

Эффективная технология переработки ванадиевого шлака с использованием центробежно-ударной дезинтеграции*

Артамонов А.В.¹, Гаркави М.С.¹, Колодежная Е.В.¹, Шадрюнова И.В.², Горлова О.Е.³

¹ ЗАО «Урал-Омега», г. Магнитогорск, Россия, e-mail: info@uralomega.ru;

² ФГБУН ИПКОН РАН, г. Москва, Россия, e-mail: shadrunova@mail.ru

³ ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия, e-mail: gorlova_o_e@mail.ru

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №13-05-00008.

Шлаки как побочные продукты металлургического производства являются наиболее многотоннажными отходами, накопление которых связано с необходимостью изыскания свободных территорий для их складирования, высокими издержками на их транспортирование, складирование и принятием определенных мер защиты окружающих территорий от их негативного влияния. Вместе с тем существуют специализированные процессы металлургического производства, в которых получаемые шлаки являются не отходами производства, а товарной продукцией. К таким шлакам относятся ванадиевые конвертерные шлаки Нижнетагильского металлургического комбината (ЕВРАЗ НТМК). При переработке железованадиевых концентратов Качканарского горно-обогатительного комбината (ЕВРАЗ КГОК) (62-63% Fe, 0,6-0,7% V₂O₅) на Нижнетагильском металлургическом комбинате по специальным технологиям получают в доменном переделе ванадиевый чугун (0,55-0,6% V₂O₅), а в конвертерном переделе при деванадации чугуна – ванадиевый шлак и первородную конвертерную сталь, природно-легированную ванадием. Получаемый конвертерный шлак, содержащий 14-24% V₂O₅, является товарной продукцией комбината и сырьём для получения пентаоксида ванадия на предприятии ЕВРАЗ Ванадий Тула по сложной гидрометаллургической технологии. Рост спроса на ванадий на мировом рынке при ограниченных объемах добычи и производства этого элемента гарантирует востребованность ванадиевых шлаков и их наиболее полную переработку.

Объектом исследования послужил ванадиевый шлак ОАО «ЕВРАЗ НТМК», технология переработки которого должна обеспечивать получение обезжелезненного молотого ванадиевого шлака с массовой долей железа дисперсного до 1,5%. Согласно требованиям к фракционному составу молотый ванадиевый шлак должен иметь крупность 0 – 0,16 мм, при содержании зерен размером 0 – 0,1 мм не менее 95,0% и содержании зерен размером 0 – 0,07 мм не менее 50,0%.

По данным ОАО «ЕВРАЗ НТМК» кусковой товарный ванадиевый шлак, прошедший стадию первичного дробления до крупности 200 мм, имеет следующий химический состав, %: 24,3 V₂O₅; 1,8 CaO; 13,8 MnO; 12,8 SiO₂; 8,4 TiO₂; 4,1 Cr₂O₃; 1,8 MgO; 0,019 P; 15 – 30 металловключений. При минералогическом анализе аншлифов шлака визуально выделены две основные фазы металлическая и силикатная шлаковая. Зерна металловключений имеют преимущественный размер от 0,5 до 10 мм. Результаты определения массовой доли металловключений в исходной пробе шлака по ТУ 14-11-178-86 показали, что испытываемая проба шлака содержит 35,8% металловключений. Электронно-микроскопическими исследованиями установлено, что основными фазами шлака являются рудная, в которой находится большая часть ванадия в виде ванадиевого шпинелида, силикатная и металлическая. Силикатная часть представлена орто- и метасиликатами и диоксидом кремния. В результате кристаллизации шпинелиды имеют характерную особенность микроструктуры – размер зерен шпинели 0,005–0,05 мм.

Приоритетной задачей при переработке шлаков также является разработка технологических схем, основанных на использовании сухих операций на всех стадиях рудоподготовки и обогащения, что позволит значительно упростить всю технологическую цепочку, избежать необходимости организации водно-шламового хозяйства и организовывать мобильные технологические линии по переработке шлаков по месту их складирования.

Для переработки ванадиевого шлака и достижения качественно-количественных показателей готовой продукции в виде обезжелезненного молотого порошка была предложена схема переработки с использованием центробежно-ударной техники для дезинтеграции и сухой магнитной сепарации для обезжелезнения шлака. Из исходного кускового товарного шлака были выбраны крупные куски металла, выход которых составил 15,4% от общей массы пробы, и согласно методике, указанной в ТУ 14-11-178-86, металловключения данной фракции в определение количества металла в пробе шлака не были включены. Освобожденный от кускового металла шлак дробится в первой стадии в щековой дробилке до крупности 50 мм, во второй стадии – подвергается дезинтеграции в центробежно-ударной дробилке ДЦ (с футеровкой из дробимого материала) производства «Урал-Омега», работающей в замкнутом цикле с грохотом с сеткой с размером ячейки 5 мм. Скорость вращения укорителя составила 70 м/с. При дроблении шлака в центробежно-ударной дробилке и последующем грохочении происходило накопление в надрешетном продукте видимых недробимых кусков металловключений, которые были отобраны вручную.

В аппаратах центробежно-ударного дробления происходит селективное разрушение техногенных фаз, обладающих различным сопротивлением удару (хрупкостью и твердостью). Поэтому данный метод разрушения является рациональным для дезинтеграции металлургических шлаков, состоящих из силикатных фаз, армированных металлическими включениями (рудными минералами), и являющихся композитным сырьем техногенного происхождения. При определении микротвердости фаз шлака по Виккерсу было установлено, что рудная и силикатная фазы имеют значительные различия в микротвердости: рудная фаза имеет микротвердость 6500 МПа, а силикатная фаза – 4500 МПа. Металлическая фаза шлака имеет микротвердость 2500 МПа. Различие физико-механических свойств отдельных фаз металлургических шлаков создает предпосылки для концентрации напряжений, условия для зарождения и развития трещин и способствует селективному разрушению их по границам срастания зерен металлических включений и силикатной матрицы в дробилках ударного действия. Это позволяет при дроблении ванадиевых шлаков раскрывать металловключения еще на стадии дробления, часть которых может быть выделена в достаточно крупном виде уже при грохочении, а часть – при магнитной сепарации дробленого шлака.

Дробленный шлак крупностью менее 5 мм подвергается магнитной сепарации на сепараторе ПБС при напряженности магнитного поля 2200-2500 Э. Магнитный продукт, выход которого составил порядка 30%, присоединялся к металловключениям. Массовая доля железа в немагнитном продукте составила 1,28%, что свидетельствует о том, что данная крупность материала после центробежно-ударного дробления является достаточной для эффективного обезжелезнения шлака.

Обезжелезненный ванадиевый шлак крупностью 0–5 мм подавался в измельчительный комплекс КИ, состоящий из центробежно-ударной мельницы, воздушного классификатора, группы циклонов и рукавного фильтра. Работа центробежно-ударной мельницы за счет встроенного в неё воздушного классификатора происходит в итерационном, то есть непрерывно повторяющемся режиме «измельчение-отделение готового продукта». Это обеспечивает непрерывное выведение из процесса готового по крупности продукта сразу после разрушения, что позволяет избежать переизмельчения материала и снизить удельную энергоёмкость, а тонкая регулировка работы классификатора позволяет получать заданные узкие классы крупности

материалов. Применение комплекса КИ в заданных технологических параметрах за счет возможности плавного регулирования скорости выброса материала, бесступенчатой настройки границ разделения, вывода готового материала при классификации, обеспечивает измельчение материала до требуемой крупности. Результаты гранулометрического анализа проб измельченного шлака показали, что содержание частиц менее 0,16 мм составило 100,0%, а частиц менее 0,1 мм – 98,8% при требованиях для молотого ванадиевого шлака не менее 95,0%.

При измельчении ванадиевого шлака в измельчительном комплексе КИ с дополнительным модулем классификации в воздушно-динамическом классификаторе КЦ получаются два продукта: «крупный» продукт классификатора крупностью 0,040-0,1 мм и «мелкий» продукт группы циклонов, имеющий крупность 0-0,040 мм. Такое разделение материала позволяет сконцентрировать металлические частицы в продукте с более узким зерновым составом. В результате «крупный» продукт содержит 1,43% железа, а в «мелком» продукте массовая доля железа снижается до 0,61%. Крупный продукт измельчения и классификации был подвергнут магнитной сепарации на сепараторе ЭВС при напряженности магнитного поля 3000 Э, что позволило снизить массовую долю дисперсного железа в немагнитном продукте до 0,55%. Но при этом с магнитным продуктом теряется до 23% готового по крупности молотого шлака. При объединении «мелкого» продукта классификации с немагнитным продуктом второй стадии сепарации получен молотый шлак крупностью 0-0,1 мм с массовой долей железа 0,57%.

По техническим условиям ванадиевый шлак тонкого помола для производства пентаоксида ванадия должен содержать не более 1,5 % железа дисперсного. Этим условиям, в том числе и по фракционному составу получаемого продукта, отвечает молотый шлак уже после одной стадии магнитной сепарации и сухого измельчения в измельчительном комплексе КИ. Следовательно, для получения молотого ванадиевого шлака с содержанием до 1,5% дисперсного железа технологическая схема переработки должна включать две стадии дробления, одну стадию сухой магнитной сепарации и сухое измельчение обезжелезненного шлака. При переработке ванадиевого шлака по предлагаемой схеме выход молотого шлака крупностью 0-0,1 мм с массовой долей железа 1,28% составил 63,1%, выход металловключений – 36,9% при зашлакованности 3,1%. При необходимости более глубокого обезжелезнения шлака и получения порошка с массовой долей железа до 0,5-0,6% проводится классификация измельченного продукта и вторая стадия сухого магнитного обогащения. Предлагаемая схема переработки ванадиевого шлака также обеспечивает извлечение металловключений из технологической цепочки для последующей утилизации в условиях ОАО «ЕВРАЗ НТМК» в качестве оборотного продукта.

Переработка ванадиевых шлаков с использованием центробежно-ударного способа разрушения и сухой магнитной сепарации является эффективной для получения требуемой продукции в виде молотого ванадиевого шлака заданного качества и металловключений. Дезинтеграция шлака в дробилке ДЦ в стадии мелкого дробления позволила селективно раскрыть и удалить металловключения на большей крупности, а сухое измельчение ударным способом обеспечило получение молотого ванадиевого шлака требуемой крупности в одну стадию. Использование центробежно-ударной техники в схемах глубокой переработки металлургических шлаков за счет реализуемого способа селективного разрушения свободным ударом позволит подойти к переработке данного сырья на более высоком технико-экономическом уровне по технологическим схемам, включающим только сухие методы.