

УДК 669.012.001.001

**ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ФЛОТАЦИИ  
УГЛЯ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ****Ибраева О.Т., Ибраев И.К., Жаксыбаева Г.Ш.***Карагандинский государственный индустриальный университет, Караганда*

В обзоре приведены существующие способы использования техногенных углеродсодержащих материалов, в т.ч. отходов флотации обогащения каменного угля для металлургического передела. Показано, что для использования отходов флотации для металлургического передела необходимо проведение дополнительных подготовительных операций – обезвоживание и окускование. Мировой производственный опыт показывает, что использование подавляющего числа всех видов вторичных ресурсов технически осуществимо и экономически выгодно, даже при условии их подготовки в тот или иной технологический процесс. Утилизация отходов флотации в металлургическом производстве в качестве топливных, углеродистых и шлакообразующих материалов может дать значительную экономию чугуна, извести, улучшить качество выплавляемой стали, снизить расход основных и вспомогательных материалов в различных производствах комбината.

**Ключевые слова:** отход флотации угля, углеминеральный брикет, обезвоживание, химическое обезвоживание, каменноугольная смола, связующее.

**DIRECTIONS USE OF WASTE COAL FLOTATION IN METALLURGICAL  
PRODUCTION****Ibraeva O.T., Ibraev I.K., Zhaksybaeva G.Sh.***Karagandinsky State Industrial University, Karaganda*

The review presents the existing methods the use of manmade carbon-containing materials, including waste flotation the beneficiation of coal for metallurgical redistribution. It is shown that the use of waste of flotation for metallurgical repartition needed more preparatory operations – dewatering and agglomeration. World industrial experience shows that the use of the vast number of all types of secondary resources is technically feasible and economically profitable, even with their training in a particular technological process. Utilization of flotation wastes in the production metallurgicheskomo as fuel, carbon and slag-forming materials can result in significant savings of iron, lime, to improve the quality of steel, reduce the consumption of basic and auxiliary materials in a variety of plant industries.

**Keywords:** flotation waste coal, briquette plementary, dehydration, chemical dehydration, coal tar pitch, binder.

В странах СНГ при обогащении углей для металлургического производства разработка технических решений, направленных на охрану окружающей среды, большей частью велась в сторону более полного и эффективного улавливания отходов обогащения углей, и мало учитывалось комплексное использование этих отходов, образующихся в результате внедрения природоохранных мероприятий.

Отходы флотации, вследствие отсутствия простых и экономически выгодных технологий подготовки их к утилизации, а также из-за нестабильности их химического и гранулометрического составов остаются невостребованными и сбрасываются в хвостохранилища. На металлургических предприятиях стран СНГ отходы флотации утилизируются незначительно. Так, например, в хвостохранилищах №2 и №3 АО «АрселорМиттал Темиртау» на сегодняшний

день в общей сложности накоплено более 40 млн. т отходов флотации.

В то же время мировой производственный опыт показывает, что использование подавляющего числа всех видов вторичных ресурсов технически осуществимо и экономически выгодно, даже при условии их подготовки в тот или иной технологический процесс.

Подготовка отходов флотации к утилизации заключается в их обезвоживании до необходимой влажности и брикетировании в целях удобства транспортировки на дальние расстояния и подачи в энергетические агрегаты.

Проведенный литературный поиск по существующим способам обезвоживания отходов показал, что наиболее рациональные технологии обезвоживания влажных мелкодисперсных отходов предусматривают в основном применение вакуум-фильтров, а

более глубокое обезвоживание достигается при использовании фильтр-прессов различных конструкций, однако это оборудование требует больших капиталовложений. Перспективными аппаратами для обезвоживания являются центрифуги, однако они не получают широкого применения в области охраны окружающей среды на металлургических заводах из-за многих технологических трудностей.

На многих заводах для обезвоживания применяют термическую сушку, сушку на воздухе или используют осушающие реагенты, в частности, обожженную известь. Способы обезвоживания мелкодисперсных отходов известьсодержащими материалами являются достаточно изученными и распространенными, и уже давно применяются на многих предприятиях, например, на заводе в Эймейдене фирмы “Estel NV NoshHoagovens” (Нидерланды) [1], Челябинском, Криворожском и Днепропетровском металлургических комбинатах [2-4], но для обезвоживания отходов флотации данные способы не применялись.

В большинстве случаев обезвоживание влажных отходов производится путем перемешивания их с известьсодержащими материалами на специальных площадках с помощью грейферного крана. Дальнейшее распространение этого метода ведется в поиске наиболее эффективного аппарата для смешивания [5].

В мировой практике уже определены основные перспективные потребители отходов флотации, составлены рекомендации по применению отходов в различных областях промышленности. Наибольшее распространение получили следующие направления утилизации отходов флотации: использование в строительной индустрии [6]; добавка высушенных отходов в тампонажные растворы при бурении газовых скважин [7, 26, 27]; применение в сельском хозяйстве [7, 8].

К числу перспективных направлений относится использование отходов флотации в качестве топливно-энергетического потенциала. Запас тепловой энергии отходов достаточен для обеспечения работы электростанции 20 МВт. Такие отходы можно сжигать в топочных устройствах, работающих по методу “кипящего слоя”. Благодаря снижению температурного уровня сжигания до 750-8500С, в топке (НТКС) значительно уменьшается образование и выброс

в атмосферу оксидов азота, а при подаче с топливом известняка – диоксида серы [9].

На АО “АрселорМиттал Темиртау” проведены исследования по утилизации отходов флотации на ТЭЦ-ПВС, которые показали возможность их использования в качестве частичного заменителя твердого топлива [10].

На ряде предприятий были проведены исследования по замене дефицитных видов топлива альтернативными более дешевыми углесодержащими материалами (тощими углями, отходами флотации и т.д.). Так, например, на АО “АрселорМиттал Темиртау” разработан оптимальный способ окомкования с использованием в качестве топлива смеси коксика и отощенного угля. С целью снижения себестоимости агломерата и улучшения его качества на каждый процент увеличения отощенного угля отношение высоты нижнего слоя к высоте верхнего слоя увеличивается на 0,07-0,10. Результаты исследований по использованию тощих углей при агломерации лисаковского обжиг-магнитного концентрата показали, что замена коксовой мелочи тощим углем в пределах от 0 до 100% практически не сказывается на показателях процесса спекания и качестве получаемого агломерата [11, 12]. В результате получена значительная экономия от снижения себестоимости топлива.

На АО «АрселорМиттал Темиртау» проведены опытно-промышленные исследования по замене части коксовой мелочи отходами флотации на аглофабрике № 2 и проведена экологическая оценка такой замены [13]. Установлено, что при двухслойном спекании ввод в шихту 5% отходов флотации приводит к увеличению вертикальной скорости спекания на 1,3 мм/мин, удельной производительности на 0,08 т/м ч, выхода годного агломерата – 0,1%, механической прочности на удар и истирание -1,7 и 0,2% соответственно. Дальнейшее увеличение доли отходов приводит к снижению высоты верхнего слоя на 1,5 мм на 1% отходов и выхода годного.

В фасонно-литейном цехе (ФЛЦ) АО «Миттал Стал Темиртау» были проведены опытно-промышленные испытания отходов флотации в качестве теплоизоляционной заправки стальных слитков взамен применяющейся асбестовой заправки [13]. Изучена возможность применения отходов флотации в целях улучшения экологической обстановки при разливке стали и разработана

рациональная технология утепления слитков. Проведен поиск рациональных режимов ввода отходов флотации на головную поверхность слитка, исключающие науглероживание жидкого металла в изложницах и не ухудшающие показатели по выходу годного, а также позволяющие эффективно использовать тепло слабоэкзотермической реакции горения для теплоизоляции зеркала металла.

Обзор литературных источников показал широкое распространение различных способов окускования пылевидных материалов. Наиболее эффективным и часто используемым является брикетирование.

Брикетирование представляет собой процесс механической переработки мелочи в брикеты, имеющие определенные геометрическую форму, размер и массу. В результате брикетирования улучшаются качественные и теплотехнические показатели материалов, повышается сохраняемость, уменьшаются потери топлива и затраты на их перевозку.

Процесс брикетирования в мировой практике является достаточно изученным, считается наиболее эффективным и используется на многих промышленных предприятиях. Широкое распространение производство брикетов получило в угольной промышленности Германии, Австралии, где производят до 400 тыс. т/год брикетов [14].

Процесс брикетирования основан на способности рыхлых сыпучих материалов уплотняться под давлением. При прессовании мелких частиц в результате взаимодействия соприкасающихся поверхностей происходит сначала их сцепление под действием молекулярных сил. Затем выжимаемая влага из первичных капилляров внутренних слоев заполняет промежутки между частицами, тем самым создавая дополнительные силы сцепления. Таким образом прочность получаемых брикетов из частиц различной крупности будет зависеть от содержания капиллярной влаги.

В настоящее время нет способа оценки брикетируемости угля с помощью одного какого-либо показателя. Поэтому для определения брикетируемости угля проводится комплексное исследование его химических, физических свойств, а затем проводятся лабораторные исследования на брикетируемость и испытание качества получаемых брикетов.

Различают два способа брикетирования: без связующих веществ при повышенном

давлении прессования (выше 80 МПа) и со связующим веществом при малых давлениях прессования (15-25 МПа).

Стандартная технологическая схема производства брикетов складывается из ряда последовательно протекающих основных операций: приема угля, подготовки его к сушке, сушки, охлаждения сушенки, прессования и погрузки брикетов [15].

Известно использование прессования для обезвоживания, например, флотоконцентрата. В одном устройстве объединены 2 процесса: удаление влаги и получение брикетов без применения связующего компонента [16].

Обзор литературных источников показал широкое распространение брикетирования при использовании в качестве связующего смолистых веществ. При брикетировании со связующими компонентами в качестве последних наибольшее применение получили каменноугольный пек, нефтебитум.

Наряду с этим ведутся активные поиски новых видов связующих веществ. Так для удешевления топливных брикетов в качестве вяжущего применяют белитовый шлак с содержанием оксида натрия 0,8-2,2 масс.%. Так же в качестве связующего при брикетировании углей предлагались побочные продукты целлюлознобумажной промышленности – лигносульфонаты [17].

Предлагалось связующее для получения брикетов, состоящее из равных количеств среднетемпературного каменноугольного пека и каменноугольной смолы. Нагрев угля, смешение его со связующим (6-8% от брикетируемой смеси) и дальнейшее прессование осуществляют при 30-40°C. Прочность таких брикетов на сжатие составляет 24 кг/см<sup>2</sup>, прочность на сбрасывание – 83% [18].

С целью повышения механической прочности брикетов использовалось связующее, включающее каменноугольную смолу, среднетемпературный каменноугольный пек и сырой антрацен при следующем соотношении компонентов, масс. %: среднетемпературный пек 38-40, каменноугольная смола 46-49, сырой антрацен 12-14.

Для получения брикетов уголь при перемешивании нагревали до 30-40°C и вводили в него нагретое до 110-115°C связующее в количестве 7-10%. Смесь перемешивали в течение 5-6 мин, после чего выгружали из смесителя и без охлаждения массы прессовали на вальцовом прессе при давлении 250 кг/см<sup>2</sup>. Полученные брикеты имели

прочность на сжатие 75-95 кг/см<sup>2</sup> и на сбрасывание 88-95% [19].

Известно компаунд-связующее, состоящее из смеси 60-90% окисленной тяжелой пиролизной смолы и 10-40% высокотемпературного каменноугольного пека с температурой размягчения 150<sup>o</sup>C. Но применение данного связующего предусматривает обязательное охлаждение прессуемой шихты и получаемых брикетов, что значительно удорожает их производство [20].

Предложен способ получения угольных брикетов, включающий смешение угольной мелочи со связующим, состоящим из битума и кубовых остатков синтетических жирных кислот. Для повышения прочности брикетов и упрощения технологии их получения в битум вводят 1,5-2,5% кубовых остатков жирных синтетических кислот и прессование ведут при 70-75<sup>o</sup>C. Прочность брикетов составляет 38 кг/см<sup>2</sup> [21].

Известен способ получения формованных изделий из угольных шламов, заключающийся в том, что подсушенный угольный шлам смешивают со связующим в виде остатков процессов крекинга или гидрокрекинга (6 – 10% по отношению к высушенному шламу) и полученную смесь формуют в топливные брикеты под давлением 300-500 кг/см<sup>2</sup>. Недостатком этого способа является предварительная сушка шламов [22].

В целях снижения энергозатрат и упрощения технологии переработки угольных шламов высокой влажности предлагается предварительный нагрев (до температуры плавления) связующего компонента в виде остатков от вакуумной перегонки нефти (7% вес. от массы сухого угля). Во время интенсивного перемешивания к смеси подают противоточно-перегретый водяной пар температурой 250<sup>o</sup>C в количестве 1 т/час на 1 т мокрой угольной мелочи. Водяной пар вызывает нагревание угольной массы и испарение воды (до влажности 10%). Спустя 30 мин. смесь формуют под давлением 200 кг/см<sup>2</sup> [23].

В целях упрощения и удешевления переработки отходов обогащения угля предлагаются способы получения брикетов, которые могут быть использованы для производства керамики и заполнителей бетона, а также для сжигания в топках с кипящим слоем. Флотоотходы с зольностью 60-80%, крупностью 0,5-0 мм, влажностью 42% сгущают до содержания фракции до 0,1 мм 70-90 мас.%. Затем смешивают сгущенную

суспензию с сухими отходами обогащения угля фракции менее 10 мм и прессуют при 20-40 МПа в течение 10-20 с. Влажность прессуемых отходов снижается до 7,8-5,6%. Прочность колеблется в пределах 17,1-24 кг/брикет. Это практически сводит к минимуму дробление брикетов при транспортировке [23].

Существуют способы получения гранулированного материала сразу из двух видов отходов: кислых смолкок цеха ректификации и отходов флотации. Гранулирование проводится всеми известными методами. Полученные гранулы могут служить энергетическим топливом в топках ТЭЦ. Их прочность регулируется изменением соотношения твердой и жидкой фаз. Вязкопластической консистенции достигают смешивая сгущенную суспензию с продуктом их сушки – «ретуром», измельченным до < 2 мм. В исследованиях использовали шнековый смеситель-гранулятор. В зависимости от диаметра отверстий выходной решетки получали формующиеся «жгуты» различной толщины и однородными по плотности. По длине их вручную разрезают на гранулы. Влажность гранул, при которой обеспечивается их транспортировка на сушку без слипания, зависит от степени дисперсности отходов, количества и состава минеральных включений. Сушили гранулы в сушильном шкафу и в лабораторной сушилке кипящего слоя в фильтрующем режиме. Механическая прочность гранул колебалась в пределах от 30 до 50 Н для гранул диам. 8 мм.

Удержание гранул в фильтрующем потоке теплоносителя при 600<sup>o</sup>C более 2 минут приводило к их разложению и возгоранию. Таким образом гранулированные отходы флотации можно использовать в качестве топлива для топочных устройств низкотемпературного кипящего слоя. Получаемые же зольные остатки имеют химический состав, близкий к составу сырья, перерабатываемого строительной индустрией [24, 25].

Анализ литературных источников показал отсутствие какого-либо опыта использования отходов флотации на предприятиях черной металлургии.

Установлено, что утилизация обезвоженных хвостов флотации может проводиться аналогично существующим способам использования углеродсодержащих материалов. Поэтому была принята во внимание научно-техническая информация по

применению в металлургическом производстве тощих углей, близких по своим характеристикам к отходам флотации.

На Днепропетровском металлургическом комбинате в конвертерной плавке применены углеминеральные брикеты, в составе которых в разных соотношениях использовались отсева антрацита, известковая пыль, флотационный плавиковый шпат и смолистое связующее. Применение брикетов, состоящих из 50% антрацита, 50% известки и смолистого связующего 3-7%, позволило уменьшить расход известки на 5 кг/т стали и получить степень дефосфорации 94,7%. В целом применение углеминеральных брикетов позволяет повысить теплосодержание конвертерной плавки и улучшить шлакообразование [28].

На Западно-Сибирском металлургическом комбинате для изготовления углеродсодержащих брикетов применялись антрацит, угли, известковая пыль, шламы конвертерных цехов и в качестве связующего смолистое вещество.

При изучении брикетов на основе антрацита с добавками 10% известки зафиксировано уменьшение выноса мелкодисперсных частиц из конвертеров по сравнению с обычной плавкой, особенно при взаимодействии таких брикетов с жидким металлическим расплавом (в 2,7 раза). Такие брикеты не влияют на изменение интенсивности общего газовыделения и выделение отдельных газообразных компонентов и приводят к улучшению шлакообразования при ведении конвертерной плавки. Кроме того, использование в углеродсодержащих брикетах 10% известковой пыли вызывает минимальное увеличение содержания серы и снижение фосфора в металле [29].

На металлургическом заводе «Амурсталь» разработаны технологии использования карбонизатора на основе антрацита и тощего угля в сталеплавильном производстве. Применение карбонизатора в 330-т мартеновских печах позволило полностью заменить коксовую мелочь. В дуговых печах карбонизатор успешно использовался для вспенивания шлака по ходу плавки и науглероживания металла во время выпуска. Эффективным было использование карбонизатора и в качестве теплоизоляционной засыпки верхней части слитков при разливе стали в изложницы. Всесторонняя проверка показала возможность полной замены коксовой мелочи, применяющейся в метал-

лургическом производстве, угольным карбонизатором [30].

В сталеплавильном производстве, в частности в мартеновском переделе, угольные брикеты могут также использоваться в качестве углеродсодержащего компонента с целью экономии чугуна. При этом улучшается качество стали и снижается удельный расход чугуна [31].

Утилизация отходов флотации в металлургическом производстве в качестве топливных, углеродистых и шлакообразующих материалов может дать значительную экономию чугуна, известки, улучшить качество выплавляемой стали, снизить расход основных и вспомогательных материалов в различных производствах комбината. Реализация отходов флотации сторонними строительными организациями для производства строительных изделий позволит получить дополнительную прибыль. Замена природных материалов отходами флотации сохранит окружающую среду и снизит экологические платежи за ее загрязнение.

#### Список литературы

1. Иксанова Е.И. Подготовка к использованию железосодержащих шламов и пыли за рубежом // Бюлл. Черная металлургия. Черметинформация. – 1980. – № 13.
2. Прохоров В.Н. Использование отходов металлургического производства в аглодоменном переделе // Сталь. – 1983. – № 1. – С. 4-7.
3. Крижевский А.З., Мищенко И.М., Чиглинцев Н.А. и др. Улучшение качества агломерата при повышенном содержании в шихте железосодержащих отходов // Черная металлургия: Бюлл. ин-та «Черметинформация». – М., 1988. – Вып. 8. – С. 45-46.
4. Корж А.Т., Голубов А.Ф. Подготовка и использование железосодержащих шламов // Черная металлургия: Бюлл. ин-та «Черметинформация». – М., 1988. – Вып. 7. – С. 45-46.
5. Корж А.Т., Голубов А.Ф. Особенности технологии подсушки шламов известью // Черная металлургия: Бюлл. ин-та «Черметинформация». – М., 1991. – Вып. 5. – С. 49-50.
6. Яковенко А.М., Никитин И.Н. Внедрение исследовательских работ УХИНа в области утилизации отходов углеобогащения // Кокс и химия. – 1995. – № 3. – С. 25-27.
7. Варишиков В.Г., Горелов А.М., Папков Г.И. и др. Вторичные материальные ресурсы черной металлургии: справочник. – 1986. – Т. 2. – 344 с.
8. Трофимова В.Г., Устиновская С.А., Джакели Т.Н. и др. К вопросу комплексного использования отходов КХП // Научно-технический прогресс в металлургических и химических производствах. Вологодский политехнический институт, Череповецкий филиал. – Череповец, 1989. – С. 213-221.
9. Использование отходов УОФ Индии // Кокс и химия. – 1987. – № 3. – С. 61-64.
10. Разработка технологии подготовки отходов флотации КХП к использованию их на ТЭЦ-ПВС в качестве частичного заменителя топлива // Технической заключение. КарМК. – 1994. – 17 с.
11. Мусин Д.К., Калиева Р.С., Жандильдин Т.Е. Влияние использования тощих углей на показатели процесса спе-

- кания и качество агломерата. Хим.-металлург. ин-т АН КазССР. – Караганда, 1982. – 9 с.
12. Мысик А.Ф., Мирко В.А., Фролов Ю.А. и др. Способ производства агломерата // ВНИИ металлург. Теплотехники. КарМК. НИИ обогащ. и мех. обраб. полез. ископаемых Уралмеханобр. А. с. 954460, опубл.Б.И. – 1982. – № 32.
13. Ибраева О.Т., Торговец А.К., Ибраев И.К. Основные направления утилизации отходов флотации углей в металлургическом производстве: материалы Международной научно-практической конференции: «Качество образования: Менеджмент, кредитная система обучения, достижения, проблемы». – Экибастуз, 2006. – С. 272-275.
14. Тайц Е.М., Андреева И.А., Антонова Л.И. Окислованное топливо и адсорбенты на основе бурых углей. – М.: Недра, 1985. – С. 55.
15. Крохин В.Н. Брикетирование углей. – М.: Недра, 1984. – 224 с.
16. Панченко Н.И. и др. Обезвоживание флотоконцентрата прессованием // Кокс и химия. – 1989. – № 9. – С. 6.
17. Штем В.И. Способ изготовления топливных брикетов. А.с. 1818312 СССР, МКИ 5 С 10 L 5/12. № 4861598/04.
18. Ухмылова Г.С. Современное состояние и развитие процессов коксования уплотнительных шихт за рубежом // Обзор “Международная система научной и технической информации по черной металлургии”. – 1981. – Вып. 5. – С. 21-39.
19. Гриневиц И.А. и др. Связующее для получения угольных брикетов. А.с. 1114693 СССР МКИ 5 С 10 L 5/16. № 3478264/23-26.
20. Компануд-связующее на основе нефтяных и каменноугольных продуктов // Химия твердого топлива. – 1973. – № 5. – С. 117-120.
21. Юхименко А.В. Способ получения угольных брикетов. А.с. 696045 СССР, М. кл.2, С 10 L 5/16.
22. Рутковски М., Венцовска Я. Способ получения формованных изделий из угольных шламов. А.с.558934 ПНР. М. кл. 2 С 10 L 5/14. № 1621306/26.
23. Елишевич А.Т. и др. Способ переработки отходов обогащения угля. А. с. 1171510 СССР кл. С 10 L 5/48.
24. Соколова Е.М., Антонова Л.И. Получение и использование гранулированных отходов флотации углей // Кокс и химия. – 1988. – № 8. – С. 53.
25. Трофимова В.Г., Джакели Т.Н. и др. Возможность получения гранулированных углесодержащих материалов из отходов КХП. Харьковский политехнический институт. – Харьков, 1988. – 7 с.
26. Бережной А.И., Преображенский Б.П., Возный Г.Ф. Тампонажные составы, содержащие отходы обогащения // Нефтяная и газовая промышленность. – 1975. – № 2.
27. Белоножко А.М. Отходы коксхимического производства и пути их утилизации // Кокс и химия. – 1971. – № 9.
28. Демидов К.Н., Смирнов Л.А., Лопачова Н.И. и др. Использование брикетов и марганецсодержащих материалов при производстве стали в конвертерах: труды второго конгресса сталеплавателей. – М., 1994. – С. 83-86.
29. Айзатулов Р.С., Протопопов Е.В., Веревкин Г.И., Волынкина Е.П. Использование углеродсодержащих брикетов для конвертерной плавки: труды второго конгресса сталеплавателей. – М., 1994. – С. 86-88.
30. Николаев А.Л., Страхов В.М., Волынкина Е.П. и др. Использование сортового карбонизатора на основе антрацита и тощего угля в сталеплавильном производстве: труды второго конгресса сталеплавателей. – М., 1994. – С. 179-180.
31. Учитель Л.М. Энергетическая оценка различных технологий выплавки стали в конвертерах: труды второго конгресса сталеплавателей. – М., 1994. – С. 93-96.