

Кинетические и технологические закономерности электрохимического извлечения ионов кобальта(II) из элюатов

**© Васин⁺ Евгений Николаевич, Плохов^{*} Сергей Владимирович,
Трунова Ирина Геннадьевна, Кузина Ольга Владимировна,
Кузнецов Егор Максимович, Купчишин Максим Витальевич**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева.

г. Нижний Новгород, 603155. Нижегородская область. Россия.

Тел.: +7 (831) 436-93-58. E-mail: eugeniy.vasin-evg2017@yandex.ru

^{*}Ведущий направление; ⁺Поддерживающий переписку

Ключевые слова: ионный обмен, прямой электролиз, ионы кобальта, энергия активации, диффузионная кинетика, плотность тока, температура, остаточная концентрация, выход по току.

Аннотация

Химическое нанесение кобальтовых покрытий из щелочных растворов приводит к образованию больших объемов жидких отходов в виде отработанных электролитов и промывных вод, содержащих комплексные анионы кобальта(II). Обработка смеси этих отходов серной кислотой, направленная на разрушение комплексов с целью получения гидратированных катионов металла, позволяет в дальнейшем проводить очистку жидкой фазы от кобальта(II) методом ионного обмена на катионите. Регенерация катионита раствором сернокислого натрия ведет к образованию элюатов, содержащих сульфат кобальта (в пересчете на металл) до 18.3 г/л и 45-50 г/л сульфата натрия с pH 3.0. Указанные элюаты являлись объектом исследования в данной работе. Из таких растворов можно достаточно эффективно извлекать металлический кобальт методом прямого электролиза. Целью данной работы явилось установление кинетических и технологических закономерностей, а также оптимального режима электрохимического извлечения кобальта из элюатов.

Набором независимых электрохимических методов (потенциостатического, потенцио-динамического, хронопотенциометрического, вращающегося дискового электрода и температурно-кинетического) показано, что в области катодных плотностей тока, позволяющих получать компактные мелкокристаллические покрытия кобальта, электровосстановление ионов металла контролируется одновременно диффузионной стадией и переносом заряда. Поэтому технологические исследования проводили при перемешивании растворов, а основными влияющими факторами были катодная плотность тока и температура. Эффективность электролиза оценивали по внешнему виду покрытия, выходу по току металла, степени извлечения ионов кобальта и затратам электроэнергии. В ходе экспериментальной оптимизации предложено проводить электролиз при плотности тока 0.2 А/дм², температуре 60 °С и максимально возможном перемешивании. Получается матовое плотноупакованное покрытие, выход по току 99-46%, степень извлечения около 95%, удельный расход электроэнергии не превышает 8.4 кВт·ч/кг металла.

Выходные данные для цитирования русскоязычной печатной версии статьи:

Васин Е.Н., Плохов С.В., Трунова И.Г., Кузина О.В., Кузнецов Е.М., Купчишин М.В. Кинетические и технологические закономерности электрохимического извлечения ионов кобальта(II) из элюатов.

Бутлеровские сообщения. 2026. Т.87. №7. С.12-20. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-7-12

Выходные данные для цитирования русскоязычной электронной версии статьи:

Васин Е.Н., Плохов С.В., Трунова И.Г., Кузина О.В., Кузнецов Е.М., Купчишин М.В. Кинетические и технологические закономерности электрохимического извлечения ионов кобальта(II) из элюатов.

Бутлеровские сообщения А. 2026. Т.14. №3. Id.2. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-7-12/ROI-jbc-A/26-14-3-2 (Russian)

The output for citing the English online version of the article:

Evgeny N. Vasin, Sergey V. Plokhov, Irina G. Trunova, Olga V. Kuzina, Egor M. Kuznetsov, Maxim V. Kupchishin. Kinetic and technological regularities of electrochemical extraction of cobalt(II) ions from eluates. *Butlerov Communications A.* 2026. Vol.14. No.3. Id.2. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-7-12/ROI-jbc-A/26-14-3-2

Литература

- [1] Мельников П.С. Справочник по гальванопокрытиям в машиностроении. *Москва: Машиностроение. 1979. 296с.* [P.S. Melnikov, Handbook of electroplated coatings in mechanical engineering. *Moscow: Mashinostroenie. 1979. 296p.* (Russian)]
- [2] Ажогин Ф.Ф., Бельский М.А., Галль И.Е. Гальванотехника: Справ. изд. *Москва: Металлургия. 1987. 736с.* [F.F. Azhogin, M.A. Belenkiy, I.E. Gall. Galvanotechnics: Reference Publication. *Moscow: Metallurgy. 1987. 736p.* (Russian)]
- [3] Резник И.Д. Кобальт. Т.2. *Москва: Машиностроение. 1995. 470 с* [I.D. Reznik Cobalt. Vol.2. *Moscow: Mashinostroenie. 1995. 470p.* (Russian)]
- [4] Виноградов С.С. Экологически безопасное гальваническое производство. *Москва: Глобус. 2002. 352с.* [S.S. Vinogradov. Environmentally safe galvanic production. *Moscow: Globus. 2002. 352p.* (Russian)]
- [5] Шалкаускас М. Химическая металлизация пластмасс. *Ленинград: Химия. 1985. 144с.* [M. Shalkauskas Chemical metallization of plastics. *Leningrad: Chemistry. 1985. 144p.* (Russian)]
- [6] Одрит Л. Химия гидразина. *Москва: Изд. Иностр. Лит. 1951. 237с.* [L. Odrit. Hydrazine Chemistry. *Moscow: Izd. Foreign Lit. 1951. 237p.* (Russian)]
- [7] Плохов Е.С. Михаленко М.Г., Коваль А.А., Плохов С.В. Закономерности утилизации Ni(II) из жидких отходов после металлизации в кислых гипофосфитных растворах. *Известия вузов. Химия и химическая технология. 2005. Т.48. Вып.9. С.146-148.* [E.S. Plokhov, M.G. Mikhaleenko, A.A. Koval, S.V. Plokhov. Patterns of Ni(II) utilization from liquid waste after metallization in acidic hypophosphite solutions. *News of Universities. Chemistry and Chemical Technology. 2005. Vol.48. Iss.9. P.146-148.* (Russian)]
- [8] Велиева Ю.В., Плохов С.В., Корнев Р.А. Электроосаждение меди из отработанных щелочных растворов химической металлизации. *Гальванотехника и обработка поверхности. 2010. Т.XVIII. №2. С.26-30.* [Yu.V. Velieva, S.V. Plokhov, R.A. Kornev. Electrodeposition of copper from spent alkaline solutions of chemical metallization. *Electroplating and Surface Treatment. 2010. Vol.XVIII. No.2. P.26-30.* (Russian)]
- [9] Вансовская К.М. Металлические покрытия, нанесенные химическим. *Ленинград: Машиностроение. 1985. 103с.* [K.M. Vansovskaya. Metallic coatings applied by chemical methods. *Leningrad: Mechanical Engineering. 1985. 103p.* (Russian)]
- [10] Галус З. Теоретические основы электрохимического анализа. *Москва: Изд-во Мир. 1974. 552с.* [Z. Galus. Theoretical foundations of electrochemical analysis. *Moscow: Mir Publishing House. 1974. 552p.* (Russian)]
- [11] Evgeny N. Vasin, Sergey V. Plokhov, Irina G. Trunova, Olga V. Kuzina, Egor M. Kuznetsov, Maxim V. Kupchishin. Kinetic and technological regularities of electrochemical extraction of cobalt(II) ions from eluates. *Butlerov Communications A. 2026. Vol.14. No.3. Id.2. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-7-12/ROI-jbc-A/26-14-3-2*
- [12] Васин Е.Н., Плохов С.В., Трунова И.Г., Кузина О.В., Кузнецов Е.М., Купчишин М.В. Кинетические и технологические закономерности электрохимического извлечения ионов кобальта(II) из элюатов. *Бутлеровские сообщения А. 2026. Т.14. №3. Id.2. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-7-12/ROI-jbc-A/26-14-3-2* (Russian)

The English version of the article has been published in the international edition of the journal

Butlerov Communications A
Advances in Organic Chemistry & Technologies

The Reference Object Identifier – ROI-jbc-A/26-14-3-2

The Digital Object Identifier – DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/26-87-7-12/ROI-jbc-A/26-14-3-2

**Kinetic and technological regularities of electrochemical
extraction of cobalt(II) ions from eluates**

**Evgeny N. Vasin,*⁺ Sergey V. Plokhov, Irina G. Trunova,
Olga V. Kuzina, Egor M. Kuznetsov, Maxim V. Kupchishin**
Nizhny Novgorod State Technical University Named after R.E. Alekseev.
Nizhny Novgorod, 603155. Nizhny Novgorod Region. Russia.
Phone: +7 (831) 436-93-58. E-mail: eugen.vasin-evg2017@yandex.ru

*Supervising author; ⁺Corresponding author

Keywords: ion exchange, direct electrolysis, cobalt ions, activation energy, diffusion kinetics, current density, temperature, residual concentration, current efficiency.

Abstract

Chemical deposition of cobalt coatings from alkaline solutions results in the formation of large volumes of liquid waste in the form of spent electrolytes and rinse waters containing cobalt(II) complex anions. Treatment of this waste mixture with sulfuric acid, aimed at breaking down the complexes to produce hydrated metal cations, allows for subsequent purification of the liquid phase from cobalt(II) by ion exchange on a cation exchanger. Regeneration of the cation exchanger with a sodium sulfate solution results in the formation of eluates containing up to 18.3 g/L of cobalt sulfate (as metal) and 45-50 g/L of sodium sulfate with a pH of 3.0. These eluates were the subject of this study. Metallic cobalt can be efficiently extracted from such solutions by direct electrolysis. The aim of this study was to establish kinetic and process characteristics, as well as an optimal mode for the electrochemical extraction of cobalt from eluates.

A combination of independent electrochemical methods (potentiostatic, potentiodynamic, chronopotentiometric, rotating disk electrode, and temperature-kinetic) demonstrated that, in the range of cathodic current densities that allow the production of compact, fine-crystalline cobalt coatings, the electroreduction of metal ions is controlled simultaneously by the diffusion stage and charge transfer. Therefore, process studies were conducted with solutions stirred, with the main influencing factors being cathodic current density and temperature. Electrolysis efficiency was assessed based on the coating appearance, metal current efficiency, cobalt ion extraction rate, and energy consumption. During experimental optimization, it was proposed to conduct electrolysis at a current density of 0.2 A/dm², a temperature of 60 °C, and maximum possible stirring. The result is a matte, densely packed coating, current efficiency of 99-46%, extraction rate of about 95%, and specific energy consumption of no more than 8.4 kW·h/kg of metal.