

ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

Гавриш Владимир Михайлович

канд. техн. наук, руководитель НИЛ Биотехнологии
и экологического мониторинга

Гавриш Ольга Петровна

старший преподаватель

Дербасова Надежда Михайловна

канд. техн. наук, доцент

Жданова Галина Владимировна

канд. техн. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

г. Севастополь, Республика Крым

ПЕРЕРАБОТКА МОЛИБДЕНСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ САПФИРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Аннотация: в статье представлены способы утилизации молибденсодержащих промышленных отходов. Достоинствами предложенных электрохимического и биогидродинамического методов рециклинга отработанных молибденовых материалов сапфирового производства являются простота оборудования, малая энергозатратность и высокая эффективность.

Ключевые слова: молибден, молибденсодержащие отходы, сапфировое производство, утилизация.

Молибден один из наиболее широко используемых тугоплавких редких металлов. Молибденитовые концентраты служат исходным сырьем для производства ферромолибдена и химических соединений различной степени чистоты: триоксида молибдена, парамолибдата аммония, молибдата натрия, молибдата кальция.

Несмотря на увеличение объемов добычи молибдена и в связи с широким применением его в сферах производства, необходимо искать дополнительные

источники молибдена для промышленности. Один из вариантов получения молибдена – это переработка молибденсодержащих отходов. В настоящее время в мире приблизительно 20% молибдена используются для производства нержавеющей стали, а доля конструкционной, инструментальной и других специальных сталей в потреблении молибдена составляет около 57%. Оставшиеся 23% используются в модернизированных смазочных материалах, химических соединениях молибдена и как чистый металл.

Мировые поставки молибдена составили, по данным «Sojitz Alloy Division» 144,2 тыс. тонн, при стоимости в 2015 году около \$45 за кг молибдена. При переработке молибденовых руд потеря молибдена составляет около 30–40%, что для современного производства является очень высоким показателем. Поэтому необходимо разработать методы и пути переработки отходов производства молибдена с целью повышения его выхода [2; 5].

В связи с вышеизложенным проблема извлечения молибдена из отходов является актуальной. Сложность заключается в отсутствии экологически безопасных, ресурсосберегающих способов переработки молибденсодержащих отходов. Одним из возможных путей решения данной задачи является использование биотехнологии, достоинствами которой является простота протекания процесса и аппаратного оформления, относительно невысокие эксплуатационные расходы и обеспечение экологической безопасности.

Целью данной работы является разработка методик электрохимического и биогидродинамического способов переработки молибденсодержащих отходов сапфирового производства.

Степень извлечения молибдена из рудного сырья зависит не только от полноты химического вскрытия минерала и перевода молибдена в раствор, но и от полноты последующего извлечения его из растворов. В настоящий момент существует два способа утилизации молибденсодержащих отходов: экстракция и ионный обмен. Однако недостатками данных методов являются дорогостоящие реагенты и сложность технологического процесса [1; 3; 4].

В процессе производства сапфировых экранов завода ООО «Драгоценные металлы Урала» оксид алюминия, который в дальнейшем станет монокристаллом, плавится в тиглях из молибдена и вольфрама, которые постоянно подвергаются нагреванию до температуры свыше 2000°C (рис. 1). Данный метод дает уникальные возможности получения разнообразных, сложных монокристаллических изделий из лейкосапфира.



Рис. 1. Схема установки для выращивания кристаллов лейкосапфира (метод Степанова) [2; 4]

Методики проведения экспериментов и описание установок.

Для переработки отработанных пластин и стержней тиглей сапфирового производства предлагаются два способа рециклинга данных отходов: электрохимический и биогидродинамический.

Электрохимический способ. Установка для электрохимического способа переработки молибденовых тиглей представлена на рис. 2.



Рис. 2. Схема электрохимического способа переработки молибденосодержащих отходов

Отработанные стержни для тиглей взвешивались на аналитических весах. Содержание молибдена в пластинах составляло 99,99%. Далее пластины располагали на крючках стержней и помещались в емкость с 0,01Н раствором азотной кислоты. Время выдержки в ванне 2 ч. 20 мин. (напряжение 14 В, сила тока 10 А). По истечению указанного срока пластины подвергались естественной сушке в течение 20 мин. и взвешивались.

Данные эксперимента представлены в таблице 1.

Таблица 1

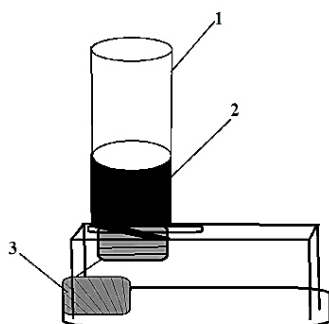
Данные эксперимента по выделению молибдена электрохимическим способом

№ п/п	Исходная масса пластины, m_1 , г	Конечная масса пластины, m_2 , г	Время, мин	Δm , г
1	55,2545	52,7986	140	2,4559
2	55,4421	52,6321	140	2,8100
3	55,1345	51,9879	140	3,1466
4	55,3038	52,8547	140	2,4491
5	55,5873	52,6951	140	2,8922

Средняя масса молибдена ($m_{\text{ср.}}$) 2,1723 г

Биогидродинамический способ переработки молибденсодержащих отходов

Кварцевый сосуд с навеской стержней помещали в стакан электромеханического редуктора с электроприводом. Дезинтегратор выполнял функции химического реактора, в котором происходили диспергирование, механохимические реакции, реакции химической очистки (рис. 3).



- 1 – кварцевый сосуд;
- 2 – стакан электромеханического редуктора с электроприводом;
- 3 – блок электропитания.

Рис. 3. Дезинтегратор

Диспергирующая жидкость представляет собой водный раствор сульфата железа (III), выполняющий функции растворителя и окислителя и являющийся средой обитания автотрофных тионовых бактерий *Thiobacillus ferrooxidans*. Они способны аккумулировать катионы различных металлов, извлекая их из растворов. Использование диспергирующей жидкости с высоким окислительным потенциалом меняет степень ионности химических связей, способствует разрыву связей, перегруппировке и миграции атомов и ионов, тем самым, способствует механической активации твердофазных реакций, разрушению макрокристаллов и измельчению вещества. По истечении указанного выше срока стержни подвергались естественной сушке в течение 30 мин. и взвешивались на аналитических весах (табл.2).

Таблица 2

Данные эксперимента по выделению молибдена
биогиродинамическим способом

№ п/п	Исходная масса пластины, m_1 , г	Конечная масса пластины, m_2 , г	Время, мин	Δm , г
1	383,291	373,499	167	9,792
2	373,499	371,0026	167	2,4964
3	371,017	367,395	167	3,622
4	380,341	375,544	167	4,797
5	375,544	369,326	167	6,218

Средняя масса молибдена (m ср.) 5,379 г

Содержание молибдена в исходном сырье представлено в табл. 3.

Таблица 3

Содержание молибдена в исходном материале

№ п/п	Вид отходов	Содержание молибдена (%)
1	пластины	99,99
2	стержни	99,99

Измерения покомпонентного состава проводили на спектрометре ElvaX компании «Элватех» в лаборатории нанотехнологий Севастопольского государственного университета. Результаты измерения представлены в табл. 4.

Таблица 4

Элементный состав полученного порошка молибденсодержащих отходов электрохимическим способом

Ат. номер	Элемент	Серия	Интенсивность	Концентрация
33	As	К	259	0,016707%
26	Fe	К	759	0,260062%
42	Mo	К	1109877	99,723231%

Таблица 5

Элементный состав полученного порошка молибденсодержащих отходов биогидродинамическим способом

Ат. номер	Элемент	Серия	Интенсивность	Концентрация
30	Zn	К	487	0,04773%
28	Ni	К	861	0,12639%
16	S	К	8393	1,85649%
26	Fe	К	90399	20,43295%
42	Mo	К	252331	77,53644%

Данные эксперимента показали потерю массы молибдена из полученных образцов на 0,27% (табл. 4) электрохимическим способом и на 22,45% (табл. 5) биогидродинамическим способом. Сравнение полученных результатов позволяют сделать вывод, что оба способа являются высоко рентабельными и могут быть с успехом применены для рециклинга молибденсодержащих отходов.

Список литературы

1. Васильев В.П. Аналитическая химия. В 2 кн. Кн. 2. Физико-химические методы анализа: Учеб. для студ. вузов, обучающихся по химико-технологическим специальностям – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Дрофа, 2002. – 384 с.
2. Гаврилов В.А., Пиковец А.В. Тенденции и перспективы развития оборудования для выращивания лейкосапфира // I-й Международный практический

семинар: Оборудование и технологии роста кристаллов – 2009 / Тезисы докладов, г. Брянск, Россия, 21–22 мая 2009 г.

3. Курлов В.Н., Россоленко С.Н. Выращивание крупногабаритных сапфировых лент для использования в оптике // Известия Академии Наук, серия физическая. – 1999. – Т. 63. – №9. – С. 1711–1718.

4. Перов В.Ф., Папков В.С., Иванов И.А. Дефекты в лентах сапфира, полученных способом Степанова // Изв. АН СССР, сер. физ. – 1979. – Т. 43. – №9. – С. 1977–1981.

5. Салем Р.Р. Новая технология получения сырья для выращивания кристаллов сапфира // Электронный журнал: Высокие технологии. – Информост, 2007. – №6 (53). – С. 53.