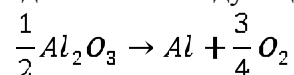


**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ
МАЛОРАСХОДУЕМЫХ АНОДОВ**

**Стригина Е.С., Заборовский А.О.,
научный руководитель докт. техн. наук Бабкин В.Г.
Сибирский Федеральный Университет**

Применение малорасходуемых (инертных) анодов в производстве алюминия позволит уменьшить экологический вред алюминиевого производства, а также повысить его экономическую эффективность.

Технология получения алюминия электролизом криолитоглиноземных расплавов существует уже более ста лет, и за это время она не получила никаких существенных изменений. Экологическая вредность алюминиевого производства, в основном, вызвана применением углеродных анодов, так как при их сгорании в ходе электролиза выделяется большое количество углеводородов и фтороуглеродов, а необходимость постоянной замены анодов создает технологические и экономические трудности. Применение инертных анодов позволит решить эти проблемы, так как при их использовании выделяется кислород, и они не сгорают в процессе электролиза. Основная реакция с инертным анодом имеет следующий вид:



Выделяющийся на аноде кислород удаляется в атмосферу или может быть утилизирован. Производство алюминия с использованием инертного анода – революционная технология, не имеющая аналогов с точки зрения экологического эффекта. Такой процесс не только лишен экологической опасности, но и способен повысить экономическую эффективность производства. В настоящее время ведутся обширные исследования по выбору необходимого материала анода.

Поиск материала для инертного анода ведется по трем направлениям:

1. металлы;
2. керметы;
3. керамика.

У каждого из этих материалов есть положительные и отрицательные стороны. Главное преимущество керамики и керметов перед металлами это высокая коррозионная стойкость, но простота изготовления и механическая прочность делают металлические сплавы наиболее перспективными материалами для инертного анода по сравнению с оксидной керамикой и керметами.

Металлические аноды – это либо инертные к выделяющемуся кислороду благородные металлы, либо металлы и сплавы, образующие на поверхности защитную оксидную пленку.

В работах Российских и зарубежных ученых были исследованы аноды различных типов: металлические сплавы, керамика, керметы а также слоистые композиты представляющие собой основу из металла или кермета, с нанесенным на нее покрытием из керамики. Покрытия были нанесены методом плазменного напыления или горячего прессования, а сердцевину анодов выполняли методом порошковой металлургии. Образцы инертных анодов, полученные из различных материалов, представлены на рисунке 1.

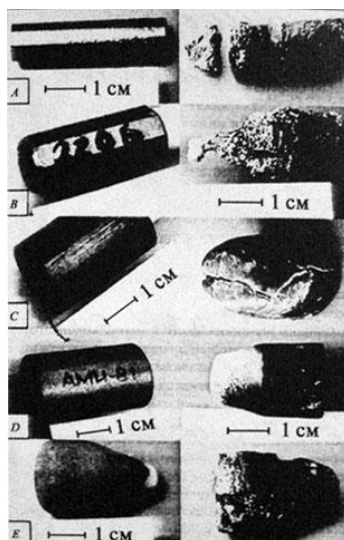


Рисунок 1 – Образцы инертных анодов до (слева) и после (справа) электролиза КГР: а – металлический сплав Fe – Ni – Cu – Al, б – металлокомпозит $\text{Ni}_3\text{Al} - \text{Cu} - \text{Fe}$, с – керамика CuFe_2O_4 , d – металлокерамика $\text{NiFe}_2\text{O}_4 - \text{NiO} - \text{Cu}$, е – слоистый композит металл Ni – Cu – Fe – Al – кермет (покрытие) $\text{NiFe}_2\text{O}_4 - \text{NiO} - \text{Cu}$, нанесенное плазменным напылением.

Наибольшая коррозионная стойкость наблюдается у образцов из керамики и металлокерамики, но низкая пластичность может привести к растрескиванию анода. Среди металлических материалов наиболее перспективными являются аноды на медно – железо – никелевой основе. Во время электролизных испытаний слоистых металлических анодов с покрытием из кермета $\text{NiFe}_2\text{O}_4 - \text{NiO} - \text{Cu}$ (рисунок 2) наблюдалась равномерная коррозия покрытия, для улучшения коррозионной стойкости можно также использовать добавку 3% серебра.



Рисунок 2 – Капсулированный анод (металлическая сердцевина Ni – 6% Al – 10% Cu – 11% Fe – 3% Zn, полученная СВС-спеканием, керметное покрытие 17% Cu – 65% NiFe_2O_4 – 18% NiO, нанесенное плазменным напылением) после электролиза.

Основной проблемой использования слоистых анодов являлось отслоение покрытия от сердцевины анода, которое может происходить из-за разницы коэффициентов термического расширения.

Исходя из проделанных работ, можно сделать вывод, что сердцевину капсулированного анода лучше получать литьем, а не спеканием порошков, так как литье снижает пористость к нулю. Наилучшими материалами для металлического анода являются железо – медно – никелевые сплавы.

Повысить механические свойства материала инертного анода можно за счет измельчения его структуры с помощью модифицирования. Влияние модифицирования на структуру показано на рисунке 3.

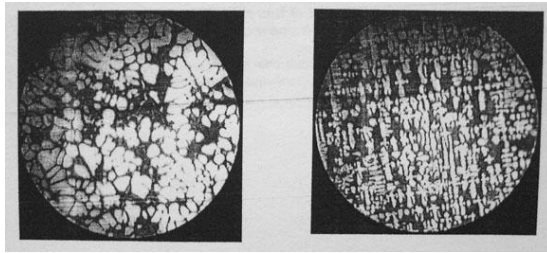


Рисунок 3 – Микроструктура образцов не модифицированного и модифицированного церием.

Центрами кристаллизации при затвердевании могут быть частицы тугоплавких неметаллических включений. Эффект измельчения структуры значительно увеличивается при соблюдении структурного и размерного соответствия, которое способствует сопряжению их кристаллических решеток с основным металлом, а также при условии смачивания потенциальных центров кристаллизации расплавом. Представляет интерес выбор модификаторов на основе тугоплавких интерметаллидов, которые могут быть дополнительными центрами кристаллизации. Весьма перспективными для повышения жаропрочности сплавов могут быть нитриды, бориды и карбиды.

Повысить же коррозионную стойкость металлического анода можно за счет создания барьерных покрытий, а именно покрытий из металлокерамики, в основу которого входят феррит никеля NiFe_2O_4 , оксид никеля NiO и металлическая составляющая – смесь меди и серебра.