

УДК 669.213.6

А.А. ПИВОВАРОВ, М.И. ВОРОБЬЕВА

## ВЛИЯНИЕ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИ АКТИВИРОВАННЫХ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ НА ДОИЗМЕЛЬЧЕНИЕ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩЕГО РУДНОГО КОНЦЕНТРАТА МОКРЫМ СПОСОБОМ.

ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет», г. Днепропетровск

Установлено, что использование воды, подверженной действию контактной неравновесной низкотемпературной плазмы (КНП), на стадии доизмельчения способствует повышению дисперсности и пористости концентрата в сравнении с механоактивацией обычным мокрым способом, а последующее выщелачивание образцов позволяет повысить степень извлечения благородных металлов.

### **Введение**

В настоящее время разработка новых и усовершенствование существующих гидрометаллургических процессов извлечения благородных металлов из минерального сырья является предметом теоретических и экспериментальных исследований [1]. В связи с исчерпаемостью легкообогатимого сырья особый интерес представляют месторождения упорных руд, переработка которых требует новых технологических приемов, так как известные условия не обеспечивают достаточно высокой степени извлечения благородных металлов и сопровождаются повышенными затратами для отдельных технологических операций [2]. В работах [3,4] установлено, что использование растворов, подверженных действию контактной неравновесной низкотемпературной плазмы (КНП), позволяет интенсифицировать процесс извлечения благородных металлов, но при этом степень выщелачивания не является предельно возможной.

Одним из способов повышения эффективности процесса цианирования является предварительное доизмельчение исходного сырья перед выщелачиванием. Однако этот процесс относится к наиболее энергоемким и трудоемким, при котором капитальные затраты и эксплуатационные расходы могут составлять 70% от общетехнологических [5].

В связи с этим усовершенствование процесса доизмельчения посредством повышения производительности и снижения удельных энергетических затрат является актуальным.

В зависимости от компонентного состава и физических свойств обрабатываемого сырья применяют мокрое или сухое доизмельчение [6]. При

мокрым помоле из подводимого к твердому телу количества энергии на деформацию и раскол решетки частиц приходится большая ее часть, чем при сухом измельчении, что позволяет в несколько раз повысить производительность процесса измельчения. Введение химических компонентов, таких как сульфитно-спиртовая барда, борнилацетат, стеарат и т.д. способствует увеличению интенсивности помола [7]. Вместе с тем, их применение сопряжено с последующей очисткой измельчаемого сырья, что влечет за собой затраты на дополнительные технологические операции.

В данной работе представлены результаты исследований, целью которых было повышение степени извлечения благородных металлов из рудных концентратов за счет их доизмельчения мокрым способом с применением в качестве увлажняющего агента воды, активированной под действием КНП.

### **Методика исследований**

В качестве объекта исследования использовали предварительно измельченный рудный концентрат, который по компонентному составу может быть отнесен к золотосульфидному типу. Размер частиц составляет 0,25–0,01 мм. Для последующей механоактивации исходного сырья использовали шаровую мельницу МШ – 250×160 с частотой вращения 64 об./мин. Соотношение концентрата и керамических шаров по массе при измельчении в барабане составляло 1:3. При мокром доизмельчении в первом случае в барабан добавляли технологическую воду, а во втором «воду, подверженную действию КНП, в соотношении Т:Ж=1:2. Длительность процесса доизмель-

чения составляла от 30 до 270 мин. Измерение пористости концентрата проводили по ГОСТ 25732-88. Гранулометрический состав образцов исследовали седиментационным методом при помощи установки Сабанина. Поверхность концентрата рассматривали методом растровой электронной микроскопии с помощью микроскопа РЭМ-106И. Плазменную обработку воды проводили с использованием лабораторной установки. Плазмохимически активированная вода обладает следующими характеристиками: в зависимости от условий плазменной обработки вода содержит 100–600 мг/л перекисных и надперекисных соединений и имеет рН от 4 до 11. Для сравнения был выбран способ доизмельчения рудного концентрата, в котором в качестве увлажняющего агента использовали технологическую воду с параметрами, близкими к воде из естественных источников.

**Результаты исследований**

Опыты проводились в троекратной повторности в соответствии с методами измельчения рудных материалов по аналогии с производством керамической шликерной массы [8]. Полученные данные представлены как среднее арифметическое результатов одной серии опытов.

Повышение дисперсности рудного концентрата способствует более глубокой его переработке за счет вскрытия упорных компонентов, например сульфидов, повышающих доступ реагирующих компонентов к рассеянным благородным металлам. Известно, что процессы измельчения дорогостоящие и длительные во времени [6]. Однако следует предположить, что более высокая степень извлечения благородных металлов может быть компенсатором дополнительных энергозатрат в случае необходимости доизмельчения промышленного рудного концентрата, регламентированного известными нормативными параметрами.

Результаты экспериментальных исследований доизмельчения рудного концентрата мокрым способом с использованием воды, обработанной контактной низкотемпературной плазмой, представлены в табл. 1.

Анализ экспериментальных данных свидетельствует, что применение плазмохимически активированной воды при доизмельчении рудного концентрата способствует более быстрому росту дисперсности частиц в сравнении с обычным мокрым доизмельчением. Реальный выход фракции менее 0,01 мм после измельчения концентрата в течение 30 мин составляет: с использованием технологической воды и активированной под действием КНП – 35,2 и 58,9%, соответственно. Доизмельчение с использованием плазмохимически активированной воды в течение 65 мин позволяет получить 85,86% фракции менее 0,01, что в 1,5 раза превышает аналогичные значения при традиционном мокром доизмельчении за тот же период времени.

Как показали исследования, дальнейшее увеличение времени механоактивации с использованием технологической воды увеличивает тонину помола для фракции менее 0,01 мм с 26,16 до 69,09%. При использовании плазмохимически активированной воды имеет место аналогичное изменение тонины помола при достижении времени 135 мин с 58,97 до 88,11%, а дальнейшее доизмельчение в течение 270 мин приводит к снижению доли указанной фракции в среднем на 19%, что, по-видимому, связано с эффектом агрегации частиц вследствие резко возрастающей их поверхностной энергии [9].

При доизмельчении твердого тела, как правило, разрушение начинается в местах расположения микродефектов [10]. Увеличение нагрузки приводит к развитию в них дополнительных микротрещин, однако их ширина часто является недостаточной для полного преодоления сил межмолекулярного взаимодействия, и последующее снятие нагрузки приводит к восстановлению первоначальной структуры. Высокая дисперсность концентрата при доизмельчении с использованием плазмохимически активированной воды может быть вызвана ее качественно новыми приобретенными в результате плазменной обработки физико-химическими свойствами. Так, в результате активирования в воде происходят структурные изменения с

Таблица 1

**Влияние доизмельчения мокрым способом на изменение дисперсности рудного концентрата**

Водная среда	Время доизмельчения, мин	Размер частиц, мм			
		>0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	<0,01
		Выход фракции, %			
Технологическая вода	0	14,00	29,81	30,02	26,16
	30	10,18	26,91	27,66	35,23
	65	7,82	23,16	21,07	47,91
	135	5,81	19,45	17,95	56,77
	270	2,33	12,76	15,77	69,09
Плазмохимически активированная вода	30	10,00	21,90	10,03	58,97
	65	3,93	3,17	7,03	85,86
	135	0,64	3,58	7,65	88,11
	270	4,15	5,32	21,53	68,99

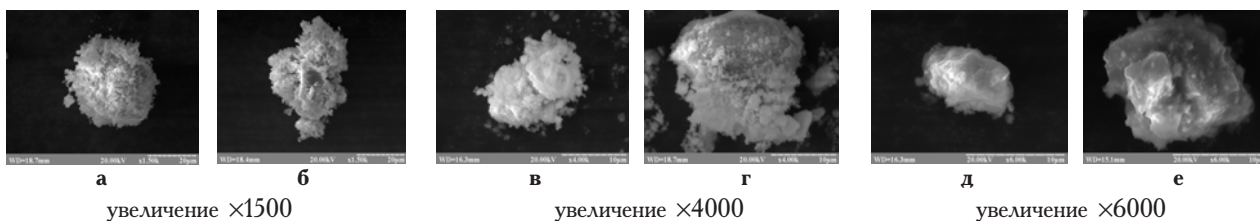


Рис. 1. Структура образцов, полученных в результате измельчения рудного концентрата при мокром помолу с использованием воды технологической (а, в, д) и плазмохимически активированной (б, г, е)

образованием радикалов и частиц, гидратированных электронов, перекисных и надперекисных соединений, что повышает ее реакционную способность и обеспечивает более активное проникновение воды в микротрещины и поры измельчаемого материала, недоступные для структурных составляющих обычной технологической воды. Проникая в зону формирования микротрещин, молекулы воды ослабляют связи между поверхностными элементами кристаллической решетки частиц, препятствуя возобновлению молекулярного взаимодействия и тем самым способствуя повышению эффективности помола. Таким образом, в процессе доизмельчения концентрата с использованием плазмохимически активированной воды наблюдается значительный рост дисперсности в отличие от механоактивации концентрата обычным мокрым способом.

Доказательством указанного явления могут служить исследования по определению влияния механоактивации с использованием воды, обработанной КНП, на пористость и морфологию поверхности концентрата. На рис. 1 представлены электронно-микроскопические фотографии поверхности образцов после доизмельчения рудного концентрата

Анализ микрофотографий (рис. 1) показывает, что все исследуемые образцы механоактивированного рудного концентрата имеют достаточно развитую поверхность, с множеством плоских граней и формой частиц приближающейся к сферической.

Однако поверхность частиц рудного концентрата, доизмельченного с применением плазмохимически активированной воды (рис. 1,б и 1,г) имеет более рыхлую и пористую структуру с резко очерченными гранями, в сравнении с плотной ассоциацией и гладкими формами (рис. 1,а и 1,в) рудного концентрата, доизмельченного с использованием технологической воды. Сравнительная характеристика приведенных данных свидетельствует о том, что в случае доизмельчения концентрата водой, активированной под действием КНП, в образцах наблюдаются появление слоистости (рис. 1,г). По-видимому, это связано с тем, что разрушению активированной водой дополнительно подвергаются определенные связи в структуре рудного материала. Поэтому, во время размолла разрушение поверхности происходит главным образом в

местах скрепления плоскостей частиц, что и привело к появлению некоторой слоистости в структуре образца.

Результаты измерения пористости исходного концентрата доизмельченного с использованием технологической и подверженной действию КНП воды представлены в табл. 2. Анализ полученных данных показывает, что в результате измельчения концентрата с использованием плазмохимически активированной воды пористость частиц концентрата увеличивается с 11,1 до 15,9%, что свидетельствует о снижении их прочности и раскрытии (разрыхлении) минеральных составляющих в процессе обработки. Повышение пористости частиц концентрата является благоприятным фактором для последующего процесса цианирования, поскольку улучшаются условия для более глубокого проникновения цианистого раствора к вскрытым частицам золота и сокращения непроизводительных потерь как сырья, так и химических реагентов.

Таблица 2

Характер изменения пористости частиц рудного концентрата при различных методах доизмельчения

Водная среда	Время измельчения, мин	Пористость, %
Технологическая вода	0	10,9
	30	11,1
	65	11,3
	135	11,6
	270	11,9
Активированная вода	30	13,0
	65	15,0
	135	15,7
	270	15,9

Доказательством эффективности доизмельчения рудного концентрата с использованием плазмохимически активированной воды являются данные, характеризующие изменение степени выщелачивания благородных металлов цианистыми растворами при соблюдении аналогичных технологических условий для сравниваемых образцов (измельченного и доизмельченного). Результаты исследований влияния дополнительного доизмельчения рудного концентрата с использованием водопроводной и активированной под действием КНП воды на интенсификацию растворения золота пред-

ставлены на рис. 2.

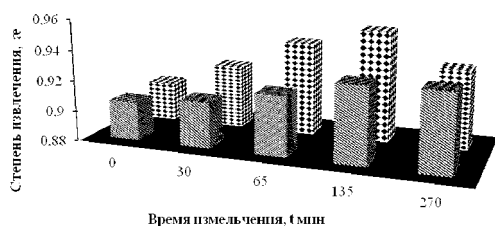


Рис. 2. Влияние предварительного доизмельчения рудного концентрата мокрым способом на степень извлечения золота: ▨ — технологическая вода; ▩ — плазмохимически активированная вода

Анализ экспериментальных данных (рис. 2) свидетельствует, что дисперсность концентрата, полученная при его доизмельчении в течение 30 мин с использованием технологической воды, практически не способствует повышению степени извлечения золота в сравнении с исходным измельченным рудным концентратом при последующем его цианировании. В результате цианистой обработки рудного концентрата, в котором содержание фракции менее 0,01 мм (>50%) достигнута степень извлечения благородных металлов на уровне 0,92–0,93. При аналогичном цианировании образцов рудного концентрата, доизмельченного с применением плазмохимически активированной воды, гранулометрический состав которого более чем на 80% представлен фракцией менее 0,01 мм, наблюдается увеличение степени выщелачивания до 0,94–0,95, что в среднем на 4–5% выше, чем при выщелачивании исходного рудного концентрата.

#### Выводы

Установлено, что использование воды, обработанной контактной неравновесной низкотемпературной плазмой на стадии доизмельчения, способствует повышению эффективности помола, а последующее выщелачивание механоактивированного сырья позволяет повысить степень извлечения благородных металлов более, чем на 4–5%. Исследование морфологии поверхности порообразующих компонентов показало, что в результате размала с использованием активированной воды поверхности частиц рудного концентрата становятся более рыхлыми и пористыми.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кравченко В. М. Направления и перспективы поисков благородных металлов в Украине // Сборник научных трудов национальной горной академии Украины. « 1998. — № 3. — Т.2. « С.95.
2. Гучетль И.С., Друкель Е.Н., Барышников Л.В. Переработка упорных золотосодержащих руд и концентратов. — М.: Институт «Цветметинформация», 1972. — 60 с.
3. Пивоваров А.А., Воробьева М.И. Экологические аспекты выщелачивания благородных металлов из рудных концентратов // Сб. научных статей 3-го всеукраинского съезда экологов с международным участием. — Ч.2. — Винница: ВНТУ. — 2011. — С.532-535.
4. Пивоваров А.А., Воробьева М.И. Особенности выщелачивания благородных металлов из рудных концентратов активированными растворами // Химия и химические технологии: Сб. тез. 4-й Международной конф. — Днепропетровск: УГХТУ. — 2011. — С.129.
5. Интенсификация процесса измельчения труднообогатимой золотосодержащей руды Албазинского месторождения / Н.Л. Литвинов, Н.Г. Ятлукова, Т.Н. Мельникова, Е.И. Данилов // Горный журн. — 2006. — № 10. — С.63-64.
6. Крупа А.А., Городов В.С. Химическая технология керамических материалов: Учеб. пособие — К.: Высш. шк., 1990. — 399 с.
7. Использование поверхностно-активных веществ в обогащении руд цветных металлов / Долина Л.Ф. и др. // Обзорная информация. Обогащение руд цветных металлов. — 0000. — Вып.6. — С.32-33.
8. Юшкевич М.О., Роговой М.И.. Технология керамики. — М.: Наука, 1969. — 459 с.
9. Плаксин И.Н. Металлургия благородных металлов. — М., 1958 — 207 с.
10. Металлургия благородных металлов / Масленицкий И.Н., Чугаев Л.В., Борбат В.Ф., Никитин М.Ф., Стрижко Л. — М: Металлургия, 1987. — 432 с.

Поступила в редакцию 20.12.2011