

**КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ
И ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА**

При современном уровне и масштабах материального потребления фактор полноты использования и вовлечения в производство вторичных материальных ресурсов имеет первостепенное значение. Комплексное использование сырья и отходов важно еще и потому, что оно связано с решением проблемы создания безотходных и экологически чистых промышленных технологий. Разработка и освоение безотходных технологий имеют большое значение для предприятий химической, горнохимической, микробиологической, угольной, металлургической и других ресурсоемких отраслей промышленности.

В лаборатории физико-химических методов исследований (ФХМИ) Уральского государственного профессионально-педагогического университета выполнен значительный объем научно-исследовательских работ и промышленных испытаний по проблеме, связанной с утилизацией минеральных и техногенных отходов алюминиевой промышленности. Все минеральные отходы могут быть разбиты на две большие группы: первичные и вторичные. К первой группе можно отнести алюмокарбонатное сырье и шахтные породы горнодобывающих предприятий отрасли. Ко второй – отходы гидро- и пирометаллургической переработки алюминиевого сырья на глинозем: красный шлам, получаемый при выщелачивании бокситов и спеков, содосульфатную снесь. Категория техногенных отходов включает в себя шлаки электролизного производства, силуминовые шлаки и металлические отходы различных алюминиевых сплавов. Практически для всех видов отходов алюминиевой промышленности лабораторией ФХМИ разработаны технологии переработки, часть из которых реализована в промышленности.

На стадии горного производства основным видом продукции являются бокситы. Однако их качество с каждым годом ухудшается, что приводит к значительным осложнениям в работе глиноземных заводов. Анализ показателей работы уральских алюминиевых заводов свидетельствует о том, что за последние 25 лет в результате повышения содержания серы в бокситах с 0,7 до 1,2%, карбонатов (в перес-

чете на CO_2) с 3,0 до 4,0% и снижения кремневого модуля (весового отношения $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{SiO}_2$) с 15 до 11-12 единиц возросли потери щелочи и глинозема, степень декаустификации щелочи и доля ветви спекания, а также материальные потоки на пределах дробления, измельчения, выщелачивания, сгущения и выпарки. Все это привело к повышению затрат тепло- и электроэнергии, увеличению цеховых расходов, снижению производительности оборудования и качества глинозема.

Сотрудниками лаборатории ФХМИ совместно с работниками УПИ, института "Ленмеханобр", Уральского филиала ВАМИ и ПО СУБР разработана и испытана в промышленном масштабе технология радиометрического и флотационного обогащения бокситов Северного и Южного Урала. Предложены три метода радиометрической сепарации: фотометрическая, радиорезонансная и рентгенорадиометрическая, применение которых позволяет в значительной степени повысить качество сырья, используемого в производстве глинозема (таблица).

Основные показатели опытно-промышленных испытаний
по радиометрическому обогащению бокситов Северного Урала

Продукты сепарации	Выход, %	Содержание, %				Кремневый модуль, ед.
		Al_2O_3	SiO_2	CO_2	S общ	
1	2	3	4	5	6	7
Фотометрическая сепарация						
Концентрат	63,5	43,76	2,26	11,18	1,05	19,4
Хвосты	36,5	17,14	0,73	31,93	1,16	23,5
Исходный боксит	100,0	34,04	1,70	18,76	1,09	20,0

1	2	3	4	5	6	7
Радиорезонансная сепарация						
Концентрат	64,4	51,20	5,03	4,77	2,25	10,2
Хвосты	35,6	46,90	6,77	4,32	3,57	6,9
Исходный боксит	100,0	49,60	5,65	4,61	2,72	8,8
Рентгенорадиометрическая сепарация						
Концентрат	38,7	50,65	3,58	4,11	1,26	14,14
Хвосты	61,3	20,16	2,87	26,80	1,16	7,00
Исходный боксит	100,0	31,96	3,14	18,02	1,20	10,2

Основой для успешного предварительного обогащения послужило различие в физико-механических свойствах литологических разновидностей бокситов и вмещающих пород. Исследования, выполненные с применением методов рентгенофазового и рентгеноспектрального анализов, дифференциально-термического анализа, ИК- спектроскопии и др. на современной аппаратуре лаборатории ФХМИ, позволили установить как различия в химическом составе литологических разновидностей бокситов, так и в физико-механических свойствах бокситов и вмещающих пород, в частности прочность. Анализ полученных данных позволил вывести эмпирические уравнения для оптимизации условий классификации бокситов по крупности. Установлена зависимость содержания CO_2 в подрешетном продукте от принятого класса крупности. По результатам исследований и испытаний институтом "Гипроникель" выполнены проекты узлов грохочения на всех вновь строящихся подъемах шахт по СУБР. В настоящее время практически на всех штатах объединения работают установки крупнокускового грохочения. Полученная при этом мелкая фракция (класс - 100 мм) является хорошим сырьем для производства глинозема по способу Байера, а надрешетный продукт (класс +100 мм) требует дополнительного обогащения методами радиометрической сепарации. Однако радиометрическое обогащение не всегда позволяет полу-

чить кондиционные продукты или отвальные хвосты; для доводки продуктов могут применяться методы флотационного обогащения. Разработанная технология флотационного обогащения бокситов успешно прошла проверку на Пышминской обогатительной фабрике (в ходе испытаний было переработано 26 тыс. т руды). Полученный флотоконцентрат содержал менее 1,5% CO_2 и 0,2% $S_{обш}$.

В результате обогащения боксита наряду с высококачественным продуктом, используемым в производстве глинозема по способу Байера (бокситовый концентрат), получают продукты с повышенным содержанием вредных примесей (карбонатный и пиритный концентраты, хвосты сепарации). С целью сокращения потерь глинозема и повышения степени использования сырья предложена технология, предусматривающая переработку хвостов сепарации и карбонатного концентрата в ветви спекания Богословского алюминиевого завода, работающего на трехкомпонентной шихте (боксит, сода, известняк). Замена известняка карбонатным концентратом позволяет уменьшить загрязнение алюминатного раствора кремнеземом в 1,8-2,0 раза

В качестве возможного потребителя пиритного концентрата рассматривалась никелевая промышленность. В ходе испытаний определены оптимальные условия окускования окисленных никелевых руд при их шахтной плавке с добавлением пиритного концентрата. Определено влияние концентрата на распределение и Co по продуктам плавки. Использование пиритного и карбонатного концентратов в шихте брикетирования создает предпосылки для повышения производительности процесса, т.к. формирование фаз (штейна и шлака) при этом происходит не только в зоне горна, но и верхних зонах, благодаря подплавлению и размягчению брикетов.

Кроме основного продукта при добыче бокситов на поверхность поднимают алюмокарбонатное сырье и шахтную породу. Алюмокарбонатное сырье представляет собой механическую смесь разновидностей бокситов и вмещающих пород, в основном известняка, образующуюся при отработке участков малой и непромышленной мощности. Применительно к этому сырью методы грохочения и радиометрической сепарации обеспечивают более высокую эффективность, чем по отношению к рядовому бокситу. Промышленные испытания подтвердили результаты лабораторных исследований по обогащению алюмокарбонатного сырья: в мелкий класс (-5 мм)

был выделен высококачественный боксит (с содержанием $Al_2O_3 \approx 50\%$ и $CO_2 \leq 4,5\%$).

Использование алмокарбонатного сырья в шихте спекания позволило существенно повысить показатели спекательного передела и снизить затраты в производстве глинозема. Среднегодовой объем переработки алмокарбонатного сырья в ветви спекания Богословского алюминиевого завода составляет 100-120 тыс. т. В качестве возможного варианта переработки алмокарбонатного сырья рассматривалось также его использование для получения глиноземистого цемента плавкой в доменных печах на чугун и глиноземистые шлаки. Отработка режимов плавки проведена в доменной печи объемом 240 м³ Алапаевского металлургического завода на пробе массой 8 тыс. т (опытная плавка продолжалась 26 суток). В настоящее время алмокарбонатное сырье применяется в производстве глиноземистого цемента взамен ранее использовавшегося высококачественного боксита, что позволяет снизить себестоимость продукции без ухудшения ее качества.

Одним из возможных потребителей алмокарбонатного сырья является Сухоложский цементный завод: испытания, проведенные на пробе массой 2 тыс. т, подтвердили эффективность использования данного вида сырья в производстве сульфаталюминатного цемента. Перспективным направлением использования алмокарбонатного сырья по СУБР служит производство вяжущих материалов для твердеющих закладочных смесей. Объем их потребления на шахтах объединения в последние годы возрастает в связи с переходом на более глубокие горизонты и необходимостью снижения потерь боксита при добыче. Наиболее полное использование алмокарбонатного сырья, полученного попутно при добыче бокситов, а также специально добытого, будет обеспечено при строительстве обогатительного комплекса в объединении "Севуралбокситруда".

При проведении горноподготовительных и очистных работ на бокситовых рудниках на поверхность попутно с рудой выдают шахтную породу, направляемую в отвал. Такая порода содержит до 2-15% Al_2O_3 и 40-50% CaO . В результате исследований состава и свойств шахтной породы, а также промышленных испытаний установлено, что избирательным грохочением из нее можно выделить фракцию крупностью -10 мм, содержащую до 25-27% Al_2O_3 и 22-24% CO_2 , пригодную для переработ-

ки на глинозем (по способу спекания) либо на глиноземистый шлак.

Исследование продукции бокситовых рудников подтвердило неравномерность распределения практически всех малых примесей по литологическим разновидностям бокситов и вмещающих пород. Так, скандий концентрируется (до 150 г/т) в обесцвеченных, серых пиритизированных бокситах и каолинах. Повышенное содержание лития (до 2000 г/т) характерно для известняков, глинистых сланцев и порфиroidных бокситов. Установлена ранее неизвестная закономерность распределения иттрия: от 70–80 г/т в каолине до 40–45 г/т в красном марком боксите и менее 30 г/т во вмещающих породах. Такое распределение малых примесей послужило основой для поиска решений по выделению литологических разновидностей с повышенным содержанием ценных компонентов методом радиометрической сепарации на стадии рудоподготовки. Предварительными исследованиями была показана принципиальная возможность выделения литологических разновидностей бокситов и вмещающих пород с повышенным содержанием Li, Sc и Co методами рентгенорадиометрической сепарации.

На стадии глиноземного производства ежегодно на шламовые поля выбрасывают миллионы тонн красных шламов гидрометаллургического передела. Поиску решений по утилизации красных шламов ветви Байера посвящено множество работ отечественных и зарубежных исследователей. Главным препятствием в их практическом применении является повышенное остаточное содержание щелочи. Известны достаточно перспективные разработки, предусматривающие извлечение из шламов скандия и иттрия. Не менее интересны для переработки шламы, полученные при выщелачивании спеков: присутствие в них значительного количества двухкальциевого силиката позволяет рассматривать такие шламы как сырье для производства цемента. Белый шлам спекательной ветви, состоящий по преимуществу из алюмосиликатов, находит в настоящее время применение в сельском хозяйстве (в качестве кормовых добавок), в строительном производстве и др. Содосульфатную смесь используют в производстве стекла. Исследования показали целесообразность применения этой смеси в качестве компонента закладочной смеси на горнодобывающих предприятиях.

Крупную группу отходов алюминиевого производства составляют техногенные отходы. На алюминиевых заводах Урала ежемесячно получа-

ют сотни тонн силуминовых шлаков, содержащих до 50–55% основной металлической фазы (силумина) и до 6–7% металлического кремния. В лаборатории ФХМИ разработана технология переработки таких шлаков. Промышленное применение этой технологии на предприятиях "Исеть" и Уралэлектротяжмаш позволяет извлекать из них 90–92% силумина и 100% металлического кремния и получать кондиционные силуминовые отливки.

На машиностроительных предприятиях при механообработке заготовок из алюминиевых сплавов образуется значительное количество отходов в виде стружки, обрезки и т.п. В лаборатории разработаны технологии по утилизации таких отходов. Предложены способы рафинирования отходов алюминиевых сплавов от таких примесей, как магний, литий, кремний и (частично) железо с получением алюминия марок А-5 и А-6. Технологии рафинирования реализованы на промышленных предприятиях Свердловской области.

Это далеко не полный перечень работ по утилизации отходов горнометаллургического комплекса, проводимых сотрудниками лаборатории. В последние годы активно ведется поиск решений по созданию комплексных схем утилизации ванадиевых шлаков НТМК, отходов абразивного производства Юргинского и Челябинского электродного заводов, шлаков Алапаевского металлургического завода, отходов Долматовского месторождения и др. Наличие хорошей аппаратурно-технологической базы и высококвалифицированного штата сотрудников дает основание надеяться на успешное решение этих проблем.

В. В. Салтанов,
В. С. Шемякин

ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ ПРОИЗВОДСТВО ГЛИНОЗЕМА И КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

Гидрометаллургическая переработка алюминийсодержащего сырья с высоким содержанием вредных примесей, таких как сульфиды, карбонаты, силикаты и органические вещества, приводит к значительным потерям глинозема и щелочи. За годы существования лаборатории ФХМИ был выполнен значительный цикл научно-исследовательских работ и испыта-