

УДК 504.55.054:662 (470.6)

**В.И. Голик, В.И. Комащенко, С.Г. Страданченко,
С.А. Масленников**

МЕХАНО-ХИМИКО-АКТИВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛОВ ИЗ СКАЛЬНЫХ РУД*

Описаны механизм и параметры активации процессов извлечения металлов традиционными и новыми технологиями. Раскрыта сущность технологии вскрытия минералов комплексным механо-химико-активационным воздействием. Показано принципиальное отличие этой технологии от традиционной технологии: изменение фазового состояния металла в форме перехода из нерастворимого состояния в растворимое. Приведены сведения об энергии активации воздействием механической энергии высоких порядков в дезинтеграторной установке. Кратко изложены результаты исследований авторов, в частности, извлечение из некондиционного сырья до 80 % ранее омертвленных металлов.

Ключевые слова: активация процессов, извлечение металлов, технологии обогащения, вскрытие минералов, механо-химико-активация, фазовое состояние металла, энергия активации, дезинтегратор, некондиционное сырье.

При решении проблем извлечения металлов из рудных минералов определяющим фактором эффективности технологии является механизм и параметры активации процессов извлечения.

В настоящее время выделяют три направления обогащения:

- традиционная технология с использованием механической и частично химической энергии;
- относительно новая технология с использованием химической энергии;
- новейшая технология с использованием механической и химической энергии в сочетании с энергией активации.

Традиционные способы обогащения полезных ископаемых представляют собой совокупность процессов переработки с разделением минералов

без изменения их химического состава, структуры или агрегатного состояния и различаются кинетикой раскрытия руд, в основе которой лежит разрушение минералов с образованием новой активной поверхности. Основу традиционных обогатительных процессов составляют, базирующиеся на рациональном использовании природных или технологически созданных различий в свойствах минералов, операции разделения и концентрирования компонентов без изменения фазового состояния. Степень раскрытия руд в процессе подготовки изменяется в широких пределах — от 50 до 80 %.

Недостаток традиционной технологии обогащения руд: потеря ценных компонентов в хвостах переработки (рис. 1) [1].

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Министерства образования и науки Российской Федерации: Государственный контракт № 16.515.11.5039 «Разработка безотходных экологически безопасных способов добычи и переработки руд месторождений Северного Кавказа на основе комбинирования традиционных и инновационных технологий».



Рис. 1. Традиционная схема обогащения металлических руд

Традиционные технологии обогащения позволяют вскрыть для дальнейшего передела не более 70 % добытого минерального сырья, а не подлежащие вскрытию минералы представляют собой сырье для извлечения металлов нетрадиционными технологиями [2].

Выщелачивание металлов из руд имеет перспективы развития при комплексировании возможностей механической и химической компонент в рамках единого процесса.

С учетом этого генеральным критерием эффективности обогащения с использованием химической энергии является разделение минералов на отдельные с размерами, обеспечивающими равномерное и эффективное проникновение выщелачивающих реагентов не только в приповерхностные слои куска, но и вглубь [3].

Основными свойствами технологий выщелачивания металлов являются:

- необходимость дезинтеграции минерального сырья с экономически приемлемыми затратами;
- уменьшение эффективности извлечения металлов из сырья при достижении куском больших или значительно меньших размеров по сравнению с оптимальными для процесса выщелачивания;

- разделение извлеченных из недр минералов на пригодную к выщелачиванию массу и некондиционную массу по химическим свойствам.

Новизну технологии с выщелачиванием составляет вскрытие минеральной отдельности комплексным механо-химико-активационным воздействием.

Принципиальное отличие этой технологии от традиционной технологии состоит в изменении фазового состояния металла: переход из нерастворимого состояния в растворимое.

Увеличение активности реагентов сопровождается ростом производительности и уменьшением продолжительности процесса выщелачивания. Также существенное увеличение скорости выщелачивания (в 2—3 раза) может быть достигнуто повышением температуры раствора на 20-30 %.

Теоретически при увеличении содержания металла от β_1 до β_2 извлечение металла в раствор в фиксированное время τ_1 возрастает:

$$\beta_i' = \beta_i / \beta_m,$$

где β_i' — преобразованное значение содержания металла; β_i — содержание металла в конкретной i -й точке; β_m — содержание металла в минерале.

В случае ламинарного течения жидкости сквозь слой минерала, влияние крупности частиц d_{cp} на скорость движения жидкости описывается уравнением Гагена-Пуазейля:

$$q = (S_k d_s^2 \Delta P \tau) / (32 \mu h_{ст}),$$

где q — количество жидкости, прошедшее через слой частиц заключенный в пространственной фигуре с се-

чением 1 м^2 ; S_k - площадь эффективного сечения пор на 1 м^2 поверхности фильтрования; d_s — эквивалентный диаметр пор; τ — время просачивания раствора.

Размер пор и удельная поверхность частиц связаны между собой зависимостью:

$$d_s = 4\varepsilon / [S_0(1 - \varepsilon)],$$

где ε — пористость слоя материала, численно равная S_k . S_0 — удельная поверхность частиц слоя; μ — динамическая вязкость просачиваемой жидкости; $h_{ст.}$ — высота слоя осадка; ΔP — статический напор жидкости в слое.

Количество жидкости, просочившееся сквозь слой обрабатываемого материала за время τ на площади S_k обратно пропорционально квадрату удельной поверхности материала. Сопротивление слоя частиц обрабатываемого материала зависит от удельной поверхности частиц S_0 , от площади эффективного сечения пор на 1 м^2 поверхности фильтрования, и коэффициента k_1 , характеризующего соотношение пространств между частицами.

В случае лежалых руд это соотношение характеризуется коэффициентом разрыхления (рис. 2).

Общая удельная поверхность продукта S_0 находится суммированием по классам:

$$S_0 = \sum_{i=1}^N (S/\delta)(\gamma_1/d_1 + \gamma_2/d_2 + \dots + \gamma_n/d_n),$$

где для N одноразмерных частиц i -го узкого класса:

$$S_i = 6d^2N = 6\gamma / \delta d$$

Пропускная способность слоя определяется наличием мелких минеральных фракций, присутствие которых приводит к закупориванию промежутков между частицами и создает

препятствия для продвижения жидкости. Аналогичен эффект присутствия в руде глины.

Кольматация промежутков между частицами минералов снижает скорость фильтрации:

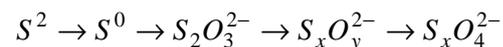
$$W = A(N_n - nq),$$

где W — скорость фильтрования, отнесенная к 1 м^2 поверхности слоя материала; N_n — количество пор; q — количество фильтрата; n — число твердых частиц в единице объема суспензии.

Условием реализации процессов является проникновение реагента вглубь частицы и наличие необходимого времени для изменения фазового состояния минерала. Критерием эффективности процесса является растворимость металла или функция концентрации в растворителе активного агента.

Металл растворяется после разрушения кристаллических решеток акцессорных минералов и раскрытия образующих сростков. Наиболее быстро растворение металла протекает в присутствии сильных окислителей: двуокиси марганца, кислорода, окиси железа и меди. Растворение металла, содержащегося в колчедановых породах, происходит под действием сульфата окисленного железа, а выпадение его из таких растворов — при их встрече с сульфидными породами. Наиболее интенсивное окисление пиритов и пирротинов протекает при $\text{pH} = 5,5$ и $\text{Eh} = 0,8\text{В}$.

В зависимости от показателей pH и Eh среды, выщелачивание развивается по схеме:



Успех выщелачивания определяется окислительным потенциалом среды или возможностью перехода определенного количества электронов от до-

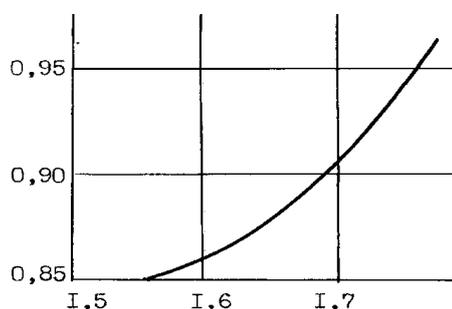
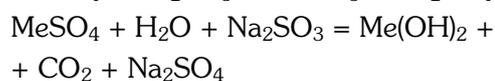
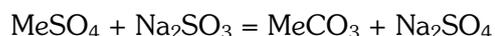


Рис. 2. Зависимость скорости движения растворов, м/мин. (ось «у») от разрыхления материала (ось «х»)

нора, которым служит сера к акцептору — атому, принимающему электроны (окислителю).

При взаимодействии сульфидов с кислотами образуются растворимые сульфаты с переводом в раствор меди, цинка, железа и т.д. в форме CuSO_4 , ZnSO_4 , FeSO_4 и т.д.

При нейтрализации растворов металлы выпадают в осадок:



При этом в растворе остается серноокислый натрий, который является вяжущим и может быть использован в строительной индустрии.

Существенное увеличение извлечения металлов обеспечивается при использовании нового вида энергии в дополнение к ранее известным компонентам технологии: температура и давление, механическое или химическое диспергирование и катализ.

Эта энергия получила название активация воздействием механической энергии высоких порядков. Рабочим органом возникновения энергии является активатор или дезинтегратор. При активации в дезинтеграторе в веществе аккумулируется энергия. Влияние активации материала на его

активность не остается постоянным после прекращения механической обработки, а убывает во времени по экспоненте.

За счёт механической обработки с перегрузками до четырехсот миллионов ускорений свободного падения в минерале накапливается энергия особого вида. В процессе механической активации система подвергается скачкообразным изменениям нагрузки. В дезинтеграторе достигаются во много раз большие импульсные мощности и частоты, чем при обработке материала в применяемых при традиционной технологии мельницах.

Дезинтегратор — машина для механической переработки хрупких минералов, состоящая из двух вращающихся в противоположные стороны роторов, насаженных на отдельные соосные валы и заключённых в кожух (рис. 3).

Материал в роторе подвергается многократным ударам пальцев, вращающихся со скоростью 500—1000 об/мин во встречных направлениях. Крупность загружаемого в дезинтегратор материала обычно 60—90 мм, а измельчённого продукта до 0,1 мм.

Раскрытие активности крупных частиц и повышение активности до 40 % по сравнению с базовым, определяется по приращению качества извлечения металлов из минерального сырья, полученного в процессе активации [5].

В продуктах дезинтеграторной переработки фракция частиц крупнее 125-400 мкм и фракции менее 5 мкм сравнительно мала. Значения удельных поверхностей одно — и двукратного измельчения в дезинтеграторе различаются в 1,4 раза. Сущность активации в том, что ослабление внутри — и межмолекулярных связей делает минерал склонным к изменениям свойств в течение технологических процессов.

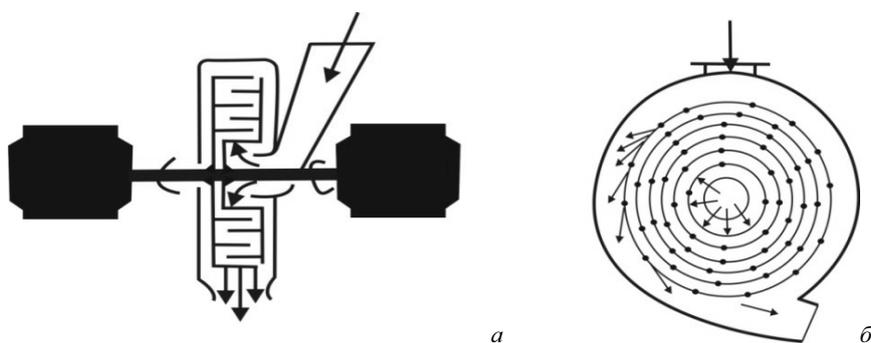


Рис. 3. Принципиальная схема дезинтегратора: а — принцип работы; б — силы, действующие в рабочем органе

Результаты проведенных авторами исследований позволили сделать следующие выводы:

1. Комбинированная механо-химико-активационная технология переработки минералов одновременно создает активные рабочие плоскости и ослабляет внутри- и межмолекулярные связи в минеральной частице.

2. Для эффективной реализации технологии обязательна возможность разделения минералов на доступные для проникновения реагентов частицы.

3. Доля выхода из дезинтегратора активного класса частиц (0, 076 мм) к количеству переработанной минеральной массы составляет до 40 %.

4. Технология позволяет производить продукцию не менее чем на 30 % дешевле и с 30-процентной экономией энергии по сравнению с базовой.

Основное отличие механо-химико-активационной технологии состоит в том, что в рабочую камеру дезинтегратора подается реагент, извлечение металлов в раствор происходит одновременно с дезинтеграцией минералов, а выщелачивающий раствор запрессовывается в трещины от деформации частиц. Минеральное сырье может также выщелачиваться вне дезинтегратора, после активации.

Условием реализации физико-химических процессов является создание в минерале электрически неравновесных ослабленных центров, в рамках которых развиваются процессы выщелачивания.

Основу физико-химических процессов составляют комбинирование операций разделения и концентрирования скальных минералов и химического воздействия на них. К условию управления количеством и качеством электрической активности возникающих в материалах точечных дефектов добавляется условие достаточности времени для завершения химических реакций растворения металлов. Конструкция дезинтегратора дополняется устройствами для подачи рабочих растворов и приемки их.

Механо-химико-активационное выщелачивание позволяет извлекать из некондиционного сырья до 80 % металлов, а при неоднократном пропуске через установку содержание металлов может быть доведено до допустимого санитарными нормами.

Нами определено, что активация сырья в дезинтеграторе с последующим выщелачиванием вне его по сравнению с агитационным выщелачиванием увеличивает извлечение: из хвостов обогащения — по свинцу — в 1,4 раза, по цинку — в 1,2 раза; из

забалансовой руды — по свинцу — в 1,6 раза, по цинку — в 2,0 раза.

Механо-химико-активация в дезинтеграторе одновременно с выщелачиванием по сравнению с вариантом раздельной активации и выщелачивания увеличивает извлечение на величину в первые проценты. Продолжительность агитационного выщелачивания составляет 15 — 60 минут, т.е. на 2 порядка больше времени выщелачивания с одновременной дезинтеграцией, которое составляет первые секунды.

Наибольшее влияние на извлечение металлов в раствор оказывает содержание в выщелачивающем растворе реагента. Далее, в порядке убывания степени влияния, следуют частота вращения роторов дезинтегратора и число циклов пропускания выщелачиваемой пульпы через дезинтегратор или соотношение Ж:Т.

Средние значения содержания свинца и цинка в продуктивных растворах близки к максимальным и практически совпадают:

- при агитационном выщелачивании хвостов и руды;
- при агитационном выщелачивании хвостов или руды, предварительно подвергнутых активации в дезинтеграторе совместно с выщелачивающими растворами;
- при выщелачивании хвостов или руды при активации в ходе многократного пропускания вместе с выщелачивающими растворами через дезинтегратор.

Фазовое состояние металла изменяется под воздействием химической энергии: нерастворимые ранее металлы становятся растворимыми и переходят в раствор в течение времени на два порядка меньшем, чем при простом выщелачивании [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьев А.Е., Голик В.И., Лобанов Д.П. Приоритетные пути развития горнодобывающего и перерабатывающего комплекса Северо-Кавказского региона. – Владикавказ. Рухс. 1998. – 360 с.

2. Голик В.И., Страданченко С.Г., Масленников С.А. Экспериментальное обоснование возможности утилизации хвостов обогащения руд цветных металлов. Цветная металлургия. – М., 2011. – №3.

3. Бубнов В.К., Голик В.И., Капканшиков А.М. и др. Актуальные вопросы добычи цветных, редких и благородных металлов. – Акмолла, 1995. – 601 с.

4. Голик В.И., Алборов И.Д., Цгоев Т.Ф. Охрана окружающей среды утилизацией отходов горного производства. УМО ВУЗов. – Владикавказ. – 2010. – 290 с. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Голик Владимир Иванович — доктор технических наук, профессор, e-mail: v.i.golik@mail.ru, Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт),

Масленников Станислав Александрович — кандидат технических наук, доцент, e-mail: MaslennikovSA@mail.ru,

Шахтинский институт (филиал) Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт).

Комашенко Виталий Иванович — доктор технических наук, профессор, Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина,

Страданченко Сергей Георгиевич — доктор технических наук, профессор, проректор по заочному и дистанционному образованию, e-mail: ssg72@mail.ru, Южно-Российский университет экономики и сервиса.