



ОПРЕДЕЛИТЕ РАСТВОРИМОСТЬ СОЛЕЙ МЕТАЛЛОВ В РАЗЛИЧНЫХ РАСТВОРАХ

Курбанова Раъно Исламиддиновна

Преподаватель Термезского инженерно-технологического института

Абдуназаров Эльёр Мамасоатович

Термезский инженерно-технологический институт, студент химико-технологического образования

elyorabdunazarov75@gmail.com

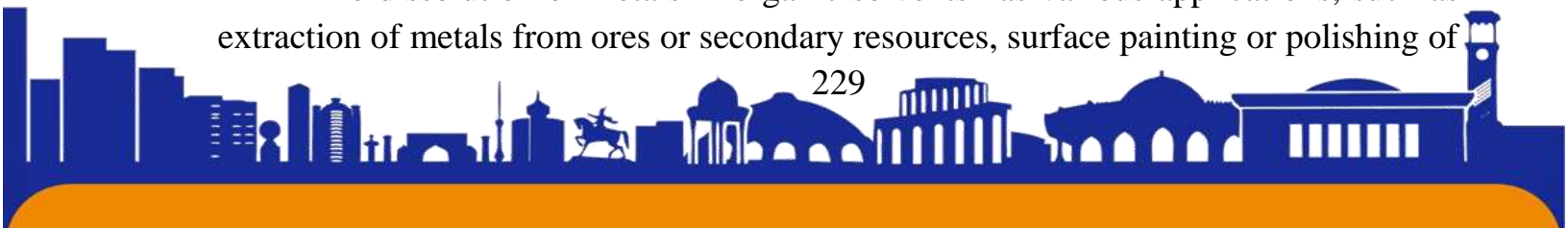
Аннотация

Растворение металлов в органических растворителях имеет различные применения, такие как извлечение металлов из руд или вторичных ресурсов, окраска или полировка поверхности металлов, прямой синтез металлоорганических соединений и отделение металлов от других соединений. Органические растворители для растворения металлов могут предложить решение, когда водные системы не могут, например, отделить металлы от оксидов металлов, потому что и металлы, и оксиды металлов могут растворяться в водных кислых растворах. В обзоре критически обсуждаются органические среды (обычные молекулярные органические растворители, ионные жидкости, глубокие эвтектические растворители и сверхкритический диоксид углерода) для окислительного растворения металлов в различных приложениях. Обсуждаются реакционные механизмы процессов растворения для различных жидких систем, обычно состоящих из окислителей, хелатообразователей и растворителей. Для растворения металлов рассматриваются различные окислители, такие как галогены, галогенорганические соединения, донорно-акцепторные системы переноса электрона, полигалогенидные ионные жидкости и др.

Ключевые слова: Металл, органический растворитель, растворение металлов, ионные жидкости, глубокие эвтектические растворители, сверхкритический диоксид углерода, механизмы реакций, окислители, соли.

Abstract

The dissolution of metals in organic solvents has various applications, such as extraction of metals from ores or secondary resources, surface painting or polishing of





metals, direct synthesis of organometallic compounds, and separation of metals from other compounds. Organic solvents for dissolving metals can offer a solution when aqueous systems fail, for example, to separate metals from metal oxides, because both metal and metal oxides can dissolve in aqueous acidic solutions. This review critically discusses organic media (common molecular organic solvents, ionic liquids, deep eutectic solvents, and supercritical carbon dioxide) for the oxidative dissolution of metals in various applications. The reaction mechanisms of dissolution processes are discussed for various liquid systems, usually consisting of oxidizing agents, chelating agents, and solvents. Various oxidizing agents are considered for the dissolution of metals, such as halogens, halogenated organics, donor-acceptor electron transfer systems, polyhalide ionic liquids, etc.

Keywords: Metal, organic solvent, dissolution of metals, ionic liquids, deep eutectic solvents, supercritical carbon dioxide, reaction mechanisms, oxidizing agents, salts.

В отличие от большинства солей металлов, металлы в их элементарном состоянии не растворяются в обычных растворителях. Их плавка обязательно должна одновременно включать стадию окисления, поэтому плавку металлов можно охарактеризовать как окислительную плавку. Окислительное растворение металлов можно описать как процесс выщелачивания, когда растворяется только часть твердого вещества. Раствор, используемый для промывки, называется промывочной системой, моющим средством или жидкостью. Для окислительного растворения металлов растворитель должен содержать по крайней мере один окислитель (для окисления металла), часто растворитель (водный или неводный растворитель) для растворения окислителя, а иногда и комплексообразователь для регулирования окислительно-восстановительного потенциала. Окислительное растворение металлических элементов происходит в различных областях, таких как извлечение золота из золотосодержащих руд, отделение металлов от других соединений, химическое травление в микроэлектронной промышленности, полировка поверхности металлов или сплавов и прямой синтез металлоорганических соединений из металлов. Кроме того, окислительная плавка металлов может иметь значение для извлечения драгоценных металлов из вторичных ресурсов, таких как отходы производства до потребления и продукты с истекшим сроком эксплуатации. Многие металлы и сплавы необходимы для производства компонентов высокотехнологичных





устройств, таких как постоянные магниты из неодима, железа и бора (NdFeB), используемые в электродвигателях и ветряных турбинах, и металлы платиновой группы (МПГ), используемые в автомобильных выхлопных катализаторах.

Традиционные методы плавки металлов основаны на воде, и металлы окисляются в водных растворах, таких как сильные минеральные кислоты, такие как соляная кислота и серная кислота, с выделением газообразного водорода. Однако эти неокисляющие минеральные кислоты не способны растворять драгоценные металлы, такие как золото, серебро и платина. Современные технологии выплавки редких металлов включают использование царской водки или цианида натрия (в присутствии газообразного кислорода), что создает серьезные проблемы с точки зрения безопасности и охраны окружающей среды. Их использование может быть ограничено в ближайшем будущем. Поэтому разработка новых эффективных, экономичных и экологически безопасных систем промывки металлических растворов является весьма актуальной научно-исследовательской деятельностью.

Альтернативным подходом является растворение металлов в органических растворителях с окислителями. Органическими растворителями могут быть обычные молекулярные органические растворители, ионные жидкости (ИЖ), глубокие эвтектические растворители (DES) или сверхкритический диоксид углерода ($scCO_2$). Обработка металлов в органических растворителях или в смеси с небольшим количеством воды (<50%) называется сольвометаллургией, развивающейся отраслью экстракционной металлургии, дополняющей гидromеталлургию и пирометаллургию. Примерами сольвометаллургии являются сольвометаллургия, экстракция безводным растворителем, безводное осаждение и электроосаждение. Когда используются ионные растворители, такие как ионные жидкости (ИЖ) или глубокие эвтектические растворители (ДЭС), можно использовать термин «ионометаллургия». Растворение металлов в органических растворителях имеет ряд преимуществ по сравнению с водными растворителями. Системы органических растворителей обычно генерируют меньшие объемы водных потоков отходов и часто более селективны, чем водные системы. Одно из самых ранних исследований растворения металлов в органических растворителях датируется более 70 лет и касается растворения урана как окислителя элементарных галогенов.

Растворы брома в спиртах являются одними из наиболее изученных выщелачивающих систем бромного класса в органических растворителях. Бром





в EtOH можно использовать для извлечения драгоценных металлов, таких как золото, серебро и платина, из сырья. Сырье, содержащее благородные металлы, сначала промывают в минеральной кислоте при 95-100 °С для удаления благородных металлов, затем твердый остаток дважды обрабатывают бромом в органических растворителях. Эффективность извлечения редкого металла может достигать >95%. Недавно бром в органических растворителях показал возможность удаления металлических никель-медно-никелевых защитных покрытий редкоземельных постоянных магнитов (магниты Nd-Fe-B и Sm-Co) перед обработкой редкоземельными элементами. Среди пяти растворителей, то есть 1 объем брома в EtOH, DMF, EG, EtOAc и MeOAc, первые два раствора могут селективно растворять никель и медь без выщелачивания магнитного сплава. Растворение металлов в Br₂-ЭГ происходит медленно из-за высокой вязкости ЭГ, которая в 1 раз выше, чем у этанола или ДМФА. Медленная скорость растворения металлов в смесях MeOAc и EtOAc обусловлена низкой растворимостью образующихся в этих растворителях солей металлов. Этот сольвометаллургический процесс работает лучше, чем водный 2 М раствор HNO₃, который может растворять никель, но не медь.

Использованная литература

1. Yue C.; Sun H.; Liu W. J.; Guan B.; Deng X.; Zhang X.; Yang P. Environmentally Benign, Rapid, and Selective Extraction of Gold from Ores and Waste Electronic Materials. *Angew. Chem., Int. Ed.* 2017, 56, 9331–9335. 10.1002/anie.201703412. [[PubMed](#)] [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
2. Brunzie G. F.; Johnson T. R.; Steunenberg R. K. Selective Dissolution of Uranium from Uranium—Uranium Oxide Mixtures by Bromine—Ethyl Acetate. *Anal. Chem.* 1961, 33, 1005–1006. 10.1021/ac60176a043. [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
3. Strubbe K.; Gomes W. P. Bromine-Methanol as an Etchant for Semiconductors: A Fundamental Study on GaP: II. Interaction Between Chemical and Anodic Etching of P-Type. *J. Electrochem. Soc.* 1993, 140, 3301–3305. 10.1149/1.2221027. [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
4. Nakao Y. One-Step Syntheses of Polyhalogenometal Complexes by Direct Dissolution of the Metals in Halogen-Halide-Acetonitrile Systems. *Chem. Lett.* 1999, 28, 433–434. 10.1246/cl.1999.433. [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]





5. Palden T.; Onghena B.; Regadío M.; Binnemans K. Methanesulfonic Acid: A Sustainable Acidic Solvent for Recovering Metals from the Jarosite Residue of the Zinc Industry. *Green Chem.* 2019, 21, 5394–5404. 10.1039/C9GC02238D. [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
6. Rodriguez Rodriguez N.; Machiels L.; Onghena B.; Spooen J.; Binnemans K. Selective Recovery of Zinc from Goethite Residue in the Zinc Industry Using Deep-Eutectic Solvents. *RSC Adv.* 2020, 10, 7328–7335. 10.1039/D0RA00277A. [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]

