

Г.Н. Зорина<sup>1</sup>, В.В. Першуков<sup>1</sup>, Н.М. Католикова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ЗАО «Химсервис» (Новомосковск, Россия).

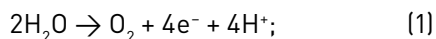
## ОСНОВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ АНОДНЫХ ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

С развитием современных технологий, а также с появлением возможности закупать рабочие элементы анодов на мировом рынке появилось большое количество новых анодных заземлителей из разных материалов. При этом заявленные технические характеристики однотипных материалов у разных производителей могут сильно различаться. Создавшаяся ситуация ставит перед проектировщиками и специалистами по противокоррозионной защите непростую задачу выбора. В статье представлен анализ эксплуатационных свойств основных материалов анодных заземлителей. На основании данного анализа и, в частности, на ограничениях, присущих каждому материалу, приводится рекомендуемая область их применения.

Основное назначение анодного заземлителя – обеспечение стекания защитного тока в грунт. При этом на анодном заземлении происходит преобразование электронного тока в ионный. 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. Преобразование электронного тока в ионный осуществляется за счет протекания электрохимических реакций.

На анодном заземлении возможно протекание следующих реакций:

1) образование кислорода из воды грунтового электролита:



2) реакция растворения материала анода:



Исходя из назначения анодного заземлителя, в системе катодной защиты в качестве анодного материала может использоваться любой токопроводящий материал.

В зависимости от вклада реакции (2) в процесс преобразования электронного тока в ионный материалы анодных заземлителей подразделяются на растворимые, нерастворимые и малорастворимые.

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 неэлектропроводность продуктов растворения таких анодных заземлителей, что очень быстро выводит их из строя. В настоящее время данные материалы запрещены к применению.

При стекании тока с нерастворимых (инертных) анодов на их поверхности происходит только выделение кислорода по реакции (1), растворения материала анода по реакции (2) практически не происходит. К инертным материалам относятся материалы платиновой группы, которые вследствие дефицитности и высокой стоимости на практике применяются в виде

тонких оксидных покрытий на подложках из коррозионноустойчивых электропроводящих материалов. Общепринятое название – Mixed Metal Oxide (ММО).

Поскольку на поверхности нерастворимых анодов протекает только реакция (1), необходимо потенциал анода сместить в положительную область до потенциала выделения кислорода, а следовательно, увеличить напряжение на источнике тока. В качестве подложки чаще всего используется титан, поэтому в процессе эксплуатации необходимо контролировать потенциал анода. При потенциале 12 В, а по нашим исследованиям, в некоторых средах уже при 8 В, происходит разрушение оксидной пленки титана с интенсивным растворением титановой подложки и выходом из строя анодного заземлителя.

Поэтому использование нерастворимых материалов в качестве точечных (поверхностных и глубинных) анодных заземлителей для установки в грунтах нецелесообразно. Такие материалы хорошо зарекомендовали себя в химической промышленности, а также для защиты морских платформ и судов. Оптимальной областью применения являются высокоагрессивные



Рис. 1. Деструкция полимера



Рис. 2. Разрушение анодного заземлителя при транспортировке



Графитсодержащие материалы обладают существенными недостатками, такими как подверженность «холодному горению» (когда на поверхности анода образуется газ по реакции (3), вызывающий резкое увеличение переходного сопротивления), высокое продольное сопротивление, 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). Графитопласт также обладает серьезным недостатком – 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. Ферросилид представляет собой сплав железа с кремнием и имеет скорость анодного растворения до 0,5 кг/А·год. При работе ферросилида на его поверхности одновременно с реакцией восстановления кислорода (1) протекает реакция растворения сплава. Выход ионов железа приводит к растворению анода. Свободному выходу железа из ферросилида препятствует наличие ионов кремния: вследствие большего сродства к кислороду ионы кремния легче соединяются с кислородом, образуя труднорастворимый оксид кремния. Образующийся оксид кремния со временем покрывает всю поверхность анодного заземлителя и препятствует выходу ионов железа, а следовательно, растворению анода. Поскольку процессы, протекающие на анодном заземлении, осуществляются с участием электронов, то скорость протекания этих процессов зависит от величины стекающего, т. е. защитного, тока. Зависимость скорости растворения от плотности тока представлена на рис. 3. Необходимо учитывать, что на конечный период эксплуатации плотность защитного тока как минимум в 3 раза превышает начальную в связи с уменьшением геометри-

среды и морская вода с низким удельным сопротивлением. Также возможно использование таких заземлителей в качестве протяженных гибких анодов в виде проволоки с коксовой засыпкой, с учетом ограничений по напряжению.

Наибольший интерес представляют анодные заземлители из малорастворимых материалов, для которых соотношение «срок службы/стоимость» наиболее оптимально. К малорастворимым анодным материалам относятся все графитсодержащие материалы, ферросилид, магнетит.

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 по уравнению:

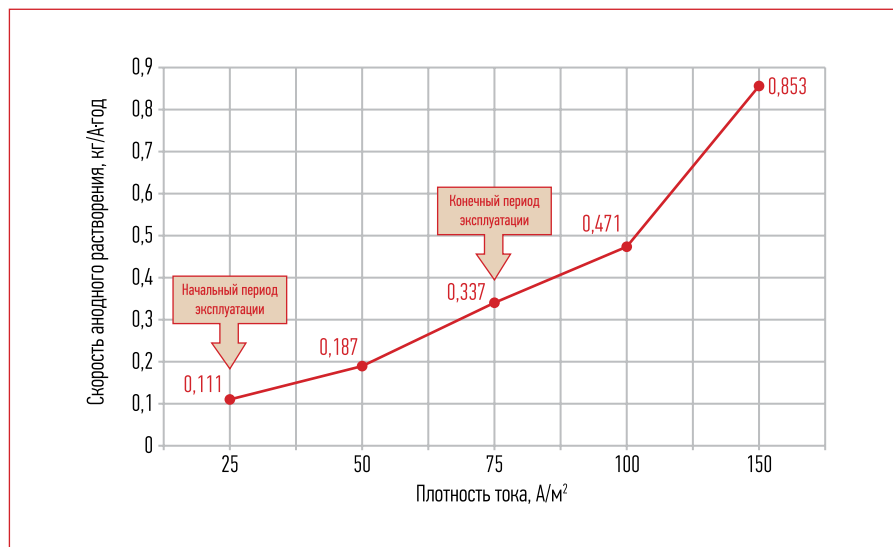


Рис. 3. График скорости растворения ферросилида

Характеристики современных анодных материалов

Материалы	Максимальная плотность тока, А/м <sup>2</sup>	Скорость анодного растворения, кг/А·год	Преимущества	Недостатки	Рекомендуемая область применения
Ферросилид	75	0,3–0,5	Электропроводящие продукты анодного растворения; равномерное растворение по длине и сечению; прогнозируемое поведение при превышении тока	Нецелесообразность применения в водных средах	Любые грунты в качестве поверхностных и глубинных конструкций
Магнетит	500	0,02–0,04	Равномерное растворение по длине и сечению; прогнозируемое поведение при превышении тока; малый вес, возможность ручного монтажа	Хрупкость материала	Морская вода. Любые грунты с обязательным использованием коксовой засыпки в качестве поверхностных и глубинных конструкций
ММО на титановой подложке	5000	0,00001	Позволяют обеспечивать очень высокую плотность тока	Ограничение потенциала на аноде 12 В; высокая стоимость	Защита в морской воде, солончаках. Протяженные анодные заземлители с высокой плотностью тока
Графитопласт	1,0	0,5–1,2	Невысокая стоимость	Образование газовой оболочки вокруг анода из CO <sub>2</sub> ; высокое продольное сопротивление; высокая хрупкость; низкая плотность тока	Объекты с очень низким защитным током и малым ресурсом
Графитонаполненный полимер или резина	1,0	примерно 0,1	Невысокая стоимость; Гибкость материала	Образование газовой оболочки вокруг анода из CO <sub>2</sub> ; высокое продольное сопротивление; низкая плотность тока	Протяженные анодные заземлители с низкой плотностью тока

ческих размеров анодов. Однако не только плотность тока определяет скорость растворения ферросилида. Очень важно, чтобы сплав, из которого изготовлен анодный заземлитель, был однородным по химическому составу, без газовых включений и других дефектов. Все эти параметры влияют на реальный срок службы.

Длительное и повсеместное использование ферросилида в различных грунтах доказало их высокую эффективность в качестве точечных (поверхностных и глубинных) заземлителей.

Магнетит, обладая очень низкой скоростью растворения (до 0,04 кг/А·год), имеет гораздо большие перспективы применения, позволяя изготавливать достаточно легкие конструкции. В связи с низкой скоростью растворения геометрические размеры заземлителя во время эксплуатации изменяются незначительно, что обеспечивает

практически стабильное сопротивление растеканию тока.

Механизм анодного растворения магнетита отличается от растворения ферросилида, так как материал состоит из оксидов железа, но суть протекающих на аноде процессов одинаковая. Ввиду большой допустимой плотности тока магнетит предполагает наиболее широкое использование в различных грунтах, а также в морской воде. К сожалению, сложная технология изготовления не позволяет добиться низкой цены при производстве данного материала и получить достойное широкое распространение. Представленные материалы анодных заземлителей сильно различаются по свойствам, и для того чтобы правильно их применять при капитальном ремонте и строительстве систем ЭХЗ, необходимо учитывать все их достоинства и недостатки. Понимание процессов, протекающих на анодном заземли-

теле, позволит проектировщикам и специалистам ЭХЗ грамотно выбрать его материал и обоснованно прогнозировать эксплуатационные затраты и срок их службы.

Результаты анализа анодных материалов с указанием рекомендуемой области применения, а также их преимуществ и недостатков представлены в таблице. Данная информация поможет принять правильное решение при выборе анодного заземления.



**XIMSERVIS**

ЗАО «Химсервис»  
301651, РФ, Тульская обл.,  
г. Новомосковск, ул. Свободы, д. 9  
Тел.: +7 (48762) 2-14-77/78  
Факс: +7 (48762) 2-14-78  
e-mail: adm@ch-s.ru  
www.ximservis.com