

УДК 663.1.054.82

В.П. НАДУТЫЙ, д-р техн. наук

(Україна, Дніпр, Інститут геотехнічної механіки НАН України),

К.С. ЗАБОЛОТНИЙ, д-р техн. наук,

В.Ф. ГАНКЕВИЧ, канд. техн. наук

(Україна, Дніпр, Государственное ВУЗ "Национальный горны университет"),

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОТВАЛЬНЫХ ДОМЕННЫХ ШЛАКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБОГАТИТЕЛЬНОГО ПЕРЕДЕЛА

За время эксплуатации горных и металлургических предприятий в Украине накопилось огромное количество промышленных отходов в виде отвалов. В то время, когда в стране ощущается острая нехватка строительных материалов, только горно-обоганительные комбинаты ежегодно выбрасывают в отвалы до 1,5 млрд. тонн кварцевой горной массы, металлургические заводы также имеют отвалы из шлака, и все это является превосходным сырьем для производства широкого спектра строительных материалов. Например, использование в строительстве конструкций, изготовленных на основе легких наполнителей, увеличивает их тепло- и звукоизоляцию. Из таких материалов наиболее легкодоступными, недорогими и экологически чистыми являются щебень и пемза из огненно-жидких доменных шлаков.

Однако в настоящее время из общего объема перерабатываемых шлаков лишь незначительная часть перерабатывается в щебень, еще меньше – в пемзу (термозит). В то же время такие технологии переработки уже существуют и особенно широко используются в зарубежной практике. Достаточно сказать, что в США и Канаде созданы национальные шлаковые компании, во Франции – Техническая ассоциация по изучению и использованию доменных шлаков, в Англии – Британская ассоциация шлака. В Германии шлаковую продукцию получают непосредственно на металлургических заводах [1].

Учитывая то, что Украина имеет достаточный научно-технический потенциал для разработки технологии переработки металлургических шлаков и существует практический опыт предприятий (например, заводов "Азовмаш" и им. Петровского), задача разработки технических решений по переработке отвальных шлаков (принимая во внимание ее актуальность) является решаемой.

Среди металлургических шлаков преобладают доменные, являющиеся побочным продуктом – отходом производства чугуна в доменных печах. Увеличение производства чугуна вызывает неизбежный рост выпуска доменных шлаков, составляющих для сравнения 45-60% от выпуска чугуна [2]. На долю доменных шлаков приходится более 70% от общего количества шлаков, получаемых в металлургическом производстве.

За последние годы насчитывается более 2,0 млрд. тонн накопленных шлаков [3], что вызвало ряд сложных экологических проблем, привело к значительному изъятию из землепользования ценных угодий, нарастанию ущерба государственной экономике. Все это резко увеличивает актуальность проблемы полной переработки металлургических шлаков, рационального использования получаемых

продуктов и перехода на безотходные технологические схемы металлургического производства. Необходимость рассматривать шлаки как один из основных видов продукции доменного производства обусловлена тем, что металлургические шлаки по своим физико-механическим свойствам не только не уступают, но и в ряде случаев превосходят заменяемых ими природные материалы. Так как шлаки образуются из пустой породы железорудной горной массы, флюсов, золы, топлива, а также продуктов окисления металла и примесей, суммарное содержание оксидов кальция, железа и кремния в шлаках до-стигает 75% [4]. Это предопределяет широкие перспективы использования металлургических шлаков.

Разработка схемного решения технологии переработки доменных шлаков определяется требованиями к конечным продуктам. Эти шлаки частично используются при производстве различных строительных материалов и в цементной промышленности при производстве шлакопортландцементов (ШПЦ) в качестве добавок к основному и дорогостоящему компоненту портландцемента (ПЦ) – клинкеру. Это приводит к некоторому снижению себестоимости ШПЦ по сравнению с ПЦ. В мировой и отечественной практике при производстве клинкера используются природные материалы, добыча которых экономически затратна, что значительно повышает стоимость цемента. Использование же вторичного сырья в виде доменных шлаков в несколько раз снижает себестоимость вяжущих материалов.

В работе [5] было установлено, что измельченные шлаки до удельной поверхности $S \geq 0,6 \text{ м}^2/\text{г}$ и при определенном грансоставе повышают активность до $300 \text{ кг}/\text{см}^2$, а при последующей механоактивации – до $400 \text{ кг}/\text{см}^2$. При этом полученные продукты по прочностным характеристикам соответствуют цементам марок М300 и М400 и являются бесклинкерными вяжущими материалами. Результаты экспериментов полностью подтвердили возможность получения клинкера из отходов производства – отвальных шлаков комбинатов "Азовмаш" и "хвостов" из известняка Комсомольского рудоправления. Выполнен ряд исследований [5], которые указывают на целесообразность утилизации шлаков для получения дешевых вяжущих материалов, способных заменить цемент. Однако недостаточно исследовано влияние грансостава после тонкого (шарового) дисперсного (струйного) измельчения и тонкого грохочения, при котором шлаки приобретают наибольшую активность. Поэтому в разрабатываемой схеме должны быть предусмотрены эти операции.

В предыдущих исследованиях [6] установлено, что в процессе хранения в отвалах происходит реструктуризация шлаков, и они приобретают менее активную кристаллическую структуру. Поэтому предложена и исследована возможность получения клинкера из вторичного сырья в виде не пригодных для аглодоменного производства отвальных шлаков и "хвостов" известняка (фракции менее 10 мм), который находится в отвалах Комсомольского рудоправления в количестве десятков миллионов тонн. Экспериментальные исследования такой двухкомпонентной смеси (шлак + известняк из отходов) показали, что предварительно измельченная смесь полученного вяжущего составила $500\div 600 \text{ кг}/\text{см}^2$ и полностью подтвердили возможность получения клинкеров из отходов производства – отвальных шлаков и "хвостов" известняка.

Таким образом, предварительная технология переработки доменного шлака отличается тем, что предусматривает использование шлаков не как балласт-

ного матеріала (наполнителя), а как матеріала дл получения из него активного вяжущего, заменяющего цемент. Для этого необходимо получить требуемую по технологии крупность шлака для производства цемента, и методом обогащения извлечь железо и цветные металлы из конечных продуктов переработки.

Создаваемая технологическая схема относится к переработке доменных шлаков, содержащих значительное количество металла в виде сплавов, огарков, офлюсованных слитков. Среди металлических включений находятся и цветные металлы. Схема может быть адаптирована для переработки шлакоотвалов различных металлургических заводов с учетом производительности участка, номенклатуры и требований к конечной продукции, минералогического и структурного анализа шлака в отвале.

При разработке схемы преследовалась цель: указать перспективность, возможность и подбор технологических операций для комплексной безотходной переработки доменного шлака и подбор соответствующего оборудования для обеспечения требуемой производительности и увеличения объемов вовлечения в переработку шлака требуемой фракции и со стабильным химическим составом. При этом необходимо обеспечить наиболее полное извлечение магнитного компонента шлака и металлоконцентрата различных фракций, из которого можно изготовить заготовки для дальнейшего использования в металлургическом процессе в качестве вторичного сырья. При наличии в шлаке цветных металлов необходимо обеспечить их извлечение, особенно если в переработку вовлекаются шлаки после мартеновской плавки металлолома.

Общий вид рекомендуемой схемы переработки шлака показан на рис. 1, где исходный продукт 1 в виде кусков шлака подается в бункер 2, а вибропитателем 3 – на колосниковый грохот 4. Подрешетный продукт (-300 мм) подается на щековую дробилку 5, а более крупные куски (+300 мм) – на щековую дробилку 6. Продукты дробления поступают на ленточный конвейер 7, оснащенный на разгрузке железоотделителем 8, и далее для последующей классификации – на виброгрохот 9. Надрешетный продукт грохота (+40 мм) додрабливается двухвалковой дробилкой 10, а подрешетный продукт (-40 мм) поступает на ленточный конвейер 11. Продукты дробления дробилки 10 также направляются на ленточный конвейер 11, оснащенный в разгрузочной части железоотделителем 12. Шлак крупностью 40÷20 мм поступает на виброгрохот 13 для отделения шлака крупностью -20 мм, а шлак крупностью -40+20 мм через железоотделитель 14 ленточным конвейером 15 в виде шлакового щебня является готовым продуктом 23 для дальнейшей переработки и изготовления цемента. Подрешетный продукт виброгрохота 13 крупностью -20 мм поступает на двухвалковую дробилку 16, продукты дробления которой крупностью -5,0 мм поступают на электромагнитный сепаратор 17 для отделения мелких фракций в виде железного концентрата, подаваемого на валковый пресс для брикетирования. При содержании в силикатной части шлака цветных металлов 20 (медь, алюминий) после магнитного сепаратора 17 этот продукт поступает для их извлечения на электростатический сепаратор 18, и очищенный от металлов шлак в виде мелкого щебня отправляется для производства цемента.

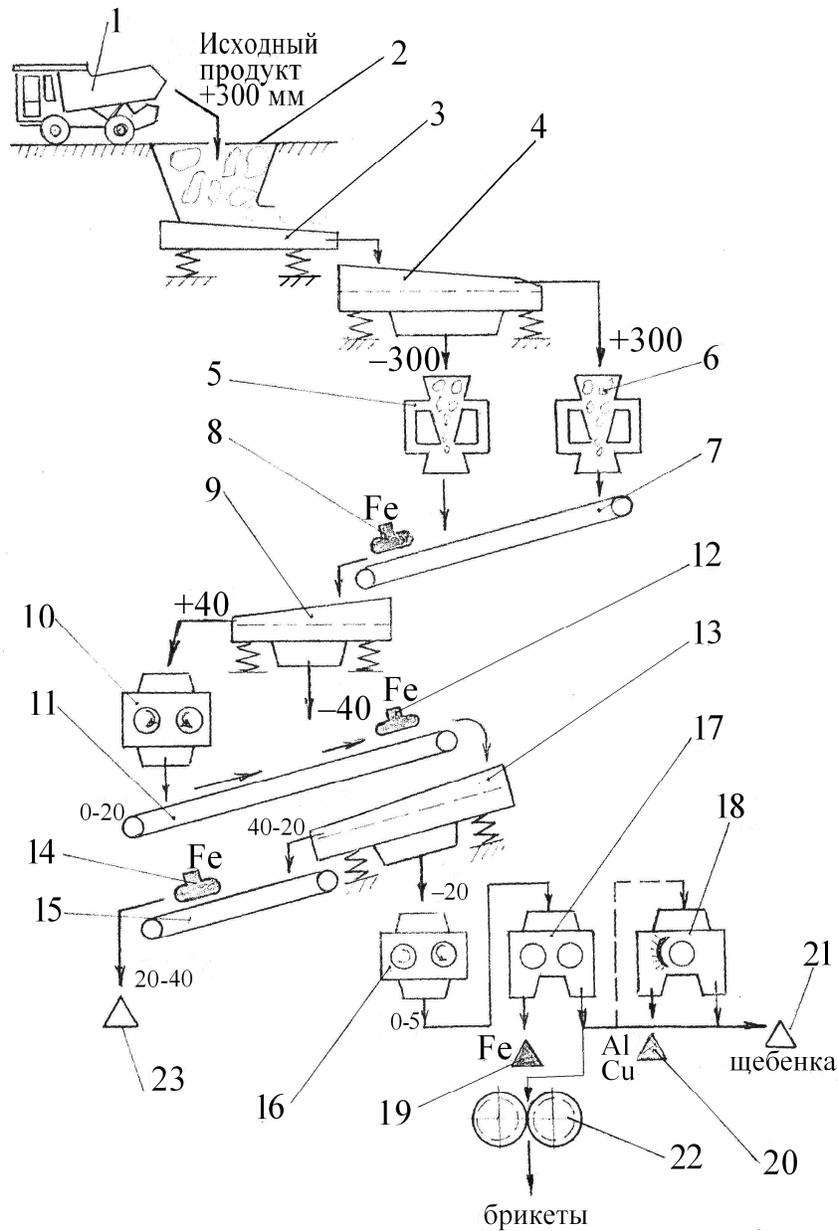


Рис. 1. Рекомендуемая схема комплексной переработки металлургического шлака

Варианты установки железоотделителей в местах разгрузки конвейеров показаны на рис. 2 с вариантами относительно ленты конвейера: вдоль или поперек. При этом расположение вдоль предпочтительнее, поскольку железные включения улавливаются в момент свободного падения, что повышает эффективность работы железоотделителя, а очищение шлака от железа в этом случае – более полное.

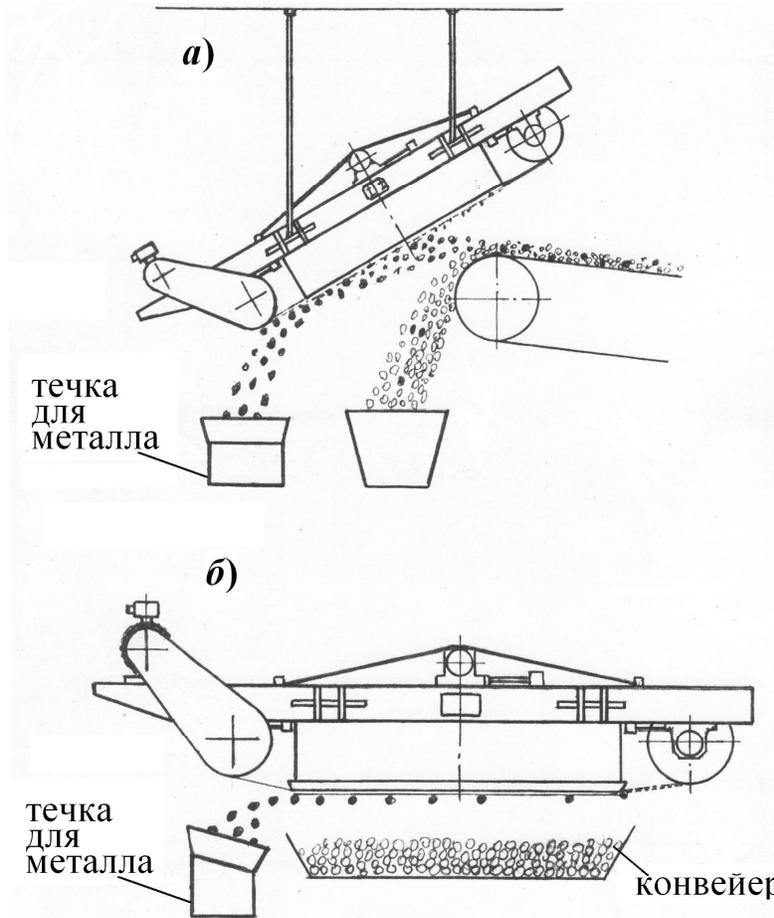


Рис. 2. Установка железотделителя ЭЖС-100/40 вдоль ленты конвейера (а), установка железотделителя ЭЖС-100/40 поперек ленты конвейера (б)

В предложенной схеме учитывалась возможность переработки отвального доменного шлака в пределах следующих требований:

- 1) производительность по исходной загрузке до 100 т/ч;
- 2) в переработку вовлекаются куски шлака размером до 500 мм;
- 3) обеспечение отбора металла из шлака на разных стадиях его переработки; при этом учитывалось, что содержание металла в исходных шлаках может быть до 40%;

4) продуктами переработки шлака могут быть: щебень фракции 20÷40 мм, мелкий отсев фракции до 5,0 мм и извлеченный металл; при этом обеспечивается наиболее полное извлечение металлических включений во всех фракциях шлакового щебня, вплоть до остаточного содержания не более 5%;

5) обеспечить получение заготовок из металлоконцентрата крупностью до 5,0 мм, удобных для транспортирования, хранения и повторного применения с содержанием железа не менее 75%;

6) предусмотреть возможность отделения цветных металлов из шлака, присутствие которых вероятно, если в отвале находятся шлаки мартеновского передела.

Загальні питання технологій збагачення

Предложенная схема с учетом масштабного фактора по производительности и крупности исходного шлака апробирована в лабораторных условиях в виде стендовых испытаний. При этом использовались шлаки нескольких металлургических заводов. Получены положительные результаты.

Выводы

Разработанная технологическая схема переработки техногенных отвальных доменных шлаков обеспечивает комплексное безотходное поэтапное извлечение полезных компонентов в виде шлакового щебня, используемого для производства цемента, металлоконцентрата, который вместе с флюсом и связующим представляет собой брикеты, готовые к повторному использованию в металлургическом процессе. Схема предусматривает извлечение цветных металлов. Наполнение схемы соответствующим исходным требованиям оборудованием позволяет адаптировать ее к конкретным условиям эксплуатации и особенностям отвальных шлаков.

Список литературы

1. Кравченко В.П. Обоснование параметров струйного измельчения при переработке и обогащении доменных шлаков: Дисс. ... к.т.н. – Днепр: НГУ, 2014. – 210 с.
2. Кравченко В.П., Пилов П.И., Горобец Л.Ж., Прядко Н.С. Рациональный вариант переработки доменных шлаков // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2010. – Вип. 40(81). – С. 186-191.
3. Кравченко В.П., Ганкевич В.Ф., Киба В.Я. Вспененные шлаки, получение и применение // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2015. – Вип. 61(102). – С. 75-80.
4. Довгопол В.И. Использование шлаков черной металлургии. – М.: Металлургия, 1978. – 106 с.
5. Кравченко В.П. Влияние гранулометрических характеристик на гидравлическую активность шлаков // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2012. – Вип. 50(91). – С. 56-60.
6. Кравченко В.П. Гранулометрические характеристики и активность порошков доменных шлаков // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2013. – Вип. 52(93). – С. 52-58.

© Надутий В.П., Заболотний К.С., Ганкевич В.Ф., 2016

Надійшла до редколегії 10.06.2016 р.

Рекомендовано до публікації д.т.н. В.П. Франчуком