УДК 669.213.63

Э.В.АДАМОВ, В.В.ПАНИН
Московский государственный институт стали и сплавов (*технологический университет*)

БИОТЕХНОЛОГИЯ МЕТАЛЛОВ: РЕАЛЬНОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Приведен анализ современного состояния использования микробиологических процессов в комбинированных технологиях переработки труднообогатимого минерального сырья. Даны научные основы и описана практика применения чанового процесса бактериального выщелачивания упорных золотомышьяковых и медно-цинковых концентратов и промпродуктов. Показаны перспективы использования микробиологических процессов в технологии переработки руд различного минерального состава.

Analyze of modern state use of microbiological processes in the combined technologies of treatment refractory mineral material is made. Also are given scientific basis and practice of using tank process bacterial leaching of refractory gold-arsenic and copper-zinc concentrates and mid-products. The prospects of using microbiological processes are shown in the technology of treatment ores of various mineral compositions.

Основными направлениями использования технологии чанового бактериального выщелачивания являются бактериальное вскрытие золота, тонковкрапленного в сульфидные минералы, удаление мышьяка из мышьяксодержащих концентратов и продуктов, получаемых при обогащении руд цветных и редких металлов, разделение коллективных концентратов цветных металлов (медно-цинковых, медно-никелевых и т.п.). Предварительная бактериальная обработка минеральных продуктов и концентратов перед обогатительными, металлургическими процессами значительно увеличивает полноту извлечения металлов. Эффективно использование чанового процесса при очистке промышленных сточных вод и серосодержащих газов металлургических производств. Чановый метод широко используется наряду с другими гидрометаллургическими процессами и является перспективным при переработке труднообогатимого минерального сырья. Чановый метод не требует специального оборудования, в отличие от кучного и подземного выщелачивания является полностью контролируемым и управляемым; его применяют для тонкоизмельченных продуктов, что значительно ускоряет процесс бактериального окисления и деструкции минералов. Создавая определенные условия выщелачивания, можно достичь высокой степени селективности при извлечении ценных минеральных продуктов. Этот метод низкотемпературный, без выбросов в атмосферу вредных отходов, с замкнутым водооборотом, т.е. экологически чистый.

Значительным достижением в области биогидрометаллургии в последние годы является широкое применение процесса чанового бактериального выщелачивания для переработки упорных золотомышьяковых концентратов. Использование этого процесса позволило значительно повысить эффективность извлечения золота, тонковкрапленного в сульфидные минералы, снизить капитальные затраты и эксплуатационные расходы при получении золота, повысить экологическую чистоту при его производстве.

В 1967-1968 годах в Московском институте стали и сплавов под руководством профессоров С.И.Полькина и Г.И.Каравайко было установлено, что бактерии Thiobacillus ferrooxidans принимают активное участие в окислении и выщелачивании арсенопирита, являющегося основным носителем тонковкрапленного золота в золотомышьяковых концентратах, получаемых при обогащении упорных золотосодержащих руд. В 1970-1975 годах была представлена технология переработки золотомышьяковых концентратов с

использованием процесса бактериального выщелачивания*. В настоящее время в мире уже работает более 15 промышленных установок чанового бактериально-химического выщелачивания упорных золотомышьяковых концентратов с производительностью до 1500 т/сутки**.

Процессы бактериального окисления и выщелачивания протекают активно только при создании благоприятных для жизнедеятельности бактерий условий среды обитания. Современное микробиологическое выщелачивание представляет собой специфичный гидрометаллургический процесс, при котором окисление и выщелачивание сульфидных минералов осуществляются в сернокислой среде в присутствии ассоциации хемолитоавтотрофных тионовых бактерий. Одним из самых важных условий протекания бактериальных окислительных процессов является использование активной культуры клеток. В технологии чанового бактериального выщелачивания в плотных пульпах применение высокоактивных штаммов, устойчивых к экстремальным условиям, является одним из параметров, определяющих скорость процесса и, естественно, его экономичность.

Среди параметров, определяющих эффективность бактериального выщелачивания чановым методом, особое значение приобретают такие специфичные для этого процесса параметры, как плотность выщелачиваемой пульпы, крупность и способ подготовки продукта к выщелачиванию, способ перемешивания и аэрации, схема выщелачивания, методы переработки оборотных растворов, требования к продуктам выщелачивания и т.п. Эти параметры определяют, прежде всего, технологическую схему, режим процесса и его аппаратурное оформление.

Создание оптимальных условий для жизнедеятельности микроорганизмов в плотной пульпе возможно только при постоянной смене раствора, т.е. при проточной технологии в непрерывном режиме выщелачивания. Промышленная практика эксплуатации установок чанового выщелачивания показала, что высокие активность бактерий и скорость выщелачивания наблюдаются при оптимальном соотношении Т:Ж = 1:4-1:5. При такой плотности пульпы концентрация мышьяка в жидкой фазе составляет от 3 до 8 г/л в зависимости от его содержания в исходном продукте и оборотных растворах. При концентрации мышьяка более 8 г/л активность бактерий снижается с 2-2,5 до 0,6 г/(л·ч) при высокой плотности биомассы ($2 \cdot 10^{10}$ клеток/мл). При этом, однако, в жидкой фазе наблюдается повышение до 40 г/л содержания Fe (III), которое также подавляет активность бактерий.

Несмотря на многообразие схем процесса бактериального выщелачивания золотомышьяковых концентратов, все они включают следующие основные циклы: подготовки исходного продукта к выщелачиванию; подготовки пульпы; собственно бактериального выщелачивания; разделения продуктов выщелачивания на твердую и жидкую фазу; обработки кека бактериального выщелачивания; обработки бактериальных растворов; обезвреживания продуктов бактериального выщелачивания.

Большое значение при выщелачивании сульфидных минералов имеет их химическая и минералогическая неоднородность, наличие в них примесей, тип проводимости, характер сростков. При выщелачивании сростков сульфидных минералов наблюдается гальванический эффект, который усиливается не только за счет каталитического окисления арсенопирита, но и в результате бактериального окисления элементной серы до сульфат-ионов.

Наряду с процессом бактериального выщелачивания золотомышьяковых концентратов биотехнологический метод все более широко используется, например, в технологических схемах переработки медно-цинковых руд, никельсодержащих и полиметаллических руд. Высокая эффективность и экономичность этого процесса и его экологичность обеспечивают ему достойное место среди широко применяемых и освоенных промышленностью гидрометаллургических методов.

---

* Theory and practice of utilizing microorganisms in processing difficult-to-dress and concentrates / S.I.Pol'kin, V.V.Panin, E.V.Adamov, G.I.Karavaiko and Chernjak // Int. Mineral Proc. Cong. Cagliari. 1975. Pap.33.

** Биогидрометаллургия золота и серебра / Г.И.Каравайко, Г.И.Седельникова, Р.Я.Асланков и др. // Цветные металлы. 2000. № 8. С.10-15.