

С.Ш. Шарипов, PhD, зав. кафедрой;  
Б.Ф. Мухиддинов, проф., д-р техн. наук;  
Р.А. Данакулова, студ.  
(НГГТУ, г. Навои, Узбекистан)

## **ОКИСЛИТЕЛЬНЫЙ ОБЖИГ УПОРНЫХ СУЛЬФИДНЫХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ АУМИНЗО-АМАНТАЙ**

Применение традиционных методов переработки упорных сульфидных руд не всегда даёт положительные результаты, так как характеристики таких типов руд требует использование более рациональных способов [1–3]. Одним из таких эффективных способов обогащения является применение окислительного обжига [4–5]. Окислительный обжиг, по сути, считается термохимическим процессом, в котором происходит нагрев упорных сульфидных руд в присутствии кислорода для изменения химического состава, улучшения их перерабатываемости и извлечения ценных металлов. На сегодняшний день процессы окислительного обжига выполняют на современных печах псевдоожиженного кипящего слоя и ротационном оборудовании [6–7]. Основные направления исследований в этой области будут направлены на определение оптимальных параметров процесса окислительного обжига.

Нами, для установления оптимальных температурных режимов обжига, выполнены следующие эксперименты. Исходный материал флотоконцентрата ГМЗ-5 подвергали обжигу в разных температурных интервалах от 300 °C до 800°C. Процесс выполняли в муфельной печи марки SNOL 8,2/1100 LSM01. Время эксперимента во всех случаях составило 15-120 мин с перемешиванием материала каждые 10 мин. Перед началом опыта определяли основные показатели исходного флотоконцентрата. При этом исходный флотоконцентрат имел следующие показатели:

$Au = 20,0$  г/т;  $S_s = 17,64$  %;  $C_{орг} = 2,98$  %; влаж. = 9,79 %

В ходе обжига тщательно наблюдали над видоизменениями материала и газовыделением. По результатам эксперимента можно констатировать что при 300 °C и протяженности эксперимента 2 ч, выделение газов не наблюдалось. Проба в конце опыта имела буро-серый цвет. При 400 °C с небольшой подачей воздуха при продолжительности эксперимента 2 ч, в конце опыта наблюдается характерный запах. Цвет пробы – серый. При 500 °C с подачей воздуха через 15 мин наблюдается накаливание пробы, через 1 ч накаливание не наблюдается, но изменяется цвет пробы до коричневого. При 600 °C через 10 мин начинается накаливание пробы, через 40 мин накаливание не наблюдается, выделение газов также не наблюдается, цвет пробы из-

меняется на коричневый. При 700 °С происходит следующее: через 7 мин начинается накаливание пробы, но после обработки в течение 1 и 2-х ч пробы еще были накалены, выделение газов не наблюдалось. Цвет пробы – красновато коричневый. При 800 °С через 5 мин начинается накаливание пробы, но после часовой и двухчасовой обработки проба еще была накалена. При этом образовались большие окатыши, цвет пробы – красно-коричневый, выделение газов не наблюдалось.

**Таблица – Результаты лабораторных испытаний по обжигу флотоконцентрата ГМЗ-5 при разных температурах**

| № | Температурный режим, °С | Состав огарка |       |                      | Au в хвостах сорбции, г/тн | Извлечение, % |
|---|-------------------------|---------------|-------|----------------------|----------------------------|---------------|
|   |                         | Au, г/тн      | Ss, % | C <sub>орг</sub> , % |                            |               |
| 1 | 300                     | 22,3          | 15,83 | 2,62                 | 8,5                        | 61,8          |
| 2 | 400                     | 24,2          | 7,44  | 2,38                 | 8,9                        | 63,2          |
| 3 | 500                     | 27,2          | 0,31  | 0,54                 | 4,4                        | 86,3          |
| 4 | 600                     | 25,9          | 0,09  | 0,17                 | 4,25                       | 83,5          |
| 5 | 700                     | 26,6          | 0,1   | 0,16                 | 9,15                       | 65,6          |
| 6 | 800                     | 26,8          | 0,013 | 0,09                 | 13,85                      | 48,0          |

Результаты опыта показывают, что хорошие результаты получены в промежутке 500–600 °С. Именно в этих температурах происходит активное окисление сульфидных минералов. При относительно низких температурах (<500–600°С) окислительные реакции протекают медленно и при этом сульфиды частично могут окисляться. Полученные результаты по извлечению металла только подтверждает данный факт. По мере увеличения температуры обжига окисления сульфидных минералов протекает интенсивно, с образованием оксидов металлов (например, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CuO), наблюдается интенсивное выделение газов – продуктов реакции. Кроме того, температурный режим способствует протеканию фазовых превращений. При низких температурах обжига сульфидных минералов образуется пирротины и соответствующие сульфаты элементов. При условиях стыковки температурного режима и температур плавления собственных, порообразующих и аксессуарных минералов может протекать спекание продуктов реакции. Образующие промежуточные продукты и окиды металлов, покрывая поверхность материала, будут ограничивать доступ кислорода, снижая пористость массы, что в конечном итоге приводит к уменьшению извлечения металла.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Комогорцев Б.В., Вареничев А.А. Проблемы переработки бедных и упорных золотосодержащих руд // ГИАБ. 2016. №2. URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/problemny-pererabotki-bednyh-i-upornyh-zolotosoderzhaschih-rud> (дата обращения: 19.01.2025).

2. Никитина Т.Ю., Петров Г.В. Современное состояние и технологические перспективы применения малотоксичных растворителей золота для переработки техногенного сырья // Вестник МГТУ им. Г. И. Носова. 2021. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennoe-sostoyanie-i-tehnologicheskie-perspektivy-primeneniya-malotoksichnyh-rastvoriteley-zolota-dlya-pererabotki-tehnogennogo> (дата обращения: 19.01.2025).

3. Резник Ю.Н., Шумилова Л.В. Способ подготовки упорных сульфидных золотосодержащих руд к выщелачиванию // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2008. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sposob-podgotovki-upornyh-sulfidnyh-zolotosoderzhaschih-rud-k-vyshelachivaniyu> (дата обращения: 19.01.2025).

4. Kubaschewski, O. and Alcock C.B. (1979) Metallurgical Thermochemistry, 5th Edition, Pergamon, Oxford.

5. Hapid, A., Zullaikah, S., Mahfud, Kawigraha, A., Sudiyanto, Y., Benita Nareswari, R., & Quitain, A. T. (2024). Oxidation of sulfide mineral and metal extraction analysis in the microwave-assisted roasting pretreatment of refractory gold ore. *Arabian Journal of Chemistry*, 17(1), Article 105447. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2023.105447>

6. [https://www.researchgate.net/publication/387558440\\_Advancements\\_in\\_improving\\_gold\\_recovery\\_from\\_refractory\\_gold\\_oresconcentrates\\_a\\_review](https://www.researchgate.net/publication/387558440_Advancements_in_improving_gold_recovery_from_refractory_gold_oresconcentrates_a_review)

7. Gao L. et al. Separation and recovery of iron and nickel from low-grade laterite nickel ore using reduction roasting at rotary kiln followed by magnetic separation technique //Mining, Metallurgy & Exploration. – 2019. – Т. 36. – С. 375-384.

УДК: 547.371:547.372

А.Т. Гаффоров, базовый докторант;  
С.Ш. Шарипов, PhD, зав. кафедрой;  
Р.А. Данакулова, студ.; А.Л. Рузибоев, студ.  
(НГГТУ, г. Навои, Узбекистан)

## **ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ПРОИЗВОДСТВА НИКЕЛЬ- И ХРОМСОДЕРЖАЩИХ ПРОДУКТОВ ИЗ ВТОРИЧНЫХ РЕСУРСОВ**

Сегодня во всем мире спрос на соединения никеля и хрома в промышленных масштабах растет день за днем. Соединения никеля и