ж)ьж)ьk0ж7ж;жежk8жk[
[1] ЗАО «Производственная компания «Химсервис» имени А.А. Зорина» (ЗАО «Химсервис») (Новомосковск, Россия).

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ОСНОВНЫХ МАТЕРИАЛОВ АНОДНЫХ ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ

С развитием современных технологий, а также с появлением возможности закупать рабочие элементы для анодов на мировом рынке появилось большое количество новых анодных заземлителей из разных материалов. При этом заявленные технические характеристики даже однотипных материалов у разных производителей могут сильно отличаться. Создавшаяся ситуация ставит перед проектными организациями и специалистами по противокоррозионной защите непростую задачу выбора наиболее подходящих анодных заземлителей для конкретных условий эксплуатации.
В статье представлен анализ эксплуатационных свойств основных материалов анодных заземлителей. На основании ограничений, присущих каждому материалу, приводится рекомендуемая область их применения. Рассмотрены, в частности, такие материалы, как смешанные металлоксиды, диоксид марганца, графит, ферросилид и магнетит.

Анодные заземлители (АЗ) предназначены для использования в качестве малорастворимых элементов установок катодной защиты от коррозии магистральных трубопроводов и других подземных металлических сооружений. Основное назначение АЗ – обеспечить стекание защитного тока в грунт. Как известно, в металлах электропроводность осуществляется за счет электронов, поэтому ток в металлах по носителям заряда называется электронным. В электролитах носителями зарядов являются ионы, поэтому ток в электролитах называется ионным. За счет протекания электрохимических реакций на анодном заземлении происходит преобразование электронного тока в ионный.
При этом на анодном заземлении возможно протекание следующих реакций:
1) образование кислорода из воды грунтового электролита:

$$2H_2O \rightarrow O_2 + 4e^- + 4H^+; \quad (1)$$

2) реакция растворения материала анода:

$$Me \rightarrow Me^{n+} + ne^-. \quad (2)$$

Классификация анодных заземлителей на глубинные, подповерхностные и протяженные указывает на особенности их конструкции и способ установки (монтажа), в то время как область их применения определяется в первую очередь материалом рабочего электрода заземлителя.
В качестве анодного материала может использоваться любой токопроводящий материал. В зависимости от вклада реакции (2) в процесс преобразования электронного тока в ионный материалы АЗ подразделяются на:
- растворимые;
- нерастворимые;
- малорастворимые.

АНОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Растворимые

В качестве растворимых анодных материалов еще недавно широко применялись сплавы на основе железа в виде отходов труб, рельсов и т. п. Скорость анодного растворения железа составляет около 10 кг/А·год. При использовании заземлителей из растворимых материалов очень сильно загрязняются ионами железа грунтовые воды. Дополнительным негативным фактором является отсутствие электропроводности у продуктов растворения таких АЗ, что очень быстро приводит к их неработоспособности. В настоящее время данные материалы запрещены к применению.

Нерастворимые

При стекании тока с нерастворимых (инертных) анодов на их поверхности происходит в основном выделение кислорода по реакции

(1), растворение материала анода по реакции (2) практически отсутствует. К инертным материалам относятся материалы платиновой группы, которые вследствие дефицитности и высокой стоимости на практике применяются в виде тонких оксидных покрытий на подложках из коррозионно-стойких электропроводящих (вентильных) материалов. Общепринятое международное название – Mixed Metal Oxide (ММО).

Поскольку на поверхности нерастворимых анодов протекает только реакция (1), потенциал анода необходимо сместить в положительную область до потенциала выделения кислорода, т. е. увеличить напряжение источника тока. В процессе эксплуатации необходимо контролировать уровень потенциала анода, поскольку в качестве подложки чаще всего используется титан. При потенциале около 7,5 В происходит разрушение оксидной пленки титана с интенсивным растворением титановой подложки и выходом из строя анодного заземлителя.

Вследствие этого использование нерастворимых материалов в качестве точечных (поверхностных и глубинных) АЗ для установки в грунтах с сопротивлением более 10 Ом·м нецелесообразно. Такие материалы хорошо зарекомендовали себя в химической промышленности, а также для защиты морских платформ и судов. Оптимальной областью применения являются высокоагрессивные среды и морская вода с низким удельным сопротивлением. Также возможно использование ММО-материалов с учетом ограничений по напряжению в виде проволоки с коксовой засыпкой в качестве протяженных гибких анодов.

Малорастворимые

Наибольший интерес представляют анодные заземлители из малорастворимых материалов, для которых соотношение «срок службы/стоимость» наиболее оптимально [1]. К малорастворимым анодным материалам относятся ферросилид, магнетит и все графитсодержащие материалы. Сейчас на рынке появился новый материал – диоксид марганца.

Среди малорастворимых материалов наибольшую скорость анодного растворения имеет **графит** – до 1,2 кг/А·год. На графитовых электродах анодные реакции более сложные, и дополнительно происходит окисление углерода с образованием газа:

$$C + O_2 \rightarrow CO_2. \qquad (3)$$

Графитсодержащие материалы обладают такими существенными недостатками, как подверженность «холодному горению» (когда на поверхности анода образуется газ по реакции (3), вызывающий резкое увеличение переходного сопротивления), высокое продольное сопротивление графита, низкая рабочая плотность тока, высокая чувствительность к влажности грунта. Возникают сложности в оценке скорости анодного растворения таких материалов ввиду наличия в материале неэлектропроводных связующих. В зависимости от используемых связующих материалы делятся на жесткие (графитопласты) и гибкие (графитонаполненные полимеры или резина). При превышении рекомендуемой плотности тока полимеров или резины происходит интенсивное выделение кислорода, что приводит к деструкции полимерной матрицы и разрушению таких материалов (рис. 1). Кроме того, графитопласт обладает очень высокой хрупкостью (рис. 2). Данные недостатки сдерживают широкое применение графитсодержащих материалов для изготовления анодных заземлителей. Однако благодаря гибкости некоторых составов материала они нашли применение в качестве протяженных анодов, для которых требуется низкая плотность тока.

Аноды из **диоксида марганца** получают осаждением данного соединения на подложку из вентильного металла – титана. По конструкции они схожи с анодами ММО. Материал имеет достаточно низкую скорость растворения – до 0,04 кг/А·год. Технология нанесения не позволяет получать достаточную толщину покрытия, что обусловливает малый ресурс данных анодов. Вследствие того что используется