



ОПТИМИЗАЦИЯ РЕАГЕНТНОГО РЕЖИМА ПРИ ФЛОТАЦИИ
ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД

З.Х. Хушвактова
А.А. Саидахмедов
С.Г. Жабборова

*Навоийский государственный горно-технологический университет
г. Навои, Узбекистан*

Аннотация: *В данной работе проанализированы научные исследования и существующие теоретические представления, посвящённые обогащению полиметаллических сульфидных руд типа Zn–Cu–Pb методом флотации. В частности, рассмотрены проблемы селективного разделения полезных минералов в рудах сложного состава, их флотационные свойства, а также основные факторы, влияющие на процесс обогащения. Кроме того, изучены результаты научных исследований по применению различных флотационных реагентов — собирателей, активаторов и депрессоров, их взаимодействию с поверхностью минералов и влиянию на селективность процесса. Анализ литературных источников показал, что для эффективного разделения труднообогатимых полиметаллических руд важное значение имеет правильный выбор системы реагентов, а также их введение во флотационный процесс в определённой последовательности.*

Ключевые слова: *Полиметаллические руды, селективная флотация, сульфидные минералы, флотационные реагенты, собиратели, депрессоры, система реагентов, последовательность подачи реагентов, эффективность флотации.*

В настоящее время одним из наиболее эффективных методов обогащения при переработке полиметаллических руд является флотационная технология. При данном способе руда предварительно дробится и измельчается до необходимой крупности, после чего с использованием специальных флотационных реагентов полезные минералы селективно извлекаются. В отдельных случаях, когда полезные минералы представлены в виде относительно крупных зерен, могут применяться и гравитационные методы обогащения. Выбор оптимальных условий флотационного процесса и правильная организация режима подачи реагентов оказывают непосредственное влияние на качество конечного продукта и степень извлечения металлов. Результаты научных исследований показывают, что эффективность и селективность флотации тесно связаны с рядом факторов, в частности со степенью окисления поверхности минералов, системой применяемых реагентов, порядком их подачи, а также значением pH и ионным составом флотационной среды. Традиционные ксантогенатные собиратели обладают высокой собирательной способностью, однако их селективность в системе Zn–Cu–Pb ограничена. В связи с этим в последние годы





применяются более селективные реагенты, такие как тиокарбаматы и дитиофосфаты, а также феррицианиды и органические полимерные депрессоры. Установлено, что поэтапная подача этих реагентов способствует значительному повышению селективности флотационного процесса.

Труднообогатимые полиметаллические руды характеризуются сложным минеральным составом, тесной ассоциацией полезных и вредных минералов, а также мелкой крупностью частиц. В таких рудах наряду с сульфидами свинца, цинка и меди широко распространены сульфиды железа, среди которых встречаются пирит, пирротин, сфалерит, галенит и халькопирит. Трудная обогатимость руд обусловлена рядом факторов. В частности, сходство флотационных свойств полезных минералов, окисление их поверхности, значительное содержание шламовых фракций, а также сложный характер раскрытия минералов существенно осложняют процесс селективной флотации.

Под селективностью во флотационном процессе понимается максимальное извлечение полезного минерала при одновременном ограничении флотации других минералов. Степень селективности обычно оценивается по содержанию металла в концентрате, показателю извлечения металла и коэффициенту селективности. Данный показатель относится к числу важнейших технологических параметров флотационного процесса и напрямую зависит от типа применяемых реагентов, их количества и порядка подачи.

Снижение селективности при флотации труднообогатимых полиметаллических руд может быть обусловлено рядом факторов. К ним относятся близость флотационной активности сульфидных минералов, неселективное действие собирателей, одновременная флотация полезных и вредных минералов, а также недостаточный контроль значения pH и ионного состава флотационной среды. В результате вместе с полезными минералами в пенный продукт переходят и вредные компоненты. Поэтому правильный выбор флотационных реагентов и научно обоснованная организация их подачи имеют важное значение для обеспечения селективного разделения.

Последовательность подачи реагентов оказывает существенное влияние на физико-химические процессы, происходящие на поверхности минералов. Реагенты, поданные на начальной стадии процесса, могут изменять механизм действия последующих реагентов. Анализ научной литературы показывает, что при флотации полиметаллических руд большое внимание уделяется выбору реагентов, однако влияние порядка их подачи на селективность изучено недостаточно системно. В связи с этим определение оптимальной последовательности подачи реагентов для труднообогатимых полиметаллических руд является важной научной задачей.

Флотация труднообогатимых полиметаллических руд типа Zn–Cu–Pb характеризуется сложным взаимным расположением полезных минералов и сходством их флотационных свойств. Поверхностно-химические свойства галенита, сфалерита и халькопирита близки между собой, что делает процесс их селективного разделения





TANQIDIY NAZAR, TAHLILIY TAFAKKUR VA INNOVATSION G'OYALAR



весьма сложным. Исследования показывают, что важную роль в повышении селективности играет правильный выбор системы флотационных реагентов. В частности, рациональный подбор собирателей, депрессоров и активаторов, а также порядок их подачи оказывают существенное влияние на эффективность флотационного процесса. Традиционные ксантогенаты, несмотря на высокую собирательную способность, не обеспечивают необходимой селективности в системе Zn–Cu–Pb.

В последние годы проводятся многочисленные исследования по применению тиокарбаматов и дитиофосфатов в качестве селективных собирателей. Установлено, что эти реагенты интенсивно адсорбируются на поверхности галенита и халькопирита, проявляя при этом селективное действие по отношению к сфалериту. В международных патентах предлагаются новые флотационные реагенты для сульфидных минералов Pb–Zn–Cu, эффективность которых подтверждена даже в бесцианидной среде. Исследования селективного действия депрессоров показали, что феррицианиды и органические полимерные депрессоры обладают высокой эффективностью при подавлении сфалерита, активированного ионами Pb^{2+} . Кроме того, поэтапное введение реагентов позволяет контролировать флотационную активность поверхности минералов.

В условиях постепенного истощения запасов полиметаллических руд особое внимание уделяется переработке медно-свинцово-цинковых сульфидных руд. Основные минералы меди, свинца и цинка — халькопирит, галенит и сфалерит — часто встречаются в месторождениях в виде смешанных руд. Такие руды обычно содержат также низкоценные сульфидные минералы и пустую породу. Поэтому для их разделения и получения отдельных концентратов применяется флотационная технология. Однако флотационное разделение медно-свинцово-цинковых сульфидных руд представляет собой технологически сложный процесс.

Получаемые в результате флотации медные концентраты нередко содержат 5–15 % свинца и 5–10 % цинка. Это усложняет последующие металлургические процессы плавки и снижает экономическую ценность конечного продукта. Эффективность флотационного процесса также тесно связана со степенью окисления поверхности минералов. В процессе окисления изменяются химический состав поверхности минерала, его кристаллическая структура и дзета-потенциал, что непосредственно влияет на адсорбцию реагентов и селективность флотации. Поэтому изучение механизмов окисления имеет важное значение для совершенствования технологий переработки сложных руд.

В сложных рудах широко распространён пирит (FeS_2), который часто встречается совместно с сульфидами меди, свинца и цинка. Поскольку флотационные свойства пирита близки к свойствам ценных минералов, процесс их разделения значительно усложняется. В связи с этим такие руды часто характеризуются как «легкофлотируемые» и «трудноразделимые».





TANQIDIY NAZAR, TAHLILIY TAFAKKUR VA INNOVATSION G'UYALAR



Сульфиды железа — пирит и пирротин — обычно присутствуют совместно с галенитом, халькопиритом и сфалеритом. В некоторых случаях они могут флотироваться вместе с ценными минералами либо, наоборот, подавлять их флотацию. В результате качество концентрата снижается. Определение текстуры руды и степени раскрытия минералов является важным фактором при разработке технологий селективного разделения.

В целом эффективное разделение сложных полиметаллических сульфидных руд требует правильного выбора условий селективной флотации, оптимизации системы реагентов и научного обоснования порядка их подачи. Особое значение имеет изучение последовательности введения реагентов, что позволяет повысить селективность процесса и получить концентраты высокого качества.

Таким образом, при переработке труднообогатимых Zn–Cu–Pb полиметаллических сульфидных руд селективная флотация является одной из наиболее эффективных технологий. В этих рудах галенит, сфалерит, халькопирит и пирит тесно ассоциированы между собой, а сходство их флотационных свойств осложняет процесс селективного разделения. Эффективность флотации зависит от степени окисления поверхности минералов, наличия шламовых фракций, совместной флотации полезных и вредных минералов, а также от системы реагентов и порядка их подачи. Использование селективных собирателей, депрессоров и поэтапной подачи реагентов позволяет получать высококачественные медные, свинцовые и цинковые концентраты. Поэтому разработка оптимальной системы реагентов и рациональной последовательности их подачи имеет важное научное и практическое значение для повышения селективности и эффективной переработки таких руд.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Chandra S., Gerson A. Advances in flotation of complex sulfide ores // *Minerals Engineering*. — 2009. — Vol. 22, No. 3. — P. 215–226.
2. Xiong H., et al. Selective flotation reagents for Pb–Zn–Cu sulfides // *International Journal of Mineral Processing*. — 2021. — Vol. 200. — P. 105–114.
3. Johnson D. *Polymetallic ore processing technologies*. — London: Elsevier, 2006. — 312 p.
4. Marabini A., et al. Flotation of complex sulfide ores: recent developments // *Minerals Engineering*. — 2007. — Vol. 20. — P. 245–254.
5. Liu Y., et al. Characterization of mineral surfaces using XRF and XRD techniques // *Minerals*. — 2008. — Vol. 38. — P. 77–85.
6. Mingli Z., et al. Challenges in selective flotation of Zn–Cu–Pb ores // *Mineral Processing and Extractive Metallurgy*. — 2006. — Vol. 115. — P. 23–31.
7. Ke H., et al. Stepwise reagent addition for selective flotation // *International Journal of Mineral Processing*. — 2021. — Vol. 210. — P. 106–117.





TANQIDIY NAZAR, TAHLILIY TAFAKKUR VA INNOVATSION G'OYALAR



8. Chen X., et al. Optimization of collector and depressor systems in polymetallic ore flotation // *Minerals Engineering*. — 2017. — Vol. 107. — P. 122–131.
9. Feng W. Flotation of Cu–Pb–Zn sulfide ores: challenges and perspectives // *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. — 2020. — Vol. 30. — P. 2345–2358.
10. Nagaraj V., et al. Complex ore flotation: recent advances // *Minerals Engineering*. — 2016. — Vol. 96. — P. 112–123.
11. Miao J., et al. Mineral surface oxidation and its impact on flotation // *Minerals*. — 2022. — Vol. 12, No. 4. — P. 356–368.
12. Zhang L. Characterization of polymetallic ores using SEM, MLA, and XPS methods // *International Journal of Mineral Processing*. — 2021. — Vol. 215. — P. 105–119.

