

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЭКСТРАКЦИИ ЗОЛОТА В РАСПЛАВЛЕННЫЙ СВИНЕЦ

Олейникова Н.В., Чекушин В.С.

*Государственный университет  
цветных металлов и золота,  
Красноярск*

Основными источниками производства золота в мире являются коренные руды и россыпи. Руды разделяют на окисленные, смешанные и сульфидные, и, соответственно, разработаны технологические приемы извлечения золота. Окисленные руды эффективно перерабатывают гидрометаллургическими методами. Смешанные и сульфидные – с использованием обогащительных приемов. Продукты металлургической переработки соответствуют по содержанию благородных металлов требованиям аффинажного производства. Что касается гравитационных и флотационных концентратов, то, как по содержанию золота и серебра, так и сопутствующих примесей, они не удовлетворяют этим требованиям. Как правило, данные продукты подвергают металлургической доводке до соответствующей кондиции.

Следует отметить, что из гравитационных и флотационных продуктов получают 20 - 25 % золота и серебра от общего объема производства.

Современные технологии доводки рудных концентратов используют два направления: гидрометаллургическое, связанное с выщелачиванием золота в водные растворы реагентов в совокупности с комплексом подготовительных операций, а также растворение золота и серебра в расплавленных металлах (меди, никеле, свинце и др.), также в совокупности с подготовительными операциями.

Опыт использования указанных приемов и технологий позволяет утверждать, что наиболее предпочтительным является применение пирометаллургических процессов экстракции золота и серебра в металлический коллектор. Подтверждением тому широко используемый в мире метод доводки рудных продуктов по технологии медного завода, а также известный в металлургической и аналитической практике прием экстракции (коллектирования) благородных металлов в расплавленном свинце.

Характерно, что все экстракционные процессы в системе металл – металл, осуществляются в интервале температур 1250 – 1450 °С, при сравнительно постоянной поверхности контактирующих фаз с использованием конвективного переноса вещества, в том числе из одной фазы в другую.

В задачу исследований входило совершенствование экстракционной системы металл – металл с целью извлечения золота в расплавленный свинец в условиях сравнительно низких температур, совмещение экстракции с процессом разложения золотоносных минералов, обеспечение высоких скоростей осуществления операции за счет направленного регулирования величины поверхности контакта фаз.

Решение поставленной задачи базируется на выполненных кинетических исследованиях экстракции компактных благородных металлов в расплаве свинца в интервале температур 350 – 550 °С, свидетельствующих о существенных скоростях растворения их,

лимитируемых химической кинетикой. В соответствии с данными ряда авторов в системе свинец – золото, существует два интерметаллида. Для низкотемпературной области характерно накапливание в свинце соединения  $AuPb_2$ , обладающего значительной растворимостью в свинце. При температуре 500 °С, содержание золота в свинце может достигать 40 %. Аналогично, по-видимому, ведет себя серебро, однако растворимость его в свинцовом сплаве при указанной температуре не превышает 15 %.

Из-за трудности использования в технологической практике двухфазной системы концентрат – расплавленный свинец, нами было предложено ввести в качестве дополнительной среды легкоплавкую каустическую соду, обеспечивающую выполнение двух функций: шлаковой покрывки для расплавленного свинца и реакционной среды для разложения ряда золотоносных минералов.

Термодинамический анализ возможных взаимодействий расплава щелочи с минеральными составляющими руды, и, в том числе, с золотоносными пиритом, арсенопиритом и пирротинном по схемам обменного и окислительного разложения подтвердил высокую вероятность протекания реакций. Кинетические исследования разложения монофракций сульфидных минералов в щелочных расплавах проводили в интервале температур 400 – 600 °С, при различной интенсивности перемешивания фаз. Процесс разложения арсенопирита и пирита при температуре системы 600 °С завершается через 10 – 15 мин перемешивания фаз. В свою очередь для пирротина, он растянут во времени и завершается через 30 – 35 мин. Константы скорости, разложения сульфидов, рассчитанные по уравнению первого порядка для различных сульфидов, в значительной степени различаются. Однако впервые установлен факт изменения их во времени. Нами высказано предположение о существенном влиянии на скорость процесса окислительного гидроксида природы на поверхности разлагаемых сульфидов. Последнее подтверждается соответствующими значениями величин кажущейся энергии активации.

В качестве объектов исследований экстракции золота в расплавленный свинец из рудных продуктов были выделены концентраты гравитационного и флотационного обогащения принципиально отличающиеся минералогией, крупностью и содержанием в них золота. В частности, гравийные продукты характеризуются различным суммарным содержанием сульфидов, изменяющимся от 0 до 35 %. Меняется содержание диоксида кремния, окиси алюминия, а также золота и серебра. В свою очередь, флотационные концентраты характеризуются определенной полиметальностью с высоким содержанием сульфидных минералов, в том числе и мышьяковых. Содержание пирита в этих материалах достигает 60 %. В отличие от гравитационных, флотопродукты характеризуются пониженным содержанием извлекаемых металлов.

Опыты проводили в интервале температур 450 – 650 °С, с регулированием интенсивности перемешивания фаз, и использованием материалов примерно одинаковой и различной крупности, при этом визуально контролировали вязкость шлакового продукта.

Содержание золота в шлаке и свинцовом сплаве анализировали пробирным методом с весовым и атомно-абсорбционным окончанием. Средние значения результатов анализов 2 – 5 параллельных опытов использовали в обсуждении.

В исследуемой экстракционной системе обеспечивается достижение глубокого извлечения золота из всех типов гравитационных материалов. При этом в зависимости от минералогического состава сырья, меняется скорость достижения требуемого извлечения. Характер зависимостей позволяет разделить динамические кривые формально на три области. Первая область примерно постоянных скоростей, вторая область постоянно меняющейся скорости, третья область постоянной скорости. В первой области, по видимому, происходит экстракция свободного золота, во второй – золота в сростках и ассоциированного с сульфидами, а также характеризующегося наличием природных и вновь образованных покровов из продуктов разложения минералов. Третья область характеризуется экстракцией тонкодисперсных частиц золота, забронированных покровами. С учетом сказанного, важнейшее значение имеет определение факторов, обеспечивающих либо увеличение скоростей экстракции во второй и третьей областях, либо уменьшения ширины области с точки зрения содержания извлекаемого металла. Важным фактором ускорения экстракции золота из ряда гравитационных концентратов, является как повышение температуры, так и интенсивности перемешивания. Как и в случае разложения сульфидных минералов, наблюдается соответствующее изменение величин констант скорости экстракции золота в области 2. Объяснением тому является реальное существование покровов на поверхности растворяемых золотых частиц.

Таким образом, наиболее легко экстрагируется золото, частицы которого в меньшей степени связаны с минералами-носителями и не имеющие покровов на своей поверхности.

Экстракция золота из флотационных концентратов характеризуется большими сложностями. Глубокое извлечение золота из фабричных Саралинского и Артемовского концентратов обеспечивается через три часа перемешивания фаз и температуре 600 °С. Интенсификация процесса при экстракции золота из Саралинского и Артемовского переобогащенных концентратов обеспечивается при температуре 600 °С и активном перемешивании фаз (1350об/мин). При этом для обоих концентратов процесс заканчивается примерно через 20 мин. Затруднения, возникающие при экстракции обусловлены сравнительно низким содержанием в материалах свободного золота, тесной ассоциацией тонкого и супертонкого золота с пиритом и пирротинном. Повышение температуры на 100 °С обеспечило приращение констант скоростей экстракции золота из фабричного Саралинского концентрата примерно в 3 раза, Саралинского переобогащенного – примерно в 10 раз, и Артемовского переобогащенного – примерно в 1,5 раза. В свою очередь, повышение интенсивности перемешивания способствовало изменению механизма осуществления процесса.

Необходимость механического разрушения пленок новообразований на поверхности золотин является важным фактором глубокого извлечения металла в ограниченные промежутки времени.

Исследования на различных типах материалов позволили сделать ряд выводов о механизме протекающих процессов, суть которых состоит в следующем:

- скорость образования интерметаллидов  $AuPb_2$  не лимитирует процесса;
- скорость разложения минералов-носителей также не лимитирует процесса;
- скорость сольватации растворяемых частиц золота расплавленным свинцом также весьма высока;
- лимитирующим фактором скорости протекания процесса является состояние поверхности растворяемого металла.

Исследовано влияние расхода щелочи на физические свойства шлаковых расплавов и установлено, что, в зависимости от минералогического состава, меняется оптимальное отношение щелочь:концентрат, составляющее (2,5 – 3):1.

Анализ щелочнорастворимой части шлаковых расплавов показал присутствие кремния и алюминия. В целях уменьшения негативного влияния последних на вязкость шлака, в состав шихты вводили гашеную известь. Однако следует отметить, что вводимая известь оказывает отрицательное влияние на скорость извлечения золота, которое можно эффективно ликвидировать повышая скорость перемешивания.

Результаты проведенных исследований на ряде гравитационных и флотационных концентратов свидетельствуют, прежде всего, о достижении высокого извлечения и возможности получения свинцовых сплавов, содержащих до 10 % суммы благородных металлов. Кроме того подтверждена эффективность экстракции не только золота, но и серебра.

Рассмотрены вопросы переработки шлаковых систем с регенерацией щелочи и возвратом последней в процесс, а также подробно изучены вопросы переработки золотосодержащих свинцовых сплавов. При этом, рассмотрена возможность использования цинкования с целью выделения пены интерметаллидов, а также окислительной переработки сплавов. Суть процесса состоит в том, что сплав под слоем щелочи подвергается выкручиванию в определенном интервале температур с подачей в расплав кислорода или воздуха. Установлено, что наиболее приемлемыми условиями ведения процесса являются температура 600 – 620 °С при скорости перемешивания примерно 750 об/мин, барботирование в расплав воздуха или кислорода при исключении перемешивания свинцового сплава.

Проведены кинетические исследования процесса и определено, что окислительные реакции протекают в диффузионной области. Найдено, что окислительное обогащение свинцового сплава целесообразно проводить до содержания суммы благородных металлов 65 – 70 %, так как дальнейшее обогащение сопряжено с возрастанием механических потерь последних.

Проведенные исследования позволили разработать технологическую схему процесса, включающую

подготовку концентрата к экстракции, экстракцию благородных металлов в расплавленный свинец, переработку шлакового продукта с регенерацией 80 % щелочи от подаваемой, окислительное обогащение свинцового сплава с возвратом свинца в экстракционный процесс и гидрометаллургической доводкой спека благородных металлов с получением золотого и серебряного концентратов. По данной технологии выполнены модельные испытания полностью подтвердившие эффективность проведенных исследований и предложенной технологии.

Выполненные технико-экономические расчеты свидетельствуют о целесообразности вовлечения в переработку концентратов с содержанием золота не менее 250г/т.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования РФ

### ПОИСК ЭФФЕКТИВНЫХ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ ВТОРИЧНОГО ВОЛОКНА В ПРОИЗВОДСТВЕ ДВП

Петрушева Н.А., Чистова Н.Г., Алашкевич Ю.Д.

*Лесосибирский филиал Сибирского  
государственного технологического университета,  
Лесосибирск*

Проблемы использования отходов и разработки безотходных технологий являются наиболее актуальными в настоящее время. В своей технологической и технической сущности утилизация производственных отходов тесно связана с мероприятиями по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов, так как позволяет не только повысить эффективность производства древесноволокнистых плит, но и значительно снизить загрязнение биосферы.

Применение вторичного волокна в основном производстве значительно сокращает удельный расход электроэнергии, химикатов, воды, затрат живого и овеществленного труда. Максимальное использование вторичного волокна имеет большое экологическое значение в связи с сохранением лесных массивов, санитарной очисткой полигонов хранения отходов производства ДВП, подвергающихся гниению и засоряющих подземные воды, почву и атмосферу.

Задачей оптимизации процесса обработки вторичного волокна в производстве древесноволокнистых плит является отыскание таких значений основных технологических параметров данного процесса, при которых значение удельного расхода электроэнергии будет минимальным, а качественные характеристики полученной массы и физико-механические параметры отливок из нее будут находиться на необходимом уровне. Оптимизация осуществлялась последовательным симплекс-методом. В качестве целевой функции нами был выбран удельный расход электроэнергии, при соблюдении следующих ограничений:

- степень помола волокнистой массы > 18 ДС;
- средняя длина волокна > 8 мм;
- прочность отливок > 33 МПа;
- плотность отливок > 800 кг/м<sup>3</sup>;

- разбухание отливок < 33 %;
- 600 с ≤ время обработки вторичного волокна ≤ 2400 с;
- 10 °С ≤ температура волокнистой массы в процессе обработки ≤ 50 °С;
- 1 % ≤ концентрация ≤ 3 %.

В результате решения поставленной задачи получим следующие значения технологических параметров, обеспечивающих оптимальные условия проведения обработки вторичного волокна в гидроразбивателе при производстве древесноволокнистых плит: время обработки вторичного волокна - 2400 с; температура волокнистой массы - 30 °С; концентрация = 2 %.

При этом выходные параметры принимают следующие теоретические значения:

- степень помола – 23,4 ДС;
- средняя длина волокна – 10,1 мм;
- прочность отливок – 44 МПа;
- плотность отливок – 892,2 кг/см<sup>3</sup>;
- разбухание отливок – 31,1 %;
- удельный расход электроэнергии – 31,5 кВт ч/кг.

Роспуск вторичного волокна в гидроразбивателе при оптимальных условиях показал следующие результаты:

- степень помола – 21,4 ДС;
- средняя длина волокна – 11 мм;
- прочность отливок – 40,8 МПа;
- плотность отливок – 912 кг/см<sup>3</sup>;
- разбухание отливок – 30,8 %;
- удельный расход электроэнергии – 30 кВт ч/кг.

Таким образом, теоретические значения данных показателей, рассчитанные по уравнениям регрессии, хорошо согласуются с экспериментальными, что еще раз подтверждает адекватность полученной математической модели процесса роспуска вторичного волокна в гидроразбивателе при производстве древесноволокнистых плит.

Проведение обработки вторичного волокна в гидроразбивателе при оптимальных условиях позволило снизить величину удельной энергоемкости процесса на 27%, в сравнении с существующим процессом ножевой обработки вторичного волокна в конической мельнице.

На основании полученных результатов, в технологическую схему современного производства древесноволокнистых плит мокрым способом, действующим на базовом предприятии необходимо включить гидроразбиватель как узел переработки вторичного волокна, заменив существующую коническую мельницу.

### КОМПЬЮТЕРНАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА РАСПРЕДЕЛЕННОГО КОНТРОЛЯ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ

Тахавутдинов Р. Г. Воркунов О. В.

*Создана информационно-измерительная система, отображающая в режиме реального времени температуры в различных точках жилого или производственного помещения, а также наружные тепло-*