

ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА

**ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫ
МЕН ТЕХНИКАСЫ**

2001 ЖЫЛДАН БАСТАП ШЫҒАДЫ



**НАУКА И ТЕХНИКА
КАЗАХСТАНА**

ИЗДАЕТСЯ С 2001 ГОДА

ISSN 2788-8770

№ 2 (2023)

ПАВЛОДАР

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ**
выходит 1 раз в квартал

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ KZ51VPY00036165

выдано
Министерством информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

Публикация научных исследований по широкому спектру проблем
в области металлургии, машиностроения, транспорта, строительства,
химической и нефтегазовой инженерии, производства продуктов питания

Подписной индекс – 76129

<https://doi.org/10.48081/SWLL9958>

Импакт-фактор РИНЦ – 0,342

Абишев Кайратолла Кайроллинович – к.т.н., профессор (главный редактор);
Касенов Асылбек Жумабекович – к.т.н., профессор (заместитель главного редактора);
Мусина Жанара Керейовна – к.т.н., профессор (ответственный секретарь);
Шокубаева Зауреш Жанатовна – технический редактор.

Члены редакционной коллегии:

Калиакпаров Алтай Гиндуллинович – д.т.н., профессор (Нур-Султан, Казахстан);
Клецель Марк Яковлевич – д.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);
Шеров Карибек Тагаевич – д.т.н., профессор (Караганда, Казахстан);
Богомоллов Алексей Витальевич – к.т.н., ассоц. профессор (Павлодар, Казахстан);
Кажыбаева Галия Тулеуевна – к.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);

Зарубежные члены редакционной коллегии:

Waigang Sun – профессор (Пекин, Китай);
Gabriele Comodi – PhD, профессор (Анкона, Италия);
Jianhui Zhao – профессор (Харбин, Китай);
Khamid Mahkamov – д.т.н., профессор (Ньюкасл, Великобритания);
Magin Laruerta – д.т.н., профессор (СьюДад Реал, Испания);
Mareks Mezitis – д.т.н., профессор (Рига, Латвия);
Petr Bouchner – PhD, профессор (Прага, Чехия);
Ronny Berndtsson – профессор (Лунд, Швеция);
Барзов Александр Александрович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Витвицкий Евгений Евгеньевич – д.т.н., профессор (Омск, Россия);
Иванчина Эмилия Дмитриевна – д.т.н., профессор (Томск, Россия);
Лазарев Владислав Евгеньевич – д.т.н., профессор (Челябинск, Россия);
Мягков, Леонид Львович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Янюшкин Александр Сергеевич – д.т.н., профессор (Чебоксары, Россия);
Ребезов Максим Борисович – д.с/х.н., профессор (Москва, Россия).

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов
При использовании материалов журнала ссылка на журнал «Наука и техника Казахстана» обязательна

© Торайгыров университет

***А. О. Быков**

АО «ДКС», Российская федерация, г. Новосибирск

e-mail: bykov_andrey_o@mail.ru

ПОЛУЧЕНИЕ ОЛОВА ИЗ РАСТВОРОВ В ДИСПЕРСНОЙ ФОРМЕ

Цементационное извлечение металлов из растворов широко применяется в гидрометаллургии. Известно, что на процесс цементации значительное влияние оказывает кристаллизующийся на поверхности металла – цементатора слой (осадок) цементируемого металла. Компактный слой изолирует поверхность металла – цементатора от раствора, и реакция цементации сильно замедляется или вовсе прекращается. Напротив, порошкообразный (дисперсный) осадок не только не замедляет цементацию, но в ряде случаев даже увеличивает скорость процесса, чему способствует развитая поверхность катодных участков, на которых восстанавливаются ионы цементируемого металла.

Поскольку алюминий менее дорогостоящий металл, чем цинк, а сернокислое олово является побочным продуктом электролитического рафинирования некоторых металлов, представляет практический интерес более подробно исследовать процесс цементационного восстановления олова из раствора SnSO_4 .

В данной работе экспериментально установлено, что для реализации процесса цементационного извлечения олова в дисперсной форме из растворов SnSO_4 цементирующий металл алюминий необходимо активировать ионами хлора. Результаты поляризационных измерений электродных процессов контактной гальванопары Al-Sn согласуются с результатами планированных опытов по получению оловянного порошка цементации олова алюминием из растворов SnSO_4 с учетом влияния конкурирующего процесса выделения водорода.

Ключевые слова: олово, алюминий, цементация, порошковая металлургия, кристаллизация.

Введение

Цементационное извлечение металлов из растворов широко применяется в гидрометаллургии [1, 2]. Известно, что на процесс цементации значительное влияние оказывает кристаллизующийся на поверхности металла-цементатора слой (осадок) цементируемого металла. Компактный слой изолирует поверхность металла-цементатора от раствора, и реакция цементации сильно замедляется или вовсе прекращается. Напротив, порошкообразный (дисперсный) осадок не только не замедляет цементацию, но в ряде случаев даже увеличивает скорость процесса, чему способствует развитая поверхность катодных участков, на которых восстанавливаются ионы цементируемого металла [1, 2].

О возможности цементационного извлечения олова в порошкообразной (дисперсной) форме из растворов четыреххлористого олова сообщается в работе [3]. При этом в качестве цементирующего металла использовали цинк и алюминий. Электрохимический эквивалент двухвалентного олова вдвое выше, чем четырехвалентного. Исходя из того, что при прочих равных условиях расход цементирующего металла при получении оловянного порошка из растворов двухвалентного олова должен быть вдвое меньше, чем из растворов четырехвалентного олова, авторы [4] исследовали цементационное получение оловянного порошка цементацией этого металла цинком и алюминием из растворов SnCl_2 и SnSO_4 . Авторы [4] отмечают, что при использовании алюминия в качестве цементирующего металла можно получать оловянный порошок только из растворов SnCl_2 . В растворе же SnSO_4 (0,85 моль/л) олово на поверхности алюминия кристаллизуется не в виде рыхлого (порошкообразного) слоя, а в компактной форме. Этот компактный слой изолирует поверхность металла-цементатора от раствора, и цементация прекращается [4].

Поскольку алюминий менее дорогостоящий металл, чем цинк, а серноокислое олово является побочным продуктом электролитического рафинирования некоторых металлов [5], представляет практический интерес более подробно исследовать процесс цементационного восстановления олова из раствора SnSO_4 . Так как в [4] отмечается, что из растворов SnCl_2 олово цементируется в дисперсной форме, правомерно предположить, что добавление в раствор SnSO_4 ионов хлора будет способствовать цементационному восстановлению олова не в компактной, а в дисперсной форме. Таким образом, целью работы было исследование возможности получения оловянного порошка при цементации олова алюминием из растворов SnSO_4 .

Материалы и методы

Измерения стационарных потенциалов и поляризационные измерения проводили в растворе SnSO_4 концентрацией 0,85 моль/л на потенциостате П-5827. Поляризационные измерения проводили в гальванодинамическом режиме при скорости задания тока 3,4 мА/мм²·мин. Потенциалы рабочих электродов измеряли по отношению к хлорсеребряному электроду сравнения. Рабочие электроды представляли собой торцы залитой эпоксидной смолой алюминиевой и оловянной проволоки диаметром 2 мм. С тем, чтобы исключить влияние выделившегося на поверхности алюминия олова, зависимость стационарного потенциала алюминия от концентрации ионов хлора и анодную поляризацию алюминия изучали в растворе MgSO_4 той же концентрации, что и раствор SnSO_4 – правомерность такого приема для исследования анодного процесса контактных (цементационных) гальванопар показана в [6]. Химические соли, используемые в данной работе, имели квалификацию «хч».

Для получения оловянного порошка использовали растворы SnSO_4 объемом 2 л. При получении оловянного порошка в качестве цементирующего материала применяли пластины алюминия с поверхностью 2 дм². После цементации порошок промывали и сушили в вакуумном сушильном шкафу. Гранулометрический

состав и насыпную плотность оловянного порошка определяли по стандартам [7,8]. Количество выделившегося водорода измеряли объемным методом [9]. Средний размер частиц рассчитывали на основании результатов ситового анализа по общепринятой в порошковой металлургии методике [10].

Ионы хлора активируют поверхность алюминия, в связи с чем стационарный потенциал алюминия сдвигается в область более отрицательных значений. Вместе с тем в интервале концентраций NaCl 0,48 – 0,65 моль/л асимптотически приближается к горизонтали. Поэтому дальнейшее повышение концентрации NaCl не целесообразно.

Известно, что размер образующихся при кристаллизации частиц зависит от соотношения скоростей возникновения центров кристаллизации и скорости их роста. Применительно к цементационному осаждению это означает, что дисперсность порошка определяется соотношением ЭДС и тока цементации контактной гальванопары. Ионы хлора мало влияют на стационарный потенциал олова, но поскольку в тех же условиях стационарный потенциал алюминия сильно смещается в область отрицательных значений, с увеличением концентрации NaCl ЭДС цементации возрастает. В частности, в интервале концентраций 0; 0,32 и 0,65 моль/л NaCl ЭДС гальванопары Al-Sn равна 0,30 В, 0,57 В и 0,64 В соответственно.

Хлористый натрий в рассматриваемой системе является так называемым посторонним электролитом – ионы этого вещества непосредственно не участвуют в происходящих на электродах контактных гальванопар окислительно-восстановительных процессах. Однако введение в указанных количествах NaCl в раствор SnSO₄ приводит к увеличению вязкости раствора, в связи с чем поляризация катода возрастает, и при концентрации 0,65 моль/л NaCl наступает предельная плотность тока для восстановления ионов Sn²⁺. В целом же, с ростом концентрации NaCl ток цементации контактной гальванопары Al-Sn уменьшается.

Известно, что размер образующихся при кристаллизации частиц зависит от соотношения скорости зарождения центров кристаллизации и скорости их дальнейшего роста. Применительно к цементационному осаждению это означает, что дисперсность порошка определяется соотношением ЭДС и тока цементации контактной гальванопары. Поскольку с ростом концентрации NaCl в растворе ЭДС контактной гальванопары Al-Sn возрастает, а ток цементации уменьшается, следует ожидать, что при прочих равных условиях с ростом концентрации NaCl должен осаждаться более дисперсный порошок олова. Более дисперсный порошок при свободной засыпке имеет более плотную упаковку, поэтому насыпная плотность оловянного порошка с ростом концентрации NaCl должна возрастать. Однако соотношения ЭДС и тока цементации указывает лишь на термодинамическую вероятность направления зависимости указанных свойств порошка, которая на практике не всегда выполняется [1, 2, 5]. Кроме термодинамических условий, на свойства порошка влияют также и кинетические особенности процесса цементации.

Результаты и обсуждение

В результате гидролиза водный раствор SnSO₄ имеет кислую среду. В частности, при концентрации 0,85 моль/л SnSO₄ pH раствора составляет 5,8. Поэтому наряду с восстановлением ионов Sn²⁺ на катоде протекает и конкурирующий процесс – восстановление ионов H⁺. При этом экспериментально установлено, что скорость выделения водорода зависит от концентрации NaCl в растворе (таблица 1).

Таблица 1 – Зависимость количества выделяющегося водорода от концентрации NaCl

Концентрация NaCl, моль/л	0	0,32	0,65
Выделилось водорода за 1 час цементации, мл	0,1	2,1	3,2
Примечание: Концентрация SnSO ₄ 0,85 моль/л, площадь цементирующей поверхности алюминия 1 см ²			

Выделение водорода двояко влияет на процесс цементации [1, 2, 5]. Перемешивание электролита в прикатодных зонах выделяющимся водородом снижает концентрационные ограничения для разряда ионов Sn²⁺, способствуя тем самым росту менее дисперсного порошка. Вместе с тем, выделение водорода приводит к защелачиванию прикатодных зон электролита, что приводит к образованию гидрооксидов, которые обладают поверхностно-активными свойствами. Адсорбируясь на активных гранях растущих кристаллов, гидрооксиды пассивируют их, способствуя тем формированию более дендритных частиц олова.

С целью более полного выявления зависимости дисперсности и насыпной плотности оловянного порошка от условий проведения цементации, нами проведен полный двухфакторный эксперимент [11]. При этом в качестве функции отклика выбраны средний размер частиц Y₁, мкм и насыпная плотность оловянного порошка Y₂, г/см³. В качестве факторов (независимых переменных) взяты X₁ – концентрация SnSO₄, моль/л и X₂ – концентрация NaCl, моль/л. Условия планированных опытов и натуральные значения факторов указаны в таблице 2.

Таблица 2 – Интервалы варьирования и натуральные значения факторов

Интервалы варьирования факторов	Натуральные значения факторов, моль/л	
	X ₁	X ₂
Базовый (основной) уровень	0,60	0,50
Интервал варьирования	0,25	0,35
Верхний уровень	0,85	0,85
Нижний уровень	0,35	0,15

Каждый опыт в матрице планирования (таблица 3) был повторен четыре раза; указанные в таблице 3 значения Y₁ и Y₂ являются средними из четырех параллельных измерений. Для проверки воспроизводимости опытов проведен дисперсионный анализ, в результате которого установлено, что экспериментальное значение критерия Кохрена G_{эксп} меньше его табличного значения при 5 %

уровне значимости, что свидетельствует об однородности дисперсий, т.е. о том, что опыты воспроизводимы [11].

Таблица 3 – Матрица планирования и результаты опытов

№ опыта	Кодированные значения факторов		Результаты опытов	
	X ₁	X ₂	Y ₁ , мкм	Y ₂ , г/см ³
1	+1	+1	118	0,8
2	-1	+1	121	1,3
3	+1	-1	165	2,0
4	-1	-1	139	0,9

По методике [11] с использованием расчетной матрицы определены коэффициенты регрессии, значения которых приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Значения коэффициентов регрессии

Коэффициенты регрессии	b ₀	b ₁	b ₂	b ₁₋₂
Значение коэффициента регрессии для Y ₁	135,75	5,75	-16,25	-7,25
Значение коэффициента регрессии для Y ₂	1,25	0,15	-0,20	-0,40

Сопоставление табличного значения критерия Стьюдента t_{табл} с его экспериментальным значением τ_{эксп} [11] показало, что для всех коэффициентов регрессии справедливо неравенство τ_{эксп} > τ_{табл}. Следовательно, все коэффициенты регрессии являются значимыми.

Знание коэффициентов регрессии позволяет записать уравнения регрессии, показывающие зависимость среднего размера частиц Y₁ и насыпной плотности Y₂ оловянного порошка от концентрации SnSO₄ и NaCl в цементируемом растворе:

$$Y_1 = 135,75 + 5,75X_1 - 16,25X_2 - 7,25X_1X_2 \quad (1)$$

$$Y_2 = 1,25 + 0,15 X_1 - 0,2 X_2 - 0,4 X_1X_2 \quad (2)$$

Адекватность уравнений регрессии (1) и (2) проверена по критериям Фишера [11]. Установлено, что для выбранной модели опыта экспериментальное значение указанного критерия меньше его табличного значения. Следовательно, уравнения регрессии (1) и (2) адекватно отображают выбранную модель опыта в границах использованного интервала варьирования.

Из уравнения (1) следует, что увеличение концентрации SnSO₄ приводит к цементации менее дисперсного порошка – на это указывает положительное значение коэффициента регрессии b₁. Напротив, как было предсказано выше на основании поляризационных измерений, увеличение концентрации NaCl приводит к кристаллизации более дисперсных частиц олова - коэффициент b₂ имеет отрицательное значение. Более того, в выбранном интервале варьирования факторов влияние на средний размер частиц, т.е. на дисперсность фактора X₂

примерно в три раза больше, чем фактора X_1 – это следует из коэффициентов регрессии b_1 и b_2 . На дисперсность в сторону уменьшения также сильно влияет эффект взаимодействия X_1X_2 – это влияние даже несколько выше, чем влияние в сторону увеличения фактора X_1 ; данный вывод также следует из сравнения значений коэффициентов регрессии b_{1-2} и b_1 .

Аналогичным образом по уравнению регрессии (2) можно оценить влияние факторов и эффекта взаимодействия на насыпную плотность. В данном случае также имеет место разнонаправленное влияние – в сторону увеличения насыпной плотности действует фактор X_1 , в сторону уменьшения – фактор X_2 и эффект взаимодействия X_1X_2 .

Более дисперсный порошок имеет меньшую насыпную плотность, что особенно характерно для опыта № 1 (таблица 3). По-видимому, разряд ионов Sn^{2+} на предельном токе и, как указывалось выше, пассивирующее влияние на растущие грани кристаллов гидроокисей и основных в результате выделения водорода способствует формированию более дендритных частиц олова. Наблюдения порошка в металлографическом микроскопе подтверждают это предположение – полученный в опыте № 1 порошок имеет весьма развитую поверхность (рисунок 1). Столь дендритные частицы в оловянных порошках, полученных в других опытах матрицы планирования, обнаружить не удалось.

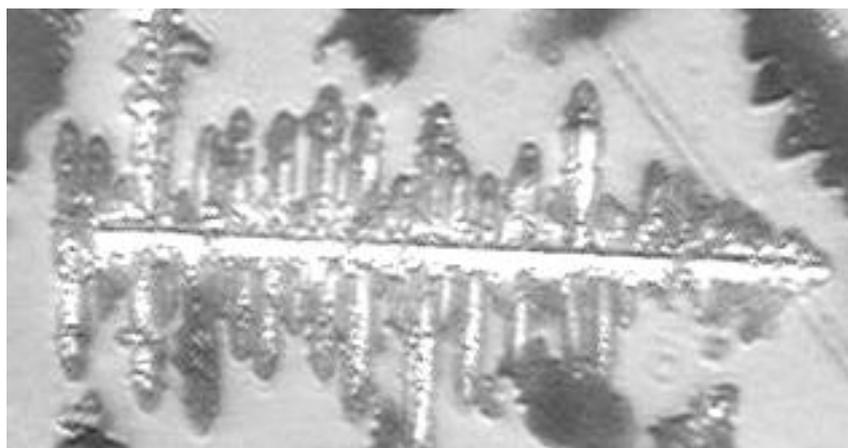


Рисунок 1 – Частица оловянного порошка, полученного в планированном опыте № 1

Выводы

Экспериментально установлено, что для реализации процесса цементационного извлечения олова в дисперсной форме из растворов SnSO_4 цементирующий металл алюминий необходимо активировать ионами хлора. Результаты поляризационных измерений электродных процессов контактной гальванопары Al-Sn согласуются с результатами планированных опытов по получению оловянного порошка цементации олова алюминием из растворов SnSO_4 с учетом влияния конкурирующего процесса выделения водорода.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Алкацев М. И.** Процессы цементации в цветной металлургии. – М. : Металлургия, 1981. – 116 с.
- 2 **Антропов Л. И., Донченко М. И.** Коррозия и защита металлов. – Т. 2. – М. : ВИНТИ, 1973. – 113 с.
- 3 **Артамонов В. П., Ахметжанова Р. Р.** // Порошковая металлургия. – 1986. – № 1. – С. 6.
- 4 **Артамонов В. П., Щетинина Т. В.** // Порошковая металлургия. – 1990. – № 4. – С. 1.
- 5 **Баймаков Ю. В., Журин А. И.** Электролиз в гидрометаллургии. – М. : Металлургиздат, 1967. – 616 с.
- 6 **Артамонов В. П., Помосов А. В.** // Электрохимия. – 1984. – Т. 20. – № 12. – С. 1649.
- 7 ГОСТ 18318-94. Порошки металлические. Определение размера частиц сухим просеиванием.
- 8 ГОСТ 19440-94. Порошки металлические. Определение насыпной плотности.
- 9 **Левин А. И., Помосов А. В.** Лабораторный практикум по теоретической электрохимии. – М. : Металлургия, 1966. – 312 с.
- 10 **Кипарисов С. С., Либенсон Г. А.** Порошковая металлургия. – М. : Металлургия, 1980. – 496 с.
- 11 **Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В.** Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М. : Наука, 1976. – 279 с.

REFERENCES

- 1 **Alkacev, M. I.** Processy cementacii v cvetnoy metallurgii. – Moscow : Metallurgia, 1981. – 116 p.
- 2 **Antropov, L. I., Donchenko, M. I.** Korrozia i zacshita metallov. T. 2. – Moscow : VINITI, 1973. – 113 p.
- 3 **Artomonov, V. P., Ahmetzhanova, R. P.** // Poroshkovaya metallurgia. – 1986. – № 1. – P. 6.
- 4 **Artomonov, V. P., Schetinina, T. V.** // Poroshkovaya metallurgia. – 1990. – № 4. – P. 1.
- 5 **Baimakov, U. V., Zhurin, A. I.** Electroliz v gidrometallurgii. – Moscow : Metallurgizdat, 1967. – 616 p.
- 6 **Artomonov V. P., Pomosov A. V.** // Electrohimia. – 1984. – Т. 20. – № 12. P. 1649.
- 7 GOST 18318-94. Poroshki metallicheskie. Opredelenie razmera chastic suhim proseivaniem.
- 8 GOST 19440-94. Poroshki metallicheskie. Opredelenie nasypnoi plotnosti.
- 9 **Levin, A. I., Pomosov, A. V.** Laboratornyi practicum po teoreticheskoi electrohimii. – Moscow : Metallurgia, 1966. – 312 p.

10 Kiparisov, S. S., Libenson, G. A. Poroshkovaya metallurgia. – Moscow : Metallurgia, 1980. – 496 p.

11 Adler, U. P., Markova, E. V., Granovskii, U. V. Planirovanie experimenta pri poiske optimalnykh uslovii. – M. : Nauka, 1976. – 279 p.

Материал поступил в редакцию 01.06.23.

***А. О. Быков**

«ДКС» АҚ, Ресей Федерациясы, Новосибирск қ.

Материал 01.06.23 баспаға түсті.

ДИСПЕРСТІ ТҮРДЕГІ ЕРІТІНДІЛЕРДЕН ҚАЛАЙЫ АЛУ

Ерітінділерден металдарды цементтеу экстракциясы гидрометаллургияда кеңінен қолданылады. Цементтеу процесіне цементтелетін металдың кристалданатын қабаты (тұнба) цементтеу процесіне айтарлықтай әсер ететіні белгілі. Ныйам қабат металдың бетін ерітіндіден оқшаулайды, ал цементтеу реакциясы айтарлықтай баяулайды немесе мүлдем тоқтайды. Керісінше, ұнтақты (дисперсті) тұнба цементтеуді бәсеңдетіп қана қоймайды, сонымен қатар кейбір жағдайларда процесінің жылдамдығын арттырады, бұл цементтелген металл иондары азаятын катодтық аймақтардың дамыған бетіне ықпал етеді.

Алюминий мырышқа қарағанда қымбат емес металл болғандықтан және қалайы сульфаты кейбір металдарды электролиттік тазартудың жанама өнімі болғандықтан, SnSO₄ ерітіндісінен қалайы цементтеу процесін егжей-тегжейлі зерттеуге қызығушылық тудырады.

Бұл жұмыста SnSO₄ ерітінділерінен дисперсті түрдегі қалайы цементтеу алу процесін жүзеге асыру үшін цементтейтін металды алюминийді хлор иондарымен белсендіру қажет екендігі эксперименталды түрде анықталды. Al-SN байланыс гальванопарасының электродтық процесінің поляризациялық өлшеулерінің нәтижелері бәсекелес су тұқымын бөлу процесінің әсерін ескере отырып, SnSO₄ ерітінділерінен қалайы цементтеу қалайы ұнтағын алюминиймен алу бойынша жоспарланған тәжірибелердің нәтижелеріне сәйкес келеді.

Кілтті сөздер: қалайы, алюминий, цементтеу, Ұнтақты металлургия, кристалдану.

**А. О. Быков*

JSC «DKS», Russian Federation, Novosibirsk.

Material received on 01.06.23.

OBTAINING TIN FROM SOLUTIONS IN DISPERSED FORM

Cementation extraction of metals from solutions is widely used in hydrometallurgy. It is known that the cementation process is significantly influenced by the layer (precipitate) of the cemented metal crystallizing on the surface of the cementator metal. The compact layer isolates the surface of the metal-cement from the solution, and the cementation reaction slows down or stops altogether. On the contrary, powdered (dispersed) sediment not only does not slow down cementation, but in some cases even increases the speed of the process, which is facilitated by the developed surface of the cathode sites on which the ions of the cemented metal are restored.

Since aluminum is a less expensive metal than zinc, and tin sulfate is a by-product of electrolytic refining of some metals, it is of practical interest to investigate in more detail the process of cementation reduction of tin from SnSO_4 solution.

In this paper, it has been experimentally established that in order to implement the process of cementation extraction of tin in dispersed form from SnSO_4 solutions, the cementing metal aluminum must be activated with chlorine ions. The results of polarization measurements of electrode processes of the Al-Sn contact electroplating are consistent with the results of the planned experiments on obtaining tin powder of tin cementation with aluminum from SnSO_4 solutions, taking into account the influence of the competing process of water separation.

Keywords: tin, aluminum, cementation, powder metallurgy, crystallization.

Теруге 01.06.23 ж. жіберілді. Басуға 26.06.23 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

5,07 Mb RAM

Шартты баспа табағы 14,79. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: Е. Е. Калихан

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 4087

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов көш., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

e-mail: kereku@tou.edu.kz

nitk.tou.edu.kz