

ПРОИЗВОДСТВО ОКАТЫШЕЙ КАК СПОСОБ УТИЛИЗАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ

И.С.Берсенов, к.т.н.; Е.С.Берсенов, А.Ю.Колясников, А.С.Лопатин

Объемы образования твердых отходов в мировом масштабе составляют 17,4 млрд.т/год [1, с.129]. Шламов и шлаков металлургического производства образуется более 600 кг на тонну стали [2, с.8], золы от сжигания угля на ТЭЦ – более 300 кг на тонну угля [2, с.6]. Вторичной переработке подвергаются лишь менее половины от общего количества отходов, а все остальное складывается на полигонах, ухудшая общее экологическое состояние промышленно развитых регионов. Большая часть этих отходов представлена мелкодисперсными компонентами, вторичное использование которых в плавильных, экстракционных процессах, или в строительстве требует окускования. Наличие технологий, обеспечивающих получение кускового продукта из мелкодисперсных отходов, позволит существенно расширить спектр производимых из отходов материалов и переведет утилизируемые материалы из отходов в ресурсы. Существующие технологии окускования представлены брикетированием, окомкованием (получением окатышей) и высокотемпературными процессами (спекание либо получение кусков из расплава). Брикетирование имеет ряд преимуществ [3], к числу которых относятся простота реализации и низкие энергзатраты. В то же время, технологии брикетирования чувствительны к свойствам исходного сырья (гранулометрический состав, влажность и др.) и свойствам связующих. Использование экструзии [4] нивелирует эти недостатки и на сегодняшний день претендует на широкомасштабную замену существующих процессов окускования [5].

Высокотемпературные процессы требуют значительных расходов энергии (за счет топлива либо электричества) и их реализации эффективна при наличии расплавов как побочных продуктов производства (например, жидкие шлаки доменных печей) [6].

Технология окомкования (производство окатышей) позволяет получать кусковый продукт из мелкодисперсных материалов с получением фракционированного материала правильной шарообразной формы. К настоящему времени эта технология используется только при производстве железорудных окатышей для черной металлургии [7]. Применение технологии окомкования для переработки промышленных отходов позволит

получить новые продукты за счет утилизации дисперсных отходов, что является актуальной технической задачей.

Целью настоящей работы является анализ возможностей применения технологии окомкования для переработки техногенных отходов.

Производство окатышей для окускования мелкодисперсных металлосодержащих отходов является одним из широко распространенных путей их утилизации. Так техническое решение, изложенное в [8], обеспечивает получение безобжиговых углеродсодержащих окатышей на известковом связующем. Ряд технических решений, изложенных в работах [9-10] предлагают использование окатышей из цинксодержащих шламов черной металлургии с утилизацией цинка путем возгонки (вельц-процесс). Конечными продуктами переработки служат цинковый концентрат и металлизированные окатыши, использование которых возможно в доменном процессе. Еще одним решением по использованию окатышей из цинкосодежащих компонентов является жидкофазное восстановление по технологии Птк3, в ходе которой окатыши подвергаются термообработке в печи с вращающимся подом. Конечными продуктами технологического процесса в этом случае являются чугуны и обогащенный цинком шлак.

Технология окомкования может быть применена и при утилизации «красных шламов» - отходов производства бокситов. По последним данным ежегодно образуется около 140 млн. т красных шламов, на долю России приходится 8,5 млн. т. Ежегодный прирост только по одному из заводов составляет порядка 800 тыс. тонн. Шламовые поля занимают десятки тысяч гектаров земли в районе эксплуатации глиноземного производства [12]. Такие свойства красного шлама как большая удельная поверхность и благоприятное сочетание оксидов и гидроксидов металлов позволяет использовать его и при окомковании железных руд и концентратов [14, с.123]. В работе [13] проведена серия экспериментов по замене бентонита при окомковании окатышей красным шламом. Показано повышение металлургических свойств окатышей при добавлении 2% шлама в шихту окатышей и снижении содержания бентонита до 0,3%. К преимуществу использования красного шлама вместо бентонита относится также меньшее разубоживание концентрата вследствие более высокого содержания железа в шламе (45 % Fe) по сравнению с бентонитом (5-6 % Fe). По влиянию на прочностные характеристики сырых и сухих окатышей добавка 3 % красного шлама примерно идентична 1 % бентонита

При изучении влияния добавок красного шлама на металлургические характеристики окомкованных окатышей из обжиг-магнитных Лисаковских концентратов установлено, что его добавки в количестве 5 % от веса концентрата в два раза повышает прочность окатышей,

снижает температуру начала размягчения и незначительно влияет на интервал размягчения [15]. В США из красных шламов производили окатыши [16]. На примере красных шламов установлена возможность получения из них качественных по прочности и пористости частично металлизированных окатышей.

Кроме металлургических шламов и пылей, значительные объемы мелкодисперсных отходов формируются при сжигании углей и других органических топлив. Химический состав золы представлен, в основном, оксидами кремния, кальция, алюминия, железа, что делает возможным использование ее для производства строительных материалов. Авторами было исследовано два направления утилизации: производство волокнистых теплоизоляционных материалов (базальтоподобного волокна) и производство искусственного заполнителя для бетона.

Минеральные отходы (зола) от сжигания осадка сточных вод могут быть использованы в качестве сырья для получения волокнистых строительных материалов (плита, маты, и др.) [17]. Получение расплава из золы без предварительного окускования (как в шахтных, так и в пламенных печах) неэффективно. Поэтому необходимо гранулирование золы, представленной мелкодисперсным порошком фракции 1,2...0,045 мм с насыпной плотностью 0,60...0,65 м³/т. Химический состав золы представлен в таблице 1.

Таблица 1 Химический состав золы от сжигания сточных вод

Содержание компонентов, %									
MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	Проч.
4,14	20,8	46,7	12,9	0,49	1,63	4,44	0,49	7,88	0,53

Для окускования была выбрана технология получения безобжиговых окатышей с использованием в качестве связующего вещества цемента [18]. Был выбран именно цемент, так как нужно исключить обжиг и удорожание продукции за счет термообработки гранул, а также потому, что его использование не ухудшает химический состав расплава (несущественно снижает модуль кислотности, в отличие, например, от извести). Кроме золы и цемента в некоторые пробы окатышей был добавлен железорудный концентрат с целью коррекции плотности окатышей и их химического состава. Дозировка цемента составила 15%, воды 7,5%, золы 67,5% при добавке концентрата (10%) и 77,5% без использования железорудного концентрата.

Грануляция полученных шихт производилась на лабораторном барабанном окомкователе. У окатышей годного класса определялась влажность, прочность на

сбрасывание (с высоты 500 мм), прочность на сжатие в сыром состоянии и сухом (после вылеживания 3 суток). Такой срок вылеживания окатышей был выбран на основании предварительных предпроектных проработок (с учетом ожидаемой производительности плавильного агрегата, ритмичностью поставок сырья, емкости склада и др.). Очевидно, что при вылеживании более этого срока, прочность окатышей вырастет по мере завершения формирования структуры цементного камня. Прочность сырых окатышей составила $3,99 \div 5,06$ Н/окатыш. У сухих окатышей прослеживается тенденция увеличения прочности окатышей в среднем в 12 раз (до $47,09 \div 64,61$ Н/окатыш), в связи с тем, что за время вылеживания происходит твердение цементного камня. На процесс плавки существенно влияет плотность окатышей: чем выше плотность, тем прочнее структура окатыша и больше производительность плавильного агрегата (выход расплава с единицы рабочего объема печи).

Плотность окатышей всех проб изменяется незначительно ($2,35 \dots 2,45$ т/м³), максимальная плотность наблюдается в пробе с добавкой железорудного концентрата в шихту, который увеличивает плотность материала, так как истинная плотность концентрата ($\rho_{\text{конц}} = 4,952$ т/м³) существенно выше истинной плотности золы ($\rho_{\text{золы}} = 1,052$ т/м³). Плотность сухих окатышей уменьшается (в сравнении с сырыми) в среднем на 1,1 раз, что связано с усадкой при твердении цементного камня. Полученные окатыши были проплавлены в лабораторной пламенной печи, при этом была подтверждена возможность получения из них волокна, пригодного для получения теплоизоляционных плит (плотностью порядка 150-200 кг/м³). Для объективной технико-экономической оценки необходимо проведение опытно-промышленных испытаний по получению и проплавке полученного окускованного сырья.

Кроме окускования сырья для плавки, окатывание может быть использовано для получения искусственных заполнителей для бетона. Так, получение безобжиговых окатышей на цементной связке позволяет получить искусственный гравий с прочностью 5,6..6 МПа [19]. Экспериментальные исследования процесса получения окатышей из золы со следующим составом (таблица 2), были проведены авторам настоящей работы.

Таблица 2 Химический состав золы

№ п/п	Компонент	Содержание, %
1	SiO ₂	57,7
2	CaO	2,39
3	CaO _{своб.}	<0,1

4	MgO	0,88
5	Fe ₂ O ₃	5,56
6	Al ₂ O ₃	26,4
7	SO ₃	0,23
8	K ₂ O	0,47
9	Na ₂ O	0,34
10	ппп	1,32

В ходе исследований были исследованы возможности получения искусственного заполнителя для бетона из золы с использованием цемента (проба 1 и проба 2) и с использованием цемента и армированием окатышей минеральным волокном (проба 3 и проба 4). Также были получены окатыши из золы и бентонита (доля бентонита 0,6% и 1,0 для проб пробы №5-6 и №7, соответственно), обожженные электрической печи с силитовыми нагревателями. Нагрев и охлаждение пробы производился со скоростью 70°С/мин, максимальная температура обжига составила 1200°С, выдержка при максимальной температуре – 3 минуты. Результаты исследований приведены в таблице 3. Плотность определяли по ГОСТ Р ЕН 1602-2008; прочность на сжатие по ГОСТ 24765-81 (Н/ок) и ГОСТ 9757-90 (МПа).

Таблица 3. Результаты исследований

№ п/п	Фракция, мм	Прочность, Н/ок	Насыпная масса, кг/м ³	Плотность, кг/м ³
1	10-12	579,6	872	1620
2	12-15	617,3	862	1599
3	10-12	473,7	838	1620
4	12-15	507,0	818	1529
5	10-12	692,3	675	1250
6	12-15	1348,4	725	1342
7	10-12	1126,3	678	1256

Все пробы были представлены зернами округлой формы, с плотной структурой и наличием мелких пор. Для проб №№1-4 характерна влажность 6,1...8,0%, для проб №№5-7 влажность составила 0,1%. Водопоглощение гравия составило 22,3...23,2%. Как видно из результатов проведенных исследований, из золы возможно получить фракционированный

гравий шарообразной формы, с прочностью на сжатие до 11 МПа и насыпной массой менее 700 кг/м³. Такой гравий может быть использован как заполнитель для бетонов, в том числе высокопрочных. При этом гравий, полученный с использованием технологии обжига характеризуется повышенной прочностью и низкой плотностью, что позволяет считать его перспективным материалом для получения специальных видов бетонов. Развитие данного направления (повышение прочности гравия, снижение плотности, разработка рациональных технологических схем производства) составляет предмет дальнейших исследований авторов.

Кроме изложенных результатов, по мнению авторов, перспективными направлениями применения технологии окатывания могут служить промышленные технологии, потребляющие значительное количество фракционированного кускового сырья шарообразной формы: засыпки для различных тепло-масообменных агрегатов (при очистке газов, теплообменных агрегатах), рабочие тела с заданной прочностью и размером, плавильные процессы и другие.

Например, авторами данной работы были получены опытные пробы гранулированных минеральных и органо-минеральных удобрений из золы и ила. Технология получения была аналогична пробам гравия, при это удалось получить гранулы класса 1-5 мм, состоящие из 60-80% из ила или золы и на 35-15% – минеральные наполнители (фосфор-калийсодержащие). В качестве связующего были использованы цемент либо лигносульфонат в дозировке 4-10%. Испытания прочности по ГОСТ 21560.2-82 на приборе ИПГ-1 выявили прочность гранул 2-3 МПа, что соответствует требованиям к гранулированным удобрениям. Реализация технологии получения такой продукции позволит существенно снизить нагрузку на окружающую среду за счет сокращения выбросов твердых отходов и обеспечить рекультивацию занятых полигонами твердых отходов площадей.

Выводы. Полученные результаты свидетельствуют, что технология окомкования является весьма эффективным способом утилизации мелкодисперсных техногенных отходов, при этом возможно получение сырья для черной и цветной металлургии, производства волокнистых строительных материалов и искусственного щебня (заполнителя бетона). Кроме того, технология окомкования может быть использована в промышленных технологиях, потребляющих значительное количество фракционированного кускового сырья, что обуславливает перспективы ее дальнейшего развития. В частности, авторами получены пробы перспективной товарной продукции

(гранулированных органо-минеральных удобрений и заполнителя для бетона), удовлетворяющих современные требования соответствующих отраслей промышленности.

Библиография

1. Экология: учебник. Изд 2-е, перераб. И доп./ В.Н.Большаков, В.В.Качак, В.Г.Коберниченко и др.; Под ред. Г.В.Тягунова, Ю.Г.Ярошенко. – М.: Логос, 2005. – 504 с.
2. Сборник удельных показателей. Образование отходов производства и потребления/ Государственный комитет Российской Федерации по охране окружающей среды, 1999г., 67 с.
3. Равич Б.М. Брикетирование в цветной и черной металлургии. М. : Металлургия, 1975. 232 с.
4. Брэксы – новый этап в окусковании сырья для доменных печей / И.Ф.Курунов, А.М.Бижанов // Металлург, 2014, №3, с.49-53
5. Обоснование выбора технологии производства и исследование металлургических свойств брикетов с целью повышения эффективности их использования в экстрактивных процессах черной металлургии: дисс. канд.техн. наук: 05.16.02 Бижанов Айтабер Махачевич: МИСиС. – М.2016, 152 с.
6. Металлургия чугуна / Вегман Е.Ф., Жеребин Б.Н., Похвиснев А.Н. и др . М.: ИКЦ Академкнига. 2004. С.313-316.
7. Бережной, Н. Н. Производство железорудных окатышей / Н. Н. Бережной, В. В. Булычев, А. И. Костин // М. : Недра. – 1977. – С. 20 – 26.
8. Способ безобжигового окускования металлсодержащих пылей и шламов/ В.Е.Никольский, А.В.Савин, Б.С.Абезгауз, В.А.Спирин, В.В.Конюхов, С.И.Иваница. Пат.РФ №2473706, С22В 1/242, Заявл.: 2010125716/02, 24.06.2010, опубл.: 27.01.2013 Бюл. № 3. 9 с.
9. Принципы выбора оптимальной технологии утилизации цинксодержащих металлургических отходов / Бардавелидзе Г.Г., Гараева Е.А., Горбачев В.А., Кашин В.В., Полуяхтов Р.А., Хлопотунов Ю.Б. // Сталь, №9, 2010г., с.19-22
10. Козлов П.А. Вельц-процесс / П.А.Козлов, М.: Руда и металлы, 2002. – 176 с.
11. Панишев Н. В., Бигеев В. А., Черняев А. А. Переработка мелкозернистых отходов металлургического производства с получением гранулированного чугуна и извлечением

- цинка. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им Г.И. Носова. 2013. № 4. С. 26 – 29.
12. Review on treatment and utilization of bauxite residues in China. Wanchao Liu, Jiakuan Yang, Bo Xiao. International Journal of Mineral Processing. Volume 93, Issues 3–4, 8 December 2009, Pages 220–231
13. Бакумова Н.В., Варгина О.А. Использование красного шлама в шихте железорудных окатышей/ Известия вузов. Черная металлургия. 1989, №7, 20-21
14. Формирование нового технологического облика металлургического комплекса региона / О.А.Романова, Е.Н.Селиванов, Г.Б.Коровин – Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2014. – 234 с.
15. Бахтубаева С.С, Жандильдин Т.Б., Рахимов А.Р., Нурмаганбетов Х.Н. Влияние добавок красного шлама на прочность и температуру размягчения офлюсованных окатышей. «Сб.статей аспирантов и соискателей «Металлургия и обогащение». Алма-Ата, 1967, № 3.
16. Гагарина И.М., Мещерякова Н.И., Яковлев Л.С. Производство частично металлизированных окатышей из красных шламов (Реф. статьи из кн.: «Eng. and Minig I», 1971, у. 172, № 9. Бюлл. ЦИИН «Черная металлургия», 1972, № 19.
17. Получение окускованного сырья из золы от сжигания осадка сточных вод / А.Ю.Колясников, А.Д.Анисимов, И.С.Берсенев //Труды Конгресса с международным участием и Конференции молодых ученых «Фундаментальные исследования и прикладные разработки процессов переработки и утилизации техногенных образований (ТЕХНОГЕН-2017)», V Форума «Уральский рынок лома, промышленных и коммунальных отходов». – Екатеринбург: УрО РАН, 2017. с.484-486
18. Лотош В.Е. Безобжиговое окускование тонкодисперсных материалов и мелочи полезных ископаемых. - Екатеринбург: ИД «Филантроп», 2009. - 525 с.
19. Об утилизации отходов тепловых электростанций г.Читы / О.В. Матафонова // Горный информационно-аналитический бюллетень, Семинар № 10, 2007, с.218-220.

Аннотация

ПРОИЗВОДСТВО ОКАТЫШЕЙ КАК СПОСОБ УТИЛИЗАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ

И.С.Берсенеv, к.т.н.; Е.С.Берсенеv, А.Ю.Колясников, А.С.Лопатин

Технология окомкования является весьма эффективным способом утилизации мелкодисперсных техногенных отходов, при этом возможно получение сырья для черной и цветной металлургии, производства сырья для волокнистых строительных материалов, искусственного щебня (заполнителя бетона) и другие материалы. Кроме того, технология окомкования может быть использована в промышленных технологиях, потребляющих значительное количество фракционированного кускового сырья, что обуславливает перспективы ее дальнейшего развития.

В частности, авторами получены пробы перспективной товарной продукции (гранулированных органо-минеральных удобрений и заполнителя для бетона), удовлетворяющих современные требования соответствующих отраслей промышленности.

Ключевые слова

Утилизация отходов, грануляция, окомкование, зола, шлак, шлам