

В.А. МАРТИРОСЯН, К.В. САРКИСЯН, М.Э. САСУНЦЯН,
Ю.О. ЛИСОВСКАЯ

**ТЕРМООБРАБОТКА ДРМБОНСКОГО ЗОЛОТО-МЕДНОГО
СУЛЬФИДНОГО КОНЦЕНТРАТА ПРИ СЕРНОКИСЛОТНОМ
ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ**

Исследована возможность переработки дрмбонского золото-медного сульфидного концентрата методом термообработки (обжига) с целью дальнейшей интенсификации процессов сернокислотного выщелачивания. Выбраны оптимальные условия термообработки и выщелачивания для обеспечения максимального выхода меди в раствор.

Ключевые слова: термообработка, дрмбонский медно-сульфидный концентрат, сернокислотное выщелачивание, медь, золото.

Введение. В последнее время в металлургической промышленности переработки цветных металлов гидрометаллургия занимает прочное место. Основным недостатком гидрометаллургии по сравнению с пирометаллургией является невысокая интенсивность процесса. Для обеспечения более совершенного в экологическом отношении гидрометаллургического производства важное значение имеет интенсификация операции выщелачивания, а именно - повышение скорости сернокислотного выщелачивания ценных компонентов из минерального сырья методом термической активации [1,2]. Особый интерес представляет термическая обработка сульфидов [3-5], являющихся основой рудного сырья в производстве многих цветных металлов и в то же время одним из наиболее труднорастворимых в неорганических растворителях классов соединений. Характерным примером термической активации сырья, применяемого в промышленных масштабах, является сульфатизирующий обжиг медных концентратов, в процессе которого высшие сульфиды (пирит, пирротин, халькопирит, борнит) диссоциируют с удалением части серы в элементной форме и с образованием сульфидов железа (типа триолита). Последние отличаются значительной реакционной способностью при окислительном или кислотном режиме выщелачивания, в результате чего извлекаемые компоненты переходят в более быстро и полно растворимые формы и одновременно обеспечивают селективность их выщелачивания [6].

Способ прокаливания с “закалкой” в воде заключается в том, что термические напряжения разрушают кристаллы, вызывают образование дефектов и сколы по плоскостям спайности, что облегчает последующее измельчение с освобождением зерен ценного компонента. Термический способ активирования можно оценить как весьма действенный, поскольку он приводит к значительному

изменению не только химического, но и фазового состава обрабатываемого материала.

Целью работы является увеличение реакционной способности сульфидных концентратов меди методом интенсификации дальнейших гидрометаллургических процессов путем их термоактивации различными способами в присутствии $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{O}_2$, $\text{NaOH} + \text{NaNO}_3$, $\text{NaOH} + \text{NaCl}$ и последующего выщелачивания меди в водной среде и в среде серной кислоты.

1. Методика проведения эксперимента. Выбраны оптимальные условия термической активации и выщелачивания для обеспечения максимального выхода меди в раствор. Химический состав выбранного для изучения концентрата, %: Cu - 18,00; Fe - 35,00; S - 32,00; Ca - 1,07; Mg - 0,90; Si - 3,27; C - 0,69; O₂ - 2,6; остальное - 6,47; минералогический состав, %: CuFeS_2 - 36,30; Cu_2S - 6,75; FeS_2 - 34,00; Fe_2O_3 - 10,55; CaCO_3 - 2,50; MgCO_3 - 2,70; SiO_2 - 7,00, остальное - 0,20. Содержание золота и серебра в концентрате: 50 г/т Au, 70 г/т Ag.

Обжиг концентрата проводили в лабораторной муфельной печи СНОЛ 20/12 с максимальной температурой нагрева 1000 °С. Печь нагревали до заданной температуры, взвешивали определенное количество концентрата, засыпали в корундовые тигли и ставили в муфельную печь. Этот момент считали началом обжига. После обжига огарок охлаждали до комнатной температуры и взвешивали.

Порядок проведения опытов выщелачивания был следующим: готовили раствор заданного состава и объема, включали мешалку, взвешивали необходимое для данного опыта количество медного концентрата, которое загружали в реактор. Этот момент считали началом опыта. На стенке стакана отмечали уровень пульпы в условиях перемешивания. В течение эксперимента добавляли воду для поддержания заданного отношения Т:Ж. По окончании опыта пульпу отфильтровывали с помощью вакуум-насоса, кек тщательно промывали до полного обесцвечивания промвод, высушивали в сушильном шкафу до постоянной массы при температуре 120 °С, взвешивали и анализировали на медь и железо [6]. Растворы после выщелачивания анализировали на медь.

Рентгенофазовое исследование проводили с помощью рентгенографа марки “ДРОН-3,0” с использованием $\text{CuK}\alpha$ -излучения и никелевого фильтра в следующем режиме: напряжение - 25 кВ, сила тока - 10 мА, скорость записи - 420 мм·ч⁻¹. Составы полученных фаз подвергались также химическому анализу.

2. Термодинамический анализ реакций процессов. Процессы обжига и дальнейшего выщелачивания дробленого концентрата являются весьма сложными. В них возможно одновременное протекание как параллельных, так и последовательных реакций. Критерием самопроизвольности протекания этих реакций при постоянных давлениях и температурах является убыль энергии Гиббса (ΔG_T^0). Для ориентировочной оценки возможности протекания той или иной

реакции по предлагаемой технологии переработки дробонского концентрата проведены термодинамические исследования [7,8]. Термодинамические расчеты выполнены на основании уравнения Гиббса-Гельмгольца: $\Delta G_T^0 = \Delta H_T^0 - T\Delta S_T^0$, где ΔH_T^0 - энтальпия, кДж/моль; ΔS_T^0 - энтропия, Дж/моль; T - температура, К. Расчеты проводили без интегральных поправок на изменение теплоёмкости веществ. Результаты расчетов представлены в виде графиков (рис. 1).

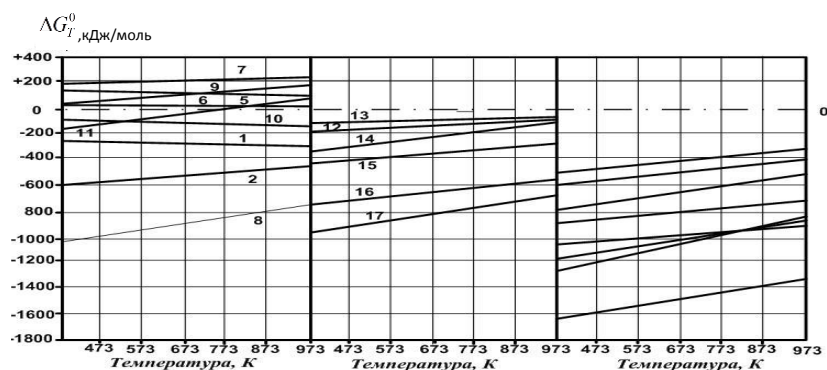


Рис. 1. Зависимость значения убыли свободной энергии Гиббса от температуры для реакций 1...25

- | | |
|--|--|
| 1. $\text{CuS} + 2\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{O}_2 = \text{CuSO}_4 + \text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O};$ | 13. $\text{FeS}_2 + 6\text{NaNO}_3 = 6\text{NaNO}_2 + \text{FeSO}_4 + \text{SO}_2;$ |
| 2. $\text{Cu}_2\text{S} + 2\text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{O}_2 = 2\text{CuSO}_4 + \text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O};$ | 14. $\text{CuFeS}_2 + 8\text{NaNO}_3 = \text{CuSO}_4 + \text{FeSO}_4 + 8\text{NaNO}_2;$ |
| 3. $\text{CuFeS}_2 + 5\text{H}_2\text{SO}_4 + 7/2 \text{O}_2 = 2\text{CuSO}_4 + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{SO}_2 + 5\text{H}_2\text{O};$ | 15. $\text{CuS} + 4\text{NaNO}_3 + 2\text{NaOH} = \text{Cu}(\text{OH})_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + 4\text{NaNO}_2;$ |
| 4. $2\text{FeS}_2 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 + 11/2 \text{O}_2 = \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 4\text{SO}_2 + 3\text{H}_2\text{O};$ | 16. $\text{FeS}_2 + 6\text{NaNO}_3 + 2\text{NaOH} = \text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + 4\text{NaNO}_2 + \text{SO}_2;$ |
| 5. $\text{CuSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Cu}(\text{OH})_2 + \text{H}_2\text{SO}_4;$ | 17. $\text{CuFeS}_2 + 8\text{NaNO}_3 + 4\text{NaOH} = \text{Cu}(\text{OH})_2 + \text{Fe}(\text{OH})_2 + 8\text{NaNO}_2 + 2\text{Na}_2\text{SO}_4;$ |
| 6. $\text{FeSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{H}_2\text{SO}_4;$ | 18. $\text{CuS} + 2\text{O}_2 + 2\text{NaOH} = \text{Cu}(\text{OH})_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4;$ |
| 7. $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 6\text{H}_2\text{O} = 2\text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4;$ | 19. $\text{Cu}_2\text{S} + 2\text{O}_2 + 2\text{NaOH} = 2\text{CuOH} + \text{Na}_2\text{SO}_4;$ |
| 8. $4\text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{Fe}(\text{OH})_3;$ | 20. $\text{FeS}_2 + 3\text{O}_2 + 2\text{NaOH} = \text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{SO}_2;$ |
| 9. $4\text{CuOH} + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{Cu}(\text{OH})_2;$ | 21. $\text{CuFeS}_2 + 4\text{O}_2 + 4\text{NaOH} = \text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{Cu}(\text{OH})_2 + 2\text{Na}_2\text{SO}_4;$ |
| 10. $\text{Cu}(\text{OH})_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{CuSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O};$ | 22. $\text{CuS} + 2\text{NaCl} + 2\text{O}_2 = \text{CuCl}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4;$ |
| 11. $2\text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 6\text{H}_2\text{O};$ | 23. $\text{Cu}_2\text{S} + 2\text{NaCl} + 2\text{O}_2 = 2\text{CuCl}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4;$ |
| 12. $\text{CuS} + 4\text{NaNO}_3 = 4\text{NaNO}_2 + \text{CuSO}_4;$ | 24. $\text{CuFeS}_2 + 4\text{NaCl} + 4\text{O}_2 = \text{CuCl}_2 + \text{FeCl}_2 + 2\text{Na}_2\text{SO}_4;$ |
| | 25. $\text{FeS}_2 + 2\text{NaCl} + 3\text{O}_2 = \text{FeCl}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{SO}_2.$ |

График состоит из трех частей. Показаны данные расчетов температурной зависимости ΔG_T^0 реакции окислительного обжига сульфидов меди и железа: в первой части - в присутствии серной кислоты (реакции 1...6) и реакции выщелачивания полученных продуктов обжига (реакции 7...11) от температуры; во второй части в присутствии NaNO_3 (реакции 12...14), а также смеси $\text{NaOH}+\text{NaNO}_3$ (реакции 15...17) от температуры; в третьей части - в присутствии NaOH (реакции 18...21), а также смеси $\text{NaOH}+\text{NaCl}$ (реакции 22...25).

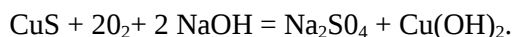
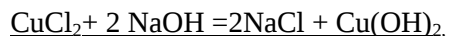
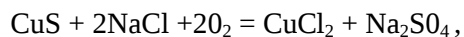
Как показывают значения ΔG_T^0 , для реакции обжигов сульфидов меди и железа в присутствии концентрированной H_2SO_4 и O_2 термодинамически вероятны и имеют наиболее отрицательное значение убыли энергии Гиббса (реакции 1...4). При этом с повышением температуры вероятность этих реакций уменьшается.

Реакции выщелачивания полученных сульфатов в водной среде почти не вероятны и имеют положительное значение убыли энергии Гиббса (реакции 5...7), несмотря на то, что растворимость сульфатов железа и меди в воде протекает хорошо при любых температурах. Кроме того, реакции гидролиза сопровождаются генерацией H_2SO_4 . Отметим, что с заметной вероятностью протекают реакции окисления $\text{Fe}(\text{OH})_2$ и CuOH до $\text{Cu}(\text{OH})_2$ и $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (реакции 8,9). Вероятны также продукты окислительного обжига ($\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{Cu}(\text{OH})_2$) при сернокислотном выщелачивании (реакции 10,11). Можно предположить, что суммарные реакции окислительного обжига и сернокислотного выщелачивания концентрата будут протекать с большой термодинамической вероятностью. При этом окислительный обжиг сульфидов меди и железа в присутствии H_2SO_4 сопровождается выделением SO_2 , что крайне нежелательно для этой технологии.

Суммарные реакции сульфатов меди и железа, полученных в результате окислительного обжига с сернокислотным выщелачиванием, аналогичны реакциям 1...4 и также термодинамически вероятны с отрицательным значением убыли энергии Гиббса (реакции 1...4). Оба процесса сопровождаются выделением SO_2 , что требует дальнейшей утилизации. Исходя из вышеизложенного, обсуждается термодинамическая вероятность реакции обжига сульфидов меди и железа с заменой кислорода другим окислителем - NaNO_3 (реакции 12...14). Эти реакции термодинамически вероятны и имеют значительное отрицательное значение убыли энергии Гиббса, особенно в присутствии NaOH (реакции 15...17). Но здесь также не решается вопрос утилизации сернистого газа, поэтому дальнейшее исследование проведено с применением окислительного обжига сульфидов меди и железа в присутствии NaOH .

Как видно из третьей части графика, все реакции обжига сульфидов в присутствии NaOH протекают с большой термодинамической вероятностью (реакции 18...21), поэтому обсуждалась термодинамическая вероятность протекания реакции окислительного хлорирующего обжига сульфидов меди и железа в присутствии NaCl (реакции 22...25).

Из хода кривых реакций 22...25 видно, что вероятность резко увеличивается. Можно полагать, что эти реакции с большой вероятностью могут протекать и в присутствии NaCl + NaOH, так как в этом случае реакции можно представить как сумму следующих реакций:



Если сравнить все случаи окислительного обжига и выщелачивания сульфидов меди и железа, то можно заметить, что наиболее предпочтительны реакции в присутствии NaOH + NaCl, вероятность протекания которых наивысшая (реакции 18...21), и в отличие от всех случаев, в этих реакциях исключается выделение нежелательного газа SO₂.

Результаты термодинамических расчетов нуждаются в экспериментальной проверке.

3. Экспериментальная часть. При исследовании химических реакций недостаточно использовать только термодинамический анализ, поскольку результаты его указывают лишь на вероятность протекания процесса. Необходимо изучить кинетику протекания процесса, определить его скорость и влияние на него ряда факторов, являющихся важными для выяснения путей интенсификации процесса, которые не всегда совпадают с выводами термодинамики.

Сульфиды цветных металлов, как правило, непосредственно не растворяются в неорганических кислотах, в частности, в серной кислоте. Для растворения сульфидов требуется наличие окислителей и различных веществ, способствующих повышению реакционной способности исходного концентрата. Поэтому в экспериментальных исследованиях все процессы термообработки проводились в присутствии окислителей.

Кинетические исследования проводились, в первую очередь, для экспериментальной проверки результатов термодинамических расчетов. Обсуждены различные варианты интенсификации процесса выщелачивания путем повышения реакционной способности дробонского концентрата термической активацией в присутствии H₂SO₄ + O₂ и смесей NaOH + NaNO₃ и NaOH + NaCl с дальнейшим выщелачиванием в каждом случае активированного концентрата в водной среде и в среде серной кислоты.

Расход серной кислоты принимали с учетом связывания в сульфаты извлекаемых цветных металлов (Cu+Fe). Навеску концентрата во всех опытах брали 10 г.

3.1. Обжиг с серной кислотой (выщелачивание концентрата после сульфатизации). Цель данной серии опытов - проверить возможность использования сульфатизирующего обжига для дробонского концентрата при термической

активации его путем окислительного обжига непосредственно с концентрированной H_2SO_4 . Расход концентрированной H_2SO_4 на 10 г концентрата составил 6,02 г, или 3,27 мл (это соответствует стехиометрическому расходу на взаимодействие с основными компонентами с образованием сульфатов). Навеску концентрата, смоченного кислотой, загружали в тигель, обжигали при 100 и 350 °C в течение 2-х или 4-х часов в присутствии кислорода воздуха, а продукт сульфатизации выщелачивали водой при Т:Ж=1:5, $t=100$ °C 1 ч. Из полученных данных видно (рис. 2), что сульфатизация концентрата при 250 °C в стехиометрическом расходе кислоты в течение 4 ч обеспечивает извлечение меди при последующем выщелачивании спёка водой более 61,60%.

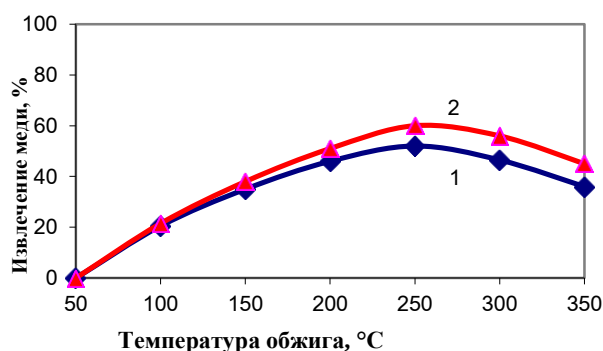


Рис. 2. Зависимость извлечения меди от температуры обжига в присутствии кислорода воздуха и выщелачивания продукта водой при Т:Ж=1:5, $t=100$ °C $\tau = 1$ ч:
1 - расход кислоты по стехиометрии, 2 - 20% избыток от стехиометрии

Возможно, такой вариант при соответствующей детальной проработке может обеспечить и большее извлечение меди в раствор, что вытекает также из термодинамических расчетов (рис.1, реакции 1...4), но проблема утилизации сернистых газов остаётся. Поэтому были проверены другие варианты обжига, исключающие выделение сернистых газов в атмосферу.

3.2. Предварительный окислительный обжиг концентрата с последующим сернокислотным выщелачиванием. Концентрат обжигали в муфельной печи, в алундовых тиглях, в присутствии кислорода воздуха, при температурах 200...600 °C при разных продолжительностях. Продукты обжига выщелачивали водным раствором серной кислоты при Т:Ж=1:4, $t=70$ °C в течение 1,5...3 ч. Суммарные реакции обжига и сернокислотного выщелачивания представлены также реакциями 1...4 (рис. 1). Результаты приведены на рис. 3.

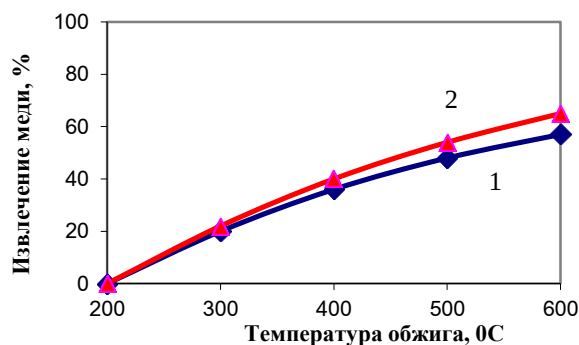


Рис. 3. Зависимость извлечения меди от температуры окислительного обжига концентрата с последующим сернокислотным выщелачиванием
1 - $C H_2SO_4 = 150$ г/л; 2- $C H_2SO_4 = 300$ г/л

Из приведённых результатов видно, что предварительный окислительный обжиг концентрата улучшает показатели выщелачивания, но извлечение не превышает 62,4%. Кроме того, в ходе экспериментов наблюдалось значительное выделение SO_2 , что противоречит поставленной в работе цели.

В этих условиях при выщелачивании сульфидных концентратов благородные металлы концентрируются в нерастворимом остатке - кеке от выщелачивания. Для их переработки используют традиционные технологии, например, цианирование с последующей сорбцией золота из пульпы и выделением металла из десорбатов электролизом.

Термодинамические расчеты показали, что выщелачивание в водном режиме (реакции 5...9) не дало положительных результатов, поэтому оно здесь не обсуждалось. В связи с этим были проверены другие варианты обжига, исключаящие выделение сернистых газов в атмосферу.

3.3. Обжиг концентрата с $NaNO_3$. Концентрат обжигали в муфельной печи при таких же условиях, но кислород заменили $NaNO_3$ в стехиометрическом количестве (2,54 г). Продукты обжига выщелачивали водным раствором серной кислоты при Т:Ж=1:4, $t=70$ °C в течение 1,5...7 ч. В ходе окислительного обжига возможны реакции 12...14 (рис. 1). В аналогичных условиях извлечение меди увеличивается, но не превышает 74,5%.

3.4. Обжиг концентрата с $NaOH+NaNO_3$. Пробы концентратов (10 г) тщательно перемешивали смесью 3,8 г сухой щёлочи и 2,54 г $NaNO_3$ (по стехиометрическому расходу) и обжигали в муфельной печи. Далее проводили выщелачивание водой и 2 н. водным раствором серной кислоты при Т:Ж = 1:5, $t= 100$ °C, $\tau_{выщ} = 1$ ч. В этих условиях извлечение меди заметно увеличивается и достигает 76% при продолжительности выщелачивания 3 ч. Это вытекает и из термодинамических расчетов (рис. 1, реакции 15...17). Но в данном случае также не исключается выделение газа SO_2 и H_2S .

3.5. Окислительный обжиг концентрата с NaOH. Пробу концентрата (10 г) тщательно перемешивали 3,8 г сухой щёлочи (по стехиометрическому расходу) и обжигали в муфельной печи. Далее проводили выщелачивание водой и 2 н. водным раствором серной кислоты при Т:Ж = 1:5, $t = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau_{\text{выщ}} = 1\text{ ч}$. Реакции протекают по уравнениям 18...21 (рис. 1). Как показали термодинамические расчеты, извлечение меди увеличивается и достигает 80,30%, но не исключается и наличие SO_2 в отходящих газах.

Проблему переработки дробонского сульфидного медного концентрата, исключаяющего выделение в атмосферу вредных газов, можно решить путём предварительного хлорирующего обжига с NaCl.

3.6. Обжиг концентрата с NaCl (вариант I). Обжиг проводили с NaCl в соотношении по массе 2:1 по концентрату в муфельной печи при различных температурах в течение одного часа. После обжига огарок выщелачивали водой при Т:Ж = 1:5, $t = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 1\text{ ч}$, а пульпу фильтровали. Фильтрат нейтрализовывали до pH = 6...7 с добавлением NaOH в присутствии метилоранжа. Выпавший осадок сине-зелёного цвета сушили при температуре 100...110 $^{\circ}\text{C}$. В маточном растворе медь не обнаружена. Фазовый и химический анализы показали, что он представляет собой гидратированный хлорид меди – $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Вторая серия опытов осуществлялась так же, как и первая, но огарок после сушки выщелачивали не водой, а серной кислотой при Т:Ж = 1:5, $t = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 1\text{ ч}$. Результаты приведены на рис.4 (реакции 22...25). Интересно отметить, что наибольшее извлечение меди в раствор достигается после обжига концентрата с хлоридом натрия при 450 $^{\circ}\text{C}$ и мало зависит от концентрации кислоты и температуры выщелачивания.

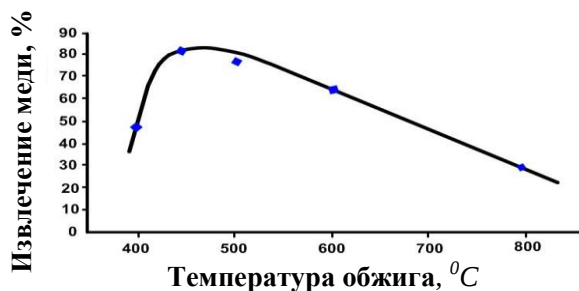


Рис. 4. Зависимость извлечения меди в раствор при выщелачивании огарка серной кислотой (40 г/л) от температуры обжига с NaCl ($\tau_{\text{обж}} = 2\text{ ч}$, $\tau_{\text{выщ}} = 2\text{ ч}$)

Существенное значение имеет длительность обжига и выщелачивания.

3.7. Обжиг концентрата с NaCl (вариант II). В муфельной печи обжигали концентрат с соотношением NaCl по массе 2:1 при различных температурах в течение одного часа. После обжига огарок выщелачивали водой при Т:Ж = 1:8,

$t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 1$ и 2 ч, а пульпу фильтровали. Фильтрат нейтрализовывали до $\text{pH} = 6 \dots 7$ с добавлением NaOH в присутствии метилоранжа. Выпадал осадок синезелёного цвета, а маточный раствор приобрел жёлтый цвет. Осадок сушили при температуре $100 \dots 110\text{ }^{\circ}\text{C}$. В маточном растворе медь не обнаружена. Фазовый и химический анализы показали, что осадок представляет собой гидратированный хлорид меди – $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Вторая серия опытов осуществлялась так же, как и первая, но огарок после сушки выщелачивали не водой, а серной кислотой при $\text{T}:\text{Ж} = 1:8$, $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\tau = 1$ ч и концентрации 60 г/л . На рис. 5 показана зависимость извлечения меди в раствор от продолжительности выщелачивания.

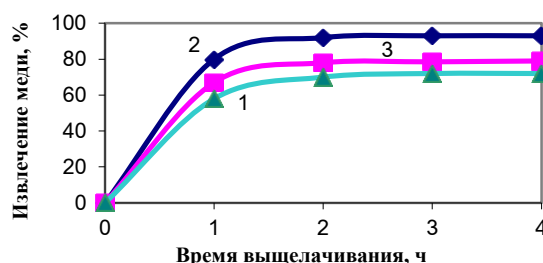


Рис. 5. Зависимость извлечения меди от продолжительности выщелачивания:
 1 – $t_{\text{обж}} = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$; 2 – $t_{\text{обж}} = 450\text{ }^{\circ}\text{C}$; 3 – $t_{\text{обж}} = 500\text{ }^{\circ}\text{C}$

Оптимальной следует считать длительность обжига 1 ч и выщелачивания – 2 ч, когда извлечение меди в раствор превышает 94,5%.

Полученный кек после выщелачивания подвергали минералогическому анализу (табл.). Основными минералами в пробе являются гематит и кварц. В самых лучших экспериментах содержание меди в кеках составляло менее 1%, а железа – около 50%.

Таблица

Фазовый состав кека выщелачивания

Минеральная фаза	Химическая формула	% (об)	% (по массе)
Гематит	Fe_2O_3	74,10	85,00
Кварц	SiO_2	25,90	15,00
Итого		100	100

Таким образом, максимальное извлечение меди в раствор достигается при обжиге концентрата в присутствии хлорида натрия при $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выщелачивании продукта обжига серной кислотой при концентрации 60 г/л в течение 1 ч – 83%, а в течение 2 часов – 94,5%.

4. Обсуждение результатов. Обработка концентрата концентрированной H_2SO_4 при $200 \dots 250\text{ }^{\circ}\text{C}$ в пробных опытах дала извлечение меди в раствор ~60%.

Такая обработка хотя и перспективна при оптимизации технологических параметров, но ведёт к выделению в атмосферу сернистого газа, например, по реакции: $\text{CuS} + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{O}_2 = \text{CuSO}_4 + \text{SO}_2$, что неприемлемо для дрмбонского концентрата. Это, собственно, и предопределило поиск технологий, исключающих загрязнение атмосферы сернистыми газами.

Проблему переработки дрмбонского сульфидного медного концентрата, исключаяющего выделение в атмосферу SO_2 , как показали наши исследования, можно решить путём предварительного хлорирующего обжига с NaCl . Такой вариант не новый и может осуществляться в простейшем пирометаллургическом оборудовании. Новым является то, что этот способ подготовки сульфидного сырья к выщелачиванию впервые был применён к дрмбонскому концентрату. Нами показано, что при оптимальных режимах можно достичь извлечения меди в раствор не ниже 95%.

Таким образом, при обжиге концентрата в присутствии NaCl получаются CuCl_2 , FeCl_2 и Na_2SO_4 :

Заключение. Необходимо отметить, что сульфидный концентрат Дрмбонского месторождения – чрезвычайно трудный объект для гидрометаллургической технологии. Как показали исследования, традиционно используемые приёмы интенсификации сернокислотного разложения при температурах до 100 °С для него малоэффективны. Для переработки такого типа сырья перспективно сочетание пиро- и гидрометаллургических процессов, в частности, хлорирующего обжига с последующим сернокислотным выщелачиванием полученного продукта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорян Г., Абрамян А., Мирзоян В. Основные характеристики медь-золото сульфидных руд Армении (Личкваз) и Арцаха (Дрмбон) // Ученые записки АргУ.- 2004.- №1(8).- С. 30-31.
2. Технологическая минералогия / Г.А. Сидоренко и др. – М.: Металлургия, 1992. - 233 с.
3. Набойченко С.С. Гидрометаллургия меди. - М.: Металлургия, 1974.- 254 с.
4. Герлах Я.К., Гокк Е.Д., Гош Ш.К. Активация и выщелачивание халькопиритных концентратов разбавленным раствором серной кислоты. - М.: Металлургия, 1978.- 186 с.
5. Гучетль И.С., Друкер Е.Я., Барышников И.Ф. Переработка упорных золотосодержащих руд и концентратов.- М.: Цветметинформация, 1972.- 60 с.
6. Dewhirst R.F., Moulton S.P., Coetzee J.A. Intensive cyanidation for the recovery of coarse gold // J.S. Afr / Inst. Mining and Met.- 1984.- 84, № 6. - P. 159-163.
7. Каковский И.А., Набойченко С.С. Термодинамика и кинетика гидрометаллургических процессов.- Алма-Ата: Наука, Казахское отделение, 1986.- 268 с.
8. Кубашевский О., Оллок С. Металлургическая термехимия. - М.: Металлургия, 1982.- 392 с.

ГИУА (ПОЛИТЕХНИК). Материал поступил в редакцию 10.02.2014.

**Վ.Հ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ, Զ.Վ. ՄԱՐԳՍՅԱՆ, Մ.Է. ՍԱՍՈՒՆՅԱՆ, ՅՈՒ. Օ. ԼԻՍՈՎՍԿԱՅԱ
ԶԵՐՄԱՍՇԱԿՈՒՄԸ ԴՐՄԲՈՆԻ ՈՍԿԻ - ՊՂՆՁԱՅԻՆ ՍՈՒԼՖԻԴԱՅԻՆ ԽՏԱՆՑՈՒԹԻ
ԾՇՄԲԱԹՔՎԱՅԻՆ ՏԱՐԴԱԼՈՒԾՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑՈՒՄ**

Քննարկվել է ջերմային ակտիվացման (թրծման) մեթոդի կիրառման հնարավորությունը՝ որպես Դրմբոնի ոսկի-պղնձային խտանյութերի հետագա ծծմբաթթվային տարրալուծման գործընթացի ինտենսիվացման արդյունավետ եղանակ: Ընտրվել են օպտիմալ պարամետրեր՝ խտանյութի նախնական ջերմաքիմիական ակտիվացման եղանակով տարրալուծման գործընթացում լուծույթում պղնձի առավելագույն ելք ապահովելու համար:

Առանցքային բառեր. ջերմամշակում, Դրմբոնի ոսկի-պղնձային սուլֆիդային խտանյութ, ծծմբաթթվային տարրալուծում, պղինձ, ոսկի:

**V.H. MARTIROSYAN, K.V. SARGSYAN, M.E. SASUNTSYAN, YU.O. LISOVSKAYA
HEAT TREATMENT OF THE DRMBON GOLD-COPPER SULPHIDIC
CONCENTRATE AT SULPHURIC ACID LEACHING**

The processing possibility of the Drmbon gold-copper sulphidic concentrate by the method of heat treatment (roasting) for the purpose of a further intensification of the sulphuric acid leaching processes is investigated. The optimum conditions of heat treatment and leaching for providing the maximum extraction of copper into the solution are selected.

Keywords: heat treatment, Drmbon copper and sulphidic concentrate, sulphuric acid leaching, copper, gold.