

В.И. ГОЛИК, д-р техн. наук

(Россия, Новочеркасск, Южно-Российский государственный технический университет),

В.И. КОМАЩЕНКО, д-р техн. наук

(Россия, Москва, Российский университет нефти и газа),

К.Г. КАРГИНОВ, д-р техн. наук

(Россия, Москва, ООО "Норильский никель")

ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕХАНО-ХИМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД

Потребление минерального сырья опережает темпы увеличения численности населения Земли. В ближайшем будущем объем добычи металлических руд увеличится в 10-15 раз. Повышение уровня потребления природных ресурсов опасно катастрофическими последствиями для человечества, если не будут приняты действенные меры предотвращения накопления отходов добычи и переработки.

Развитые страны, население которых составляет 16% от мирового, производят около 35% мировой минеральной продукции, а потребляют более 50%. В развивающихся странах производится 35%, а потребляется около 20% минеральной продукции [1]. На остальные страны, население которых составляет 35% мирового населения, приходится 30% производства и 30% потребления минеральных ресурсов. Развитые страны заставляют остальные страны платить за издержки своих технологий пользования минеральными ресурсами.

Одним из направлений решения проблемы накопления отходов добычи и переработки минеральных ресурсов является сокращение объемов добычи природных ресурсов при вовлечении в производство отходов переработки.

В горном производстве противостоят технологические направления: валовая выемка интенсивными темпами руд с компенсацией качества исходного ресурса в процессе обогащения и селективная выемка руд с повышенным качеством в процессе добычи [2].

Преобладает первое направление, хотя практика указывает на отставание темпов развития технологий переработки по сравнению с технологиями переработки. Освоения технологий с закладкой пустот твердеющими смесями позволило повысить качество добываемых руд, но технологии с закладкой пустот твердеющими смесями не всегда доступны из-за высокой стоимости и дефицитности вяжущих компонентов.

Динамика образования отходов объясняется исчерпанием запасов в пределах богатых и благоприятных для разработки месторождений, изменение конъюнктуры металлов по мере развития научно-технического прогресса и других глобальных факторов.

В результате радикальных изменений в системе хозяйствования в конце прошлого столетия Россия не только лишилась источников многих стратегических ресурсов, но и оказалась в состоянии глубокого кризиса, поразившего многие добывающие и перерабатывающие предприятия, некогда ведущие в своих отраслях.

Спеціальні та комбіновані методи

Экономика горнорудного комплекса России характеризуется спадом производства, снижением инвестиционной активности и уровня потребления продукции металлургии, слабой конкурентоспособности. Эксплуатация большинства месторождений оказалась нерентабельной [3].

В наиболее тяжелом финансовом положении находятся флагманы цветной металлургии, эксплуатирующие месторождения Северного Кавказа: Садонский свинцово-цинковый комбинат, Тырныаузский вольфрамово-молибденовый комбинат, Урупский ГОК.

При новой хозяйственной системе с ослаблением государственного контроля выборочная отработка запасов богатых месторождений и участков активизировалась, что нашло отражение в увеличении объемов отходов, формирующих техногенные месторождения.

Глобальной причиной ускорения темпов образования техногенных месторождений является отсутствие законов, регламентирующих порядок использования минеральных ресурсов с общечеловеческой точки зрения.

Истощение минерально-сырьевой базы и динамика трансформации запасов обусловили необходимость поиска новых технологий рентабельной отработки запасов. Добыча металлов выщелачиванием известна давно и с середины прошлого века получила промышленное применение. Кучное, подземное и скважинное выщелачивание уже более 70 лет назад применяли в более развитой технологически урановой промышленности для доработки нерентабельных запасов [4].

Шахтное выщелачивание на Быкогорском месторождении оказалось экономически приемлемой при содержании металла в 2 раза меньшем его прежнего балансового значения. На месторождении Восток (Казахстан) впервые в мировой практике выщелачивали уже балансовые руды.

При добыче большинства металлов в полезную продукцию превращаются не более 2% добываемой горной массы, а остальные 98% формируют техногенные месторождения. При мировой добыче всех видов природного минерального сырья около 25 млрд т/г. в виде готовой продукции используется не более 1,5 млрд т, а остальное размещается в хранилищах отходов. При обогащении рудной массы на обогатительной фабрике выделяется не менее 20...30% хвостов.

Техногенные месторождения представляют собой особую категорию пока еще не используемых ресурсов, имеющих стратегическое, экономическое и социальное значение.

В редких случаях техногенные запасы разрабатываются в процессе ревизии состояния отходов. Подавляющее же большинство отходов по-прежнему хранятся невостребованными, так как утилизация их возможна только после извлечения из них металлов до санитарных норм, как по экономической причине, так и ввиду токсичности [5].

Рост цен на металлы и совершенствование технологий переработки руд стимулируют использование отходов добычи и переработки металлических руд и извлечение металлов из отходов добычи и переработки минералов получает промышленные масштабы, например, при добыче мирового золота.

Использование отходов добычи и переработки наиболее перспективно в

составе твердеючих смесей для заполнения технологических пустот.

Если в первые годы освоения технологий с закладкой твердеющими смесями в качестве инертных материалов использовали стандартные строительные пески, то сейчас эти потребности удовлетворяют за счет утилизации хвостов обогатительных фабрик. В качестве вяжущего используют отходы металлургического производства, например, доменные шлаки.

Рациональное использование возможностей вторичного передела хвостов обогащения позволяет изготавливать закладку из собственных технологических отходов. Традиционные процессы извлечения металлов хвостов обогащения перед их утилизацией в составе твердеющих смесей не обеспечивают приемлемых экономических результатов. Эффективность извлечения металлов можно повысить при использовании технологий с выщелачиванием, но это сопряжено с не всегда компенсируемыми затратами времени и средств.

Извлечение металлов из некондиционного для традиционных технологий сырья увеличивается при совмещении процессов активации руд и хвостов обогащения в дезинтеграторах и выщелачивания. В дезинтегратор поступают хвосты обогащения и реагент.

Время комбинированной механо-химической активации хвостов обогащения составляет первые секунды, в то время как продолжительность даже агитационного выщелачивания на два порядка больше [6].

Исследования возможности извлечения металлов из хвостов обогащения свинцово-цинковых руд выполнены нами в лаборатории ГФЦ УРАН (РСО-Алания) с использованием дезинтегратора ДЕЗ-11, отличающегося возможностью подачи в рабочую камеру реагента и выдачи из нее производственного раствора металла.

Хвосты обогащения в тяжелых суспензиях получены из руд садонских месторождений состава: крупнозернистые граниты – 40%; порфириты – 30%; песчаники – 20%; жильный материал – 8%; рудные минералы – 2%. Содержание основных металлов в хвостах: пирит – 1,4%; сфалерит – 0,6%; галенит – 0,06%; халькопирит – 0,05%. Породные разности: граниты, плагиоклаз, микроклин, кварц, карбонат, хлорит, порфирит, песчаник имеют размеры зерен от 0,03 до 3 мм. Жильные минералы: кварц, карбонат, кальцит, хлорит, сидериты характеризуются размером зерен – до 0,3 мм. Химический состав хвостов обогащения, %: SiO_2 – 31,4; Fe – 4,4; CaO – 1,96; S – 1,88; Ag – 0,015; Cu – 0,18; Mn – 0,015; K_2O – 3,5; Al_2O_3 – 0,8; TiO_2 – 0,03. Остаточное содержание, процент: цинк – 0,95; свинец – 0,84.

Характеристика дезинтегратора: производительность при измельчении материала с плотностью 2-3 г/см³, при оборотах роторов 12000 мин⁻¹ – 10 кг/ч, максимальный исходный размер частиц обрабатываемого материала – 2,5 мм, максимальная влажность измельчаемого материала – 2%.

Сравнивались варианты выщелачивания цинка и свинца:

- в перколяторе без активации в дезинтеграторе;
- в перколяторе после активации в дезинтеграторе;
- при совмещении процессов активации в корзине дезинтегратора.

Спеціальні та комбіновані методи

Експерименти осуществлены с использованием математического планирования по плану Венкена-Бокса. Независимыми факторами являлись:

- содержание серной кислоты в растворе (X_1) в пределах 2-6-10 г/л;
- содержание хлорида натрия в растворе (X_2) в пределах 20-90-160 г/л;
- весовое соотношение массы раствора и выщелачиваемой массы, обрабатываемой в единичном эксперименте (50 г) в пределах 4-7-10;
- время выщелачивания в пределах 0,15-0,625-1,0 ч.;
- частота вращения роторов дезинтегратора в пределах 50-125-200 Гц.

Результаты выщелачивания хвостов обогащения сведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты перколяторного выщелачивания хвостов

Уровень независимых факторов				Фактические значения величин				Содержание в растворе, мг/л		Извлечение в раствор, %	
X_1	X_2	X_3	X_4	H ₂ SO ₄ , г/л	NaCl, г/л	Ж÷Т	Время, ч	Zn	Pb	Zn	Pb
-1	-1	-1	-1	2	20	4	0,25	980	30	41,25	1,48
1	-1	-1	-1	10	20	4	0,25	1360	10	57,3	0,48
-1	1	-1	-1	2	160	4	0,25	430	760	18,3	36,8
1	1	-1	-1	10	160	4	0,25	570	800	24,0	38,1
-1	-1	1	-1	2	20	10	0,25	460	30	48,4	3,57
1	-1	1	-1	10	20	10	0,25	970	40	102,1	4,76
-1	1	1	-1	2	160	10	0,25	120	260	12,6	30,9
1	1	1	-1	10	160	10	0,25	170	300	17,9	35,7
-1	-1	-1	1	2	20	4	1,0	180	360	18,9	17,1
1	-1	-1	1	10	20	4	1,0	2690	30	113,2	1,43
-1	1	-1	1	2	160	4	1,0	260	520	10,9	24,8
1	1	-1	1	10	160	4	1,0	670	780	28,2	37,1
-1	-1	1	1	2	20	10	1,0	470	30	49,5	3,57
1	-1	1	1	10	20	10	1,0	480	15	50,5	1,79
-1	1	1	1	2	160	10	1,0	150	390	15,8	46,4
1	1	1	1	10	160	10	1,0	180	370	18,9	44,0
-1	0	0	0	2	90	7	0,625	290	430	21,4	35,8
1	0	0	0	10	90	7	0,625	470	500	34,6	417
0	-1	0	0	6	20	7	0,625	920	20	68,5	1,67
0	1	0	0	6	160	7	0,625	350	540	25,8	45,0
0	0	-1	0	6	90	4	0,625	970	510	40,9	243
0	0	1	0	6	90	10	0,625	350	490	36,8	58,3
0	0	0	-1	6	90	7	0,25	550	590	40,5	49,2
0	0	0	1	6	90	7	1,0	580	490	42,7	40,8

Извлечение металлов в раствор характеризуется табл. 2.

Таблица 2

Результаты извлечения металлов в раствор выщелачиванием

Серии	Свинец, %	Цинк, %
Без активации в дезинтеграторе	13	10
После активации в дезинтеграторе	22	22
При совмещении процессов в дезинтеграторе	22	22

Результаты исследования извлечения металлов в раствор позволяют сделать выводы:

1. Активация в дезинтеграторе с последующим выщелачиванием вне его по сравнению с традиционным выщелачиванием увеличивает извлечение из хвостов обогащения – по свинцу – в 1,7 раза, по цинку – в 2,2 раза;

2. Активация сырья в дезинтеграторе одновременно с выщелачиванием по сравнению с вариантом раздельной активации и выщелачивания увеличивает извлечение на такую же величину, но резко различается временем достижения этого результата.

Наибольшее влияние на процесс выщелачивания металлов оказывает продолжительность процесса.

Равные значения извлечения свинца и цинка в раствор обеспечивают:

– выщелачивание хвостов, предварительно активированных в дезинтеграторе вместе с выщелачивающими растворами;

– выщелачивание хвостов с многократным (до семи раз) пропуском их вместе с выщелачивающими растворами через дезинтегратор.

Время многократного пропускания хвостов через дезинтегратор 3-5 с, более чем на два порядка меньше времени агитационного выщелачивания 900-3600 с.

При обработке хвостов обогащения дезинтегратор обеспечивает выход активного класса 0,08 в объеме 44,4%.

Результаты эксперимента подтверждают возможность вовлечения в производство запасов хвостохранилищ в качестве альтернативы освоению новых месторождений.

Оптимизация процессов добычи металлов в рамках комплекса "недра-добыча-переработка" включает элементы:

– выдача на поверхность богатых руд для заводской переработки с минимальными потерями и разубоживанием;

– извлечение металлов из убогих руд подземным выщелачиванием после выемки 30-40% их объема;

– извлечение металлов из хвостов сортировки руд кучным выщелачиванием;

– извлечение металлов из хвостов обогащения технологиями с механохимической активацией процессов выщелачивания;

– утилизация вторичных хвостов выщелачивания с использованием активированной мелкой фракции в качестве вяжущего, а крупной фракции в качестве инертного заполнителя.

Приближается время, когда запасы техногенных месторождений достигнут таких объемов, что утилизацию их уже нельзя будет откладывать. Это придется делать, несмотря на то, что расходы на утилизацию будут значительно выше сегодняшних за счет ухудшения технологических свойств минералов вследствие негативных эффектов синэнергетической самоорганизации. Ускорение этого процесса происходит по мере осознания реальной опасности катастрофической деградации живого вещества, в том числе и Человека, на планете Земля [7].

Спеціальні та комбіновані методи

Список литературы

1. Российский статистический ежегодник // Госкомстат России: Стат.сб. – М., 2009.
2. Разработка месторождений полезных ископаемых. – Владикавказ: МАВР, 2006. – 990 с.
3. Голик В.И. Научные основы инновационных технологий извлечения металлов из хвостов обогащения // Цветная металлургия. – 2010. – №5.
4. Исмаилов Т.Т., Голик В.И., Дольников Е.Б. Специальные способы разработки месторождений полезных ископаемых. – М.: МГГУ, 2005. – 540 с.
5. Исмаилов Т.Т., Логачев А.В., Лузин Б.С., Голик В.И. Экономико-экологические аспекты переработки золотосодержащих хвостов обогащения // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – №6.
6. Логачев А.В., Голик В.И. К теории выщелачивания золота из некондиционного первичного и вторичного сырья // Обогащение руд. – 2009. – №2.
7. Гончаров В.И., Голик В.И. Философия горнорудного производства и устойчивое развитие горных территорий: Междунар. конф. "Устойчивое развитие горных территорий". – Владикавказ: Терек, 2004.

© Голик В.И., Комащенко В.И., Каргинов К.Г., 2012

*Надійшла до редколегії 20.01.2012 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. І.К. Младецьким*