (растрескивание, осыпание и т.д.), вызванные упругим последствием.

Выбор режимов прессования на валковых прессах (угол подачи шихты и др.) осуществляли с учетом полученных зависимостей $K_y = f(P)$.

Для проплавки на лабораторной базе Физико-технического института металлов и сплавов были получены опытные партии брикетов из пыли ПФК на органическом связующем и мелассе, а также из пыли с добавкой коксовой мелочи на органическом связующем. Углеродистый восстановитель вводили в брикеты с целью повышения их восстановимости при по-

следующей переработке – обработке черновым ферроникелем или обжиге во вращающейся печи.

Брикеты получали на прессах с диаметром валков как 500 мм, так и 648 мм. В первом случае формировались брикеты «пельменеобразной» формы размером 36x33x18 мм и объемом 10–11 см³, во втором – размером 40x38,5x18 мм и объемом 20–21 см³. Пресс с диаметром валков 500 мм оснащен силоизмерительной аппаратурой, регистрирующей усилие пресования. Привод пресса позволяет регулировать частоту вращения валков в пределах 0,5 – 3,0 мин⁻¹. Частота вращения валков второго пресса составляла 9 мин⁻¹. Подготовленная шихта во всех случаях имела удовлетворительную сыпучесть и хорошо сходила в валки. Выход целых, хорошо сформированных брикетов составил ~ 95%. Сырые брикеты не разбивались при падении с высоты 1 м. Плотность брикетов из пыли на ОС и М составляла 2,20–2,25 г/см³ при частоте вращения валков 3 мин⁻¹ и 2,1 г/см³ при частоте вращения 9 мин⁻¹.

Во всех проведенных опытах по брикетированию на валковых прессах не было ни малейших признаков налипания шихты на прессующие поверхности валков. Испытания показали, что введение до 20% коксовой мелочи крупностью 0–5мм практически не приводит к снижению прочности брикетов по сравнению с образцами без КМ. Так, прочность на сбрасывание по ГОСТ 25471–82 как брикетов без коксовой мелочи, так и без неё составила 95–96%. Следовательно, коксовую мелочь, а также, вероятно, и другие углеродистые восстановители можно вводить в состав брикетов из пыли ПФК для повышения их восстановимости.

Выводы.

Изложенные выше результаты позволяют сделать выводы:

1. Разработаны технологические режимы получения из никельсодержащей отходов производства ПФК брикетов с прочностными свойствами, позволяющими использовать их как в процессах обработки жидким черновым ферроникелем, так и при обжиге во вращающейся печи совместно с кусковой рудой.

2. Показано, что добавка к никельсодержащей пыли до 20% углеродистого восстановителя (коксовой мелочи) не оказывает существенного влияния на прочностные свойства брикетов и может быть использована в качестве приема для повышения восстановимости брикетов при технологическом переделе.

3. Проведенные эксперименты по брикетированию шихт на валковых прессах показывают, что технология получения брикетов из пылевидных никельсодержащих отходов может быть успешно реализована в промышленных условиях.

1. *Исследование* физико-механических свойств мелкодисперсных промышленных отходов, определяющих их поведение при брикетировании. / В.А.Носков, Б.Н.Маймур, В.И.Петренко и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*, – 1998. – № 4. – С.104–107.
2. *Экспериментальные* исследования основных параметров и режимов брикетирования мелкофракционных техногенных отходов в валковых прессах. / В.А.Носков, Б.Н.Маймур, В.И.Петренко и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*, – 1999. № 6. – С. 104–107.
3. *Опытно-промышленное* опробование брикетов из отсевов силикомарганца при выплавке среднеуглеродистого ферромарганца. / В.А.Носков, Б.Н.Маймур, В.И.Петренко и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*, – 2003. – № 2. – С.144–146.

*Статья рекомендована к печати чл.–корр.НАН Украины
В.И.Большаковым*