

УДК 621.357

И.И. Курило, доц., канд. хим. наук;  
Е.В. Крышилович, ассист., канд. хим. наук; Касач А.А., студ.  
(БГТУ, г. Минск)

## **ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ВЫДЕЛЕНИЕ МЕДИ ИЗ МЕТАЛЛСОДЕРЖАЩИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ**

Применение для переработки металлосодержащих отходов и обработанных электролитов электрохимических методов позволяет не только утилизировать отходы, которые оказывают весьма вредное влияние на экосистему, но и извлекать цветные металлы в пригодном для повторного использования виде, предотвратить образование побочных агрессивных продуктов, многократно использовать рабочие растворы, селективно извлекать металлические составляющие сплавов, автоматизировать процесс переработки. Это является веским аргументом для обоснования актуальности и целесообразности разработки и внедрения в Республике Беларусь эффективных электрохимических технологий извлечения цветных металлов из промышленных технологических отходов.

Целью нашей работы явилось изучение электродных процессов, протекающих при электрохимическом выделении меди из твердых металлосодержащих отходов в сернокислых электролитах.

Выбор сернокислого электролита обусловлен относительно высокими скоростями анодного растворения и катодного восстановления меди, хорошей растворимостью сульфатов, а также отсутствием процессов образования побочных газообразных токсичных веществ.

Для изучения возможности извлечения меди в виде катодных осадков непосредственно в процессе утилизации металлосодержащих отходов были проведены хроновольтамперметрические исследования сернокислых рабочих растворов на титановом электроде. Выбор материала электрода определялся высокими эксплуатационными характеристиками и низкой адгезией полированной поверхности титана к восстанавливаемым металлам, что обеспечивает легкость съема катодных осадков.

Хроновольтамперметрические исследования катодных процессов, протекающих при растворении меди в сернокислых растворах, показали, что в области потенциалов от  $-0,23$  В до  $+0,35$  В на потенциодинамических кривых наблюдается пик катодного тока, соответствующих процессу восстановления меди.

Дополнительное введение сульфат-ионов в сернокислый электролит смещает потенциал начала осаждения металла в область положи-

тельных значений и увеличивает предельный ток и, соответственно, скорость осаждения меди, что отчасти объясняется увеличением электропроводности и ионной силы раствора.

Введение в сернокислый электролит хлорид-ионов в количестве 0,01–0,14 моль/л приводит к увеличению скорости осаждения меди в 1,5–2,5. Это объясняется увеличением концентрации соединений Cu(I) в результате образования комплексных ионов  $\text{CuCl}_2^-$  и  $\text{CuCl}_3^{2-}$ .

Установлено, что с увеличением концентрации ионов металла от 0,04 до 0,50 моль/л максимальная скорость осаждения меди увеличивается более чем в 10 раз. При более высоком содержании меди в растворе инициируется солевая пассивация анода, поэтому использование более концентрированных по ионам меди электролитов для переработки промышленного лома нецелесообразно.

При совместном присутствии в сернокислом электролите ионов меди и олова их совместное катодное осаждение возможно при введении в электролит комплексообразователей или поверхностно-активных веществ. При отсутствии добавок в сернокислом сульфатном электролите наблюдается процесс селективного восстановления этих металлов.

Повышение температуры с 20 до 30 °С во всех исследуемых электролитах приводит к увеличению предельных токов осаждения меди почти на 30%, однако катодный выход по току меди при этом уменьшается. Перемешивание электролита способствует устранению диффузионных ограничений, выравниванию концентраций ионов металла в приэлектродных областях и в объеме электролита. Наблюдаемое при этом некоторое ухудшению структуры катодного осадка может быть связано с уменьшением поляризации. Кроме того, при интенсивном гидродинамическом режиме наблюдается значительное увеличение предельных токов осаждения, особенно в условиях повышенных температур. В сернокислом электролите при совместном присутствии ионов меди и олова использование интенсивного гидродинамического режима приводит к увеличению предельных токов осаждения меди на 30% при температуре 20 °С и на 50% при температуре 35 °С. Негативное влияние перемешивания на структуру катодного осадка компенсируется повышением плотности тока.

Для оптимизации технологических параметров процесса катодного извлечения меди из сернокислых растворов была проведена серия опытов. Установлена зависимость катодного и анодного выходов по току от состава ионного электролита и параметров электролиза.

В результате проведенных исследований установлено, что процесс катодного восстановления меди из отработанных сернокислых электролитов целесообразно проводить при температуре 18–20 °С, катодной плотности тока 0,005–0,025 А/см<sup>2</sup>. Использование более высоких температур нецелесообразно, так как на катоде не протекает процесс выделения водорода, и выход по току меди составляет примерно 100 %. Кроме того, повышение температуры приводит к ухудшению качества катодного осадка и интенсификации процессов гидролиза в прикатодной области.

Процесс анодного растворения металлсодержащих отходов целесообразно проводить при плотности тока 0,04–0,06 А/см<sup>2</sup>. Наличие ионов меди в количестве 10–30 г/л не оказывает заметного влияния на уменьшение скорости растворения анода и анодный выход по току, так как ионы Cu<sup>2+</sup> также являются окислителями. В качестве депассивирующей добавки в электролит можно вводить ионы хлора, которые при концентрациях, превышающих критическую (> 0,08 моль/л), ввиду своей специфической адсорбции значительно увеличивают скорость анодного растворения. Однако при концентрации более 0,28 моль/л и значительной поляризации на аноде может наблюдаться процесс выделения газообразного хлора, что снижает анодный выход по току и экологически небезопасно.

Введение в электролит депассиваторов (0,14–0,28 моль/л Cl<sup>-</sup>), комплексообразователей (0,6 моль/л NH<sub>3</sub>, Трилона Б) не только позволяет увеличить скорость анодного растворения и анодный выход по току меди, но и существенно интенсифицировать катодный процесс с получением более компактных осадков меди.

Учитывая устойчивость хлоридных комплексов одновалентной меди, необходимо отметить ее участие в катодном процессе. Поскольку электрохимический эквивалент одновалентной меди в два раза больше, чем для двухвалентной меди, количество электроэнергии, затрачиваемой на единицу массы меди будет в два раза ниже. Это одно из важнейших преимуществ использования электролитов, содержащих анионы Cl<sup>-</sup>. При этом энергозатраты при осаждении меди снижаются на 20 – 30 % ввиду разряда хлоридных комплексов одновалентной меди.

Повышение температуры позволяет не только уменьшать пассивацию анодов, применять более концентрированные растворы, так как возрастает растворимость исходных компонентов, но и увеличивать электропроводность электролита, что, в свою очередь, приводит к значитель-

ному уменьшению общего напряжения электролиза и снижению удельных энергозатрат. Однако повышение температуры влечет за собой снижение катодного перенапряжения, что способствует образованию дендритообразных осадков. Такое негативное влияние температуры может несколько сбалансировать одновременное повышение рабочей плотности тока.

В качестве катода целесообразно использовать титан с гладкой поверхностью, который обеспечивает легкость съема катодного осадка, обладает высокой коррозионной стойкостью и длительным ресурсом работы.

Проведенные исследования явились теоретической основой для разработки экологически безопасных электрохимических технологий переработки медьсодержащих промышленных отходов.

УДК 621.357(047.31)

В. А. Ашуйко, доц., канд. хим. наук;  
И. Е. Малашонок, доц., канд. хим. наук; В. И. Янушевский, студ.  
(БГТУ, г. Минск)

### **ПОЛУЧЕНИЕ ЦИНКОВЫХ ПИГМЕНТОВ ИЗ ОТХОДОВ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ**

Гальванические покрытия стальных изделий цинком широко используются в декоративных целях, для снижения трения, повышения износостойкости изделий и коррозионной стойкости. Вместе с тем, гальваническое производство, в котором используется электроосаждение цинка, является одним из опасных источников загрязнения окружающей среды.

Перед гальваническим производством, которое является одним из экологически опасных производств, стоит проблема переработки отработанных электролитов.

В работе рассматриваются возможности использования отработанных растворов цинкования для получения фосфата цинка и оксида цинка, которые находят применение в качестве пигментов, обладающих высокими антикоррозионными свойствами.

В качестве объектов изучения взяты отработанные электролиты цинкования (г.Сморгонь), в составе которых были выявлены  $ZnCl_2$  (20–70 г/л);  $NH_4Cl$  (200–250 г/л).