

**IV краевая научно – практическая конференция учащихся
«Старт в науку XXI века»**

Секция физика

**Коррозионные свойства алюминия. Средства защиты от
коррозии**

Кустова Дарья Вадимовна
ученица 10 «А» класса
МАОУ «Гимназия

Кузьминых Алексей
Александрович
учитель физики
МАОУ Гимназия

Рогов Алексей Олегович
руководитель испытательной
лаборатории ООО «ЭРИС»

Оглавление

Введение	3
Глава 1. Теоретическая часть.....	5
1.1 Алюминий	5
1.2 Коррозия Алюминия	6
1.3 Виды коррозии	7
1.4 Особенности влияния среды на состояние алюминия.....	9
1.5 Защита от коррозии	12
1.6 Соляной туман	15
Глава 2. Практическая часть.	17
Заключение.....	20
Список используемых источников.....	21
Приложения.....	22

Введение

Актуальность: ежегодно коррозия наносит огромный ущерб народному хозяйству каждой страны. В промышленно развитых странах убытки от коррозии за год составляют в среднем около 3-5% от внутреннего валового продукта, а потери металла достигают 20%. Коррозия алюминия является одной из главных проблем, с которой сталкиваются инженеры и дизайнеры, использующие алюминий в своих конструкциях.

Проблема: алюминий – это материал, без дополнительной защиты и соблюдения правил использования склонный к появлению коррозии. Процесс приводит к его разрушению, вызывает сильную порчу изделий, непригодность к дальнейшей эксплуатации.

Гипотеза: с помощью различных методов и технологий защиты можно значительно снизить риск коррозии и продлить срок службы алюминия.

Цель работы: изучить коррозионное поведение алюминия в атмосфере 100%-ной влажности в среде насыщенной NaCl.

Задачи исследования:

1. Изучение эффективности защиты от коррозии на металлической поверхности алюминия в условиях насыщенной среды.

2. Исследовать защитную эффективность анодного оксидирования по отношению к алюминию в условиях 100%-ной влажности среды в среде насыщенной NaCl.

3. Исследовать защитную эффективность нанесённого лакокрасочного покрытия по отношению к алюминию в условиях 100%-ной влажности среды в среде насыщенной NaCl.

Объект исследования: коррозионные свойства алюминия.

Предмет исследования: способы защиты алюминия от коррозии.

Методы исследования: теоретический, экспериментальный и сравнительный.

Глава 1. Теоретическая часть

1.1 Алюминий

Алюминий (Al) является металлом серебристого цвета, легким и достаточно мягким. Алюминий - химически активный металл, на Земле представлен в виде оксида алюминия Al_2O_3 и некоторых других соединений. Он является третьим наиболее распространенным металлом на земле.

Одним из главных преимуществ алюминия является его легкость. Это делает его идеальным материалом для производства легких конструкций, таких как авиационные и космические конструкции, а также для производства таких продуктов, как напитки и пищевые контейнеры.

Кроме того, алюминий достаточно доступен и имеет достаточно низкую цену в сравнении с другими металлами, что также делает его популярным выбором для множества промышленных и коммерческих применений.

В целом, алюминий является важным и многофункциональным материалом, который имеет широкое применение в различных областях промышленности и инженерии. Некоторые другие области, где используется алюминий, включают:

- Транспортное оборудование: автомобили, катера, вагоны и самолеты.
- Электронная техника: компьютеры, телефоны и другое бытовое оборудование.
- Производство энергии: солнечные батареи и алюминиевые трубки для передачи газа и нефти.
- Строительство: сваи, дорожные знаки и системы освещения.

1.2 Коррозия Алюминия

Коррозия — процесс разрушения металла, или другого материала в результате его взаимодействия с окружающей средой, такой как вода, воздух или почва. Это может приводить к износу и деформации материала, а также к потере его механических и электрических свойств. При протекании данного процесса материал может быть разрушен частично или полностью. [1]

В результате коррозия может приводить к снижению прочности и надежности материала, а также к появлению трещин и других дефектов. Коррозия может происходить как на поверхности материала, так и внутри него. [4]

Из-за коррозии поверхность металлических изделий покрывается налётом из продуктов окисления и теряет блеск. Изменяется электропроводность металла, уменьшается его пластичность и прочность.

Чистый алюминий, ввиду высокой химической активности, на воздухе покрывается тончайшей оксидной пленкой, которая останавливает дальнейшую коррозию. При повреждении оксидной пленки она восстанавливается. Исходя из этого алюминий обладает высокой коррозионной стойкостью. Но его сплавы подвержены коррозии, поэтому коррозия алюминия является достаточно нередким явлением.

Коррозионная стойкость алюминия зависит от многих факторов: чистоты металла, коррозионной среды, концентрации агрессивных примесей в среде, температуры и т.д. Сильное влияние оказывает pH растворов.

Коррозия алюминия опасна по нескольким причинам. Во-первых, она может приводить к потере вида изделия и снижению его механической прочности. Во-вторых, коррозия может приводить к загрязнению окружающей среды, особенно если коррозионные продукты содержат

токсичные вещества. В-третьих, коррозия может снижать эффективность оборудования и увеличивать затраты на ремонт и обслуживание.

1.3 Виды коррозии

В зависимости от среды, в которой находится материал и дополнительных внешних рисков, может отличаться характер протекания коррозии и ее основные характеристики, степень негативного воздействия на материал.

- **Общая коррозия (сплошная)**

При данной коррозии на материале появляется плотное скопление маленьких язвочек, размер которых не превышает одного микрометра. Возникает в насыщенной кислой или щелочной среде. Под воздействием щелочей и кислот естественная оксидная пленка, защищающая алюминий, быстро растворяется. Это приводит к постепенному истончению материала по всей поверхности. Характерна для изделий, помещенных в кислотные и щелочные среды. В них происходит смывание оксидной пленки с поверхности, поражение прогрессирует и распространяется по металлу все дальше и дальше.

- **Контактная коррозия (гальваническая)**– электрохимический процесс, при котором один металл корродирует преимущественно при электрическом контакте с другим типом металла, а оба металла погружаются в электролит, такой как вода. Чтобы такой процесс запустился, металлы должны находиться в непосредственной близости друг от друга. При этом, появляется электрический мостик – этого достаточно чтобы алюминий начал медленно портиться. Причиной появления гальванических поражений становится отказ учитывать особенности материалов при проектировании различных сооружений. Во многом интенсивность распространения и сам риск появления такого поражения зависят от среды, уровня влажности, загрязненности атмосферы.

- Точечная коррозия. Для данной формы коррозии характерно образование на поверхности металла язвочек или ямок разного размера. Форма и глубина этих ямок определяется химическим составом алюминиевого сплава и особенностями среды эксплуатации. Появление точечной коррозии связано с присутствием электролита, в роли которого может выступать пресная и морская вода, влажный воздух и другие природные среды. Также известно, что точечная коррозия алюминия развивается в присутствии хлоридов. Хлоридные ионы проникают в естественную оксидную пленку и разрывают ее в слабых местах с образованием микротрещин. В большинстве случаев глубина коррозионных ямок не превышает 0,4 мм.

- Щелевая коррозия

Один из видов повреждений, характеризующийся локальным появлением. Возникает из-за того, что в щелях и углублениях часто скапливаются продукты окисления, происходит контакт между двумя металлами. Возникновение такой коррозии в алюминиевых профилях маловероятно. Однако, щелевая коррозия может возникать в морской атмосфере или на наружной поверхности кузовов транспортных средств. В ходе транспортирования и хранения алюминиевых профилей иногда может собираться вода в щелях между смежными алюминиевыми поверхностями.

- Нитевидная коррозия

Форма коррозии, специфичная для окрашенных стальных, алюминиевых и магниевых поверхностей. Такая коррозия алюминия чаще всего является реакцией металла на наличие дефектов окраски. Ее причиной также могут быть царапины, сколы, появившиеся в результате механического воздействия, и т. д. Данный дефект не ведет к разрушению материала, а только меняет внешний вид изделия.

- Коррозия под напряжением

Коррозия металла при одновременном воздействии коррозионной среды и постоянных или переменных механических напряжений.

По сравнению с другими описанными случаями, такая проблема встречается не так часто. Причина – длительное использование алюминия под сильной нагрузкой, которая в ряде случаев может превышать предельно допустимые значения. Если проблему не пресечь, на металле появятся трещины, он постепенно потеряет свою прочность, срок эксплуатации значительно сократится.

- Межкристаллическая коррозия

Наиболее опасный вид электрохимического разрушения сплавов по причине того, что материал теряет свои прочностные свойства без заметного изменения внешнего вида. Межкристаллитная коррозия может быть вызвана неправильной термообработкой, а также определенным термическим воздействием в процессе сварки или другими видами технологической обработки. Это не слишком распространенный тип повреждений. Чаще всего он встречается, когда в сплав попадает большое количество кремния и структура постепенно начинает меняться.

- Подповерхностная коррозия.

Местная коррозия, начинающаяся с поверхности, но преимущественно распространяющаяся под поверхностью металла таким образом, что разрушение и продукты коррозии оказываются сосредоточенными в некоторых областях внутри металла. В этом случае металл оказывается поражен в подповерхностном слое. Может произойти отслоение, возникнут иные проблемы. Использовать даже такое изделие будет уже нельзя. [3]

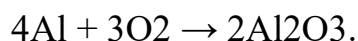
1.4 Особенности влияния среды на состояние алюминия

Стойкость алюминия к коррозии во многом зависит от того, в какой среде используется материал. Внешние условия оказывают значительное влияние на качество сплава. Рассмотрим основные факторы и варианты агрессивных сред.

- 1) Коррозия алюминия на воздухе

Алюминий при взаимодействии с воздухом переходит в пассивное состояние. При соприкосновении чистого металла с воздухом на поверхности алюминия мгновенно появляется тонкая защитная пленка оксида алюминия. Далее рост пленки замедляется.

Реакция взаимодействия алюминия с кислородом:



Толщина этой оксидной пленки составляет от 5 до 100 нм (в зависимости от условий эксплуатации).

Коррозия металлов на открытом воздухе зависит от так называемого времени сырости и состав поверхности электролитов. В нормальных загородных условиях, в умеренно сернистой атмосфере, стойкости алюминия является превосходной. В сильно сернистых средах незначительные места точечной коррозии могут произойти. Присутствие солей (в частности, хлоридов), в воздухе снижает прочность алюминий, но меньше, чем в случае большинства других строительных материалов.

2) Коррозия алюминия в почве

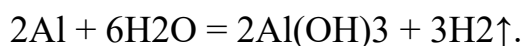
Почва не является однородным материалом. Минеральный состав, содержание влаги, pH, наличие органических материалов и электропроводности могут широко варьироваться от места к месту. Эти различия делают трудно предсказуемыми долговечность металлов в почве. Коррозионные свойства алюминия в почве в значительной степени зависят от влаги почвы, удельного сопротивления и значение pH.

3) Коррозия алюминия в воде

Коррозия металла в воде в значительной степени зависит от состава воды. Коррозия алюминия почти не наблюдается при взаимодействии с чистой пресной, дистиллированной водой. Для алюминия, это наличие

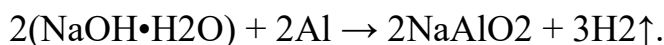
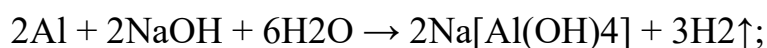
хлоридов и тяжелых металлов, что оказывает наибольшее влияние на прочность. В природной пресной и питьевой воде, алюминий может подвергаться точечной коррозии. Тем не менее, с регулярной сушкой и очисткой, риск вредной атаки коррозии чрезвычайно мал.

Взаимодействие чистого алюминия (не покрытого оксидной пленкой) с водой можно описать при помощи уравнения реакции:



- Щелочь

Щелочи легко растворяют защитную оксидную пленку на поверхности алюминия, он начинает реагировать с водой, в результате чего металл растворяется с выделением водорода.



Образуются алюминаты.

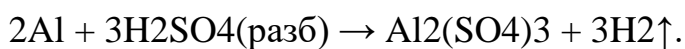
Также оксидную пленку разрушают соли ртути, меди и ионы хлора.

- Кислоты

С повышением чистоты алюминия его стойкость в кислотах увеличивается.

Коррозия алюминия в серной кислоте

Для алюминия и его сплавов очень опасна серная кислота (обладает окислительными свойствами) средних концентраций. Реакция с разбавленной серной кислотой описывается уравнением:

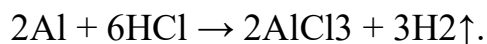


Концентрированная холодная серная кислота не оказывает никакого влияния. А при нагревании алюминий корродирует:



Коррозия алюминия в соляной кислоте

В соляной кислоте алюминий или его сплавы быстро растворяются (особенно при повышении температуры). Уравнение коррозии:



Аналогично действуют растворы бромистоводородной (HBr), плавиковой (HF) кислот. [8]

1.5 Защита от коррозии

К счастью, существуют способы защиты алюминия от коррозии.

Основные способы защиты алюминия:

1. Анодирование

Анодированное покрытие может представлять собой покрытие, которое создает на поверхности алюминия довольно прочную пленку из алюминия оксида, которая не поддается воздействию агрессивной среды. Подобная обработка дает возможность создавать на поверхности металлов аналогичный слой пленки, который просто не оставит алюминию возможность контактировать со внешней средой и ограждает его от окислительных процессов. [6]

2. Защиты от контактов с остальными металлами

При соприкосновении с остальными металлами, алюминий и сплавы алюминия способны составить гальваническую пару. Такое соприкосновение часто может становиться причиной образования коррозии.

а. Электрическая изоляция

Там, где различные металлы применяются в контакте, гальванической коррозии можно избежать путем электрической изоляции одного металла от другого.

в. Разрыв электролитической цепи

В больших конструкциях, там, где применение электроизоляции затруднительно, применяют альтернативное решение – предотвращение электролитического мостика между двумя металлами. Окраска поверхности – это один из путей сделать это. Чаще всего лучшим вариантом является окраска поверхности катода, то есть более благородного металла. Примером такого решения является окрашивание поверхностей масляными и эмалевыми красками. Часто более эффективным является окрашивание катодной поверхности, то есть поверхности более благородного металла.

3. Конструирование дренажа

Очень важно проектировать алюминиевые профили и другие алюминиевые изделия так, что они имели возможность дренажа осадков и быстрого высыхания поверхности. Профили, которые могут подвергаться воздействию влаги, не должны иметь углов или карманов, в которых скапливается вода. Каждый профиль, в котором может скапливаться вода, должен иметь дренажные отверстия.

4. Создание барьерного слоя между металлом и окружающей средой.

Это может быть достигнуто, используя специальные очистители и защитные покрытия, которые образуют барьерный слой между металлом и окружающей средой.

Одним из самых действенных методов считается покрытие поверхностей посредством различных красок и полимерных видов составов. Постоянное возрастание спроса на изделия из металла, а также

огромная цветовая гамма изделия из такого материала будет являться причиной того, что способы и техника нанесения подобных покрытий постоянно улучшаются и становятся совершенными с технологической стороны. [7]

Три рекомендации, помогающие значительно увеличить степень защищенности материала:

- Учет особенностей сплава и области использования. В зависимости от типа среды разные элементы в сплаве могут выступать как дополнительные катализаторы коррозии. Так повышенное содержание меди может увеличить риск проблем при контакте с морской водой.
- Исключение неблагоприятного соседства. В частности, не стоит использовать рядом изделия, материалы которых могут создавать с алюминием катодно-анодные связи.
- Нанесение специальных покрытий. Они не допускают контакта между основным сплавом и факторами, провоцирующими возникновение ржавчины. Используются различные мастики, порошковые, анодно-оксидные покрытия.

В зависимости от конкретной задачи и условий использования, необходимо выбрать наиболее подходящий метод защиты алюминия от коррозии.

В случае если проблема все-таки возникнет, можно будет решить вопрос как удалить коррозию с алюминия.

Для этой цели применяется механическая очистка, специальные составы-ингибиторы, которые могут значительно увеличить степень защищенности и не допустить дальнейшего распространения повреждений.

Наконец, для долговременной защиты алюминия от коррозии важно правильно ухаживать за металлом, например, очищать его от грязи, жира и

других загрязняющих веществ, и избегать длительного контакта с водой или другими коррозионными веществами. Также важно регулярно проверять состояние алюминия и заменять или ремонтировать его при необходимости. Это может включать в себя инспекцию металла на предмет коррозионных повреждений, как разложение, потеря толщины или слабость.

1.6 Соляной туман

Соляной туман является одним из основных факторов коррозии в многих местах мира. Он может наносить вред металлу, дереву, пластику и другим материалам.

Испытание коррозии на соляном тумане является стандартным методом испытания коррозионной стойкости металлических и неметаллических материалов. Это испытание проводится с целью определения степени коррозии материала при длительном воздействии соляного тумана, который содержит соли натрия и хлорида. Испытания обычно проводятся в специально оборудованных камерах, которые могут создавать и контролировать условия соляного тумана. Материалы помещаются в камеру и подвергаются действию соляного тумана в течение определенного времени, обычно от 24 часов до нескольких месяцев. После окончания испытания материалы оцениваются для определения степени коррозии, которая может быть оценена путем оценки изменения внешнего вида.

Важно отметить, что все методы испытаний коррозии на воздействие соляного тумана имитируют только один из многих факторов коррозии, которые могут воздействовать на материалы в реальной жизни. Результаты испытаний должны быть интерпретированы в контексте их применения.

Итоговая оценка коррозионной стойкости материала может быть получена путем сочетания результатов испытаний соляного тумана с

результатами других методов испытаний коррозии, например, испытаний на соответствие стандартам устойчивости к коррозии и испытаний на поглощение влаги. При выборе материала для конкретной применяемой области, необходимо также учитывать другие факторы, такие как экономические затраты, доступность и безопасность. [2]

Глава 2. Практическая часть.

Изучив теоретическую часть, мы приступили к практической.

Мы поставили для себя **цель:** исследование защитной эффективности анодного оксидирования и нанесенного лакокрасочного покрытия по отношению к алюминию в условиях 100%-ной влажности среды в среде насыщенной NaCl.

Эксперимент мы будем проводить на трех разных деталях.

1 деталь нечем не защищена. (рис. 1).

2 деталь защищена с помощью анодированного покрытия, но часть детали была не защищена, чтобы рассмотреть разницу покрытой части детали с непокрытой. (рис. 2)

3 деталь защищена с помощью лакокрасочного покрытия. (рис. 3)

Ход работы:

1. Помещаем детали в энергодисперсионный рентгенофлуоресцентный спектрометр для определения процентного содержания различных веществ. [5] (рис. 4)
2. Помещаем детали в камеру соляного тумана на 72 часа. (рис. 5)
3. Достаем их, промываем и высушиваем детали.
4. Оцениваем внешний вид и снова помещаем детали в энергодисперсионный рентгенофлуоресцентный спектрометр для определения процентного содержания различных веществ.
5. Анализируем полученные результаты.
 - 1.1 Помещаем первую деталь в энергодисперсионный рентгенофлуоресцентный спектрометр и получаем результаты, полученные в таблице 1. (Таблица 1)

1.2 Помещаем вторую деталь в энергодисперсионный рентгенофлуоресцентный спектрометр и получаем результаты, полученные в таблице 2. (Таблица 2)

1.3 Помещаем третью деталь в энергодисперсионный рентгенофлуоресцентный спектрометр и получаем результаты, полученные в таблице 3. (Таблица 3)

2. Помещаем все 3 детали в камеру соляного тумана на 24 часа.

3. Мы достали все наши детали, промыли их водой и высушили. (рис. 7)

4.1 Оцениваем внешний вид. 1 деталь (рис. 8), которая не была защищена полностью подверглась коррозии. 2 деталь (рис. 9), которая была защищена анодным корродированием подверглась коррозии лишь в той части, где была не защищена. 3 деталь, которая защищена лакокрасочным покрытием почти не подверглась коррозии. (рис. 10)

4.2 Помещаем первую деталь в энергодисперсионный рентгенофлуоресцентный спектрометр и получаем результаты, полученные в таблице 1. (Таблица 1)

4.3 Помещаем вторую деталь в энергодисперсионный рентгенофлуоресцентный спектрометр и получаем результаты, полученные в таблице 2. (Таблица 2)

4.4 Помещаем третью деталь в энергодисперсионный рентгенофлуоресцентный спектрометр и получаем результаты, полученные в таблице 3. (Таблица 3)

5. Анализирую таблицы и внешний вид деталей, мы можем заметить, что 1 деталь больше всего подверглась коррозии, в то время как 2 и 3 детали почти не подверглись ей.

Вывод: детали, которые были защищены от коррозии выдержали на себе воздействие соляного тумана, в отличие от той детали, которая была не защищена и подверглась коррозии.

Заключение

В заключение, коррозия алюминия является одной из самых распространенных проблем, с которой сталкивается металлоделаяющая индустрия. Но с помощью различных методов и технологий защиты можно значительно снизить риск коррозии и продлить срок службы алюминия. Важно обратить внимание на условия использования, методы ухода и регулярно проверять состояние алюминия для выявления коррозионных повреждений и принятия соответствующих мер. Коррозия алюминия может приводить к снижению прочности и износостойчивости конструкции, а также к снижению эстетики изделия. Если коррозия не останавливается вовремя, она может привести к тяжелым повреждениям и даже к функциональной неисправности конструкции.

В любом случае, следует обратиться к специалисту или производителю для получения рекомендаций по оптимальному методу защиты алюминия для конкретного случая использования.

Список используемых источников

1. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Коррозия> – определение коррозии, виды и способы борьбы с ней
2. <http://tk357.com/wp-content/uploads/2016/01/Pervaya-redaktsiya-proekta-GOST.pdf> – методы испытаний в соляном тумане
3. <https://vtmstol.ru/blog/korroziya-alyuminiya> – основные виды коррозии алюминия
4. <https://youtu.be/2GrM0WreOxE> – коррозия металлов
5. <https://www.shimadzu.ru/edx-7000p8000p> – энергодисперсионный рентгенофлуоресцентный спектрометр
6. <https://docs.cntd.ru/document/1200005015> –анодное оксидирование
7. <https://domsdelat.ru/materialy/sposoby-zashhity-alyuminiya-ot-korrozii.html> – защита алюминия от коррозии
8. <https://optkonserv.ru/razrusheniye-alyuminiya-pod-vozdeystviyem-agressivnykh-sred/> – причины появления коррозии, виды коррозии алюминия, особенности влияния среды на состояние алюминия

Приложения



рис. 1 (1 деталь до эксперимента)

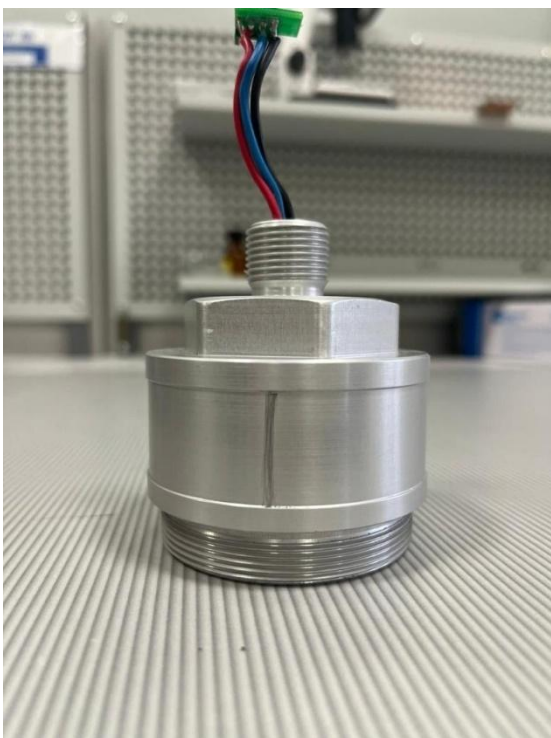


рис. 2 (2 деталь до эксперимента)



рис. 3 (3 деталь до эксперимента)

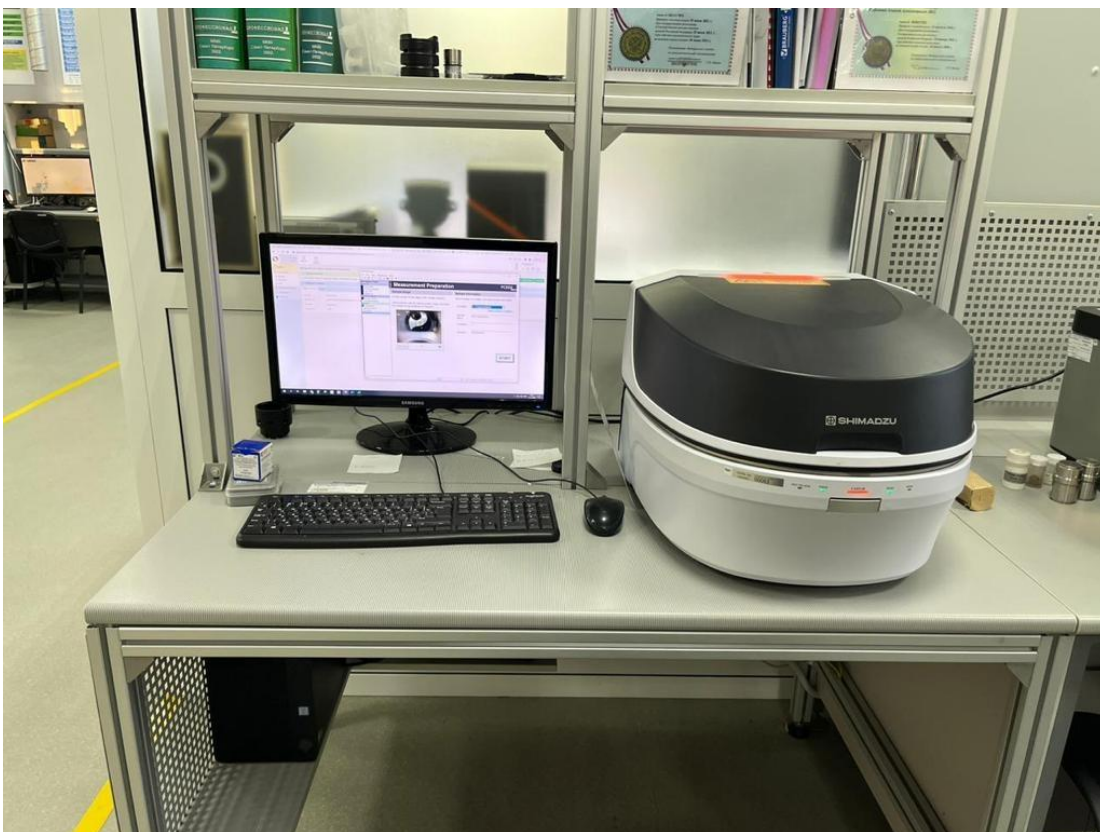


рис. 4 (энергодисперсионный рентгенофлуоресцентный спектрометр)



рис. 5 (Соляная камера)

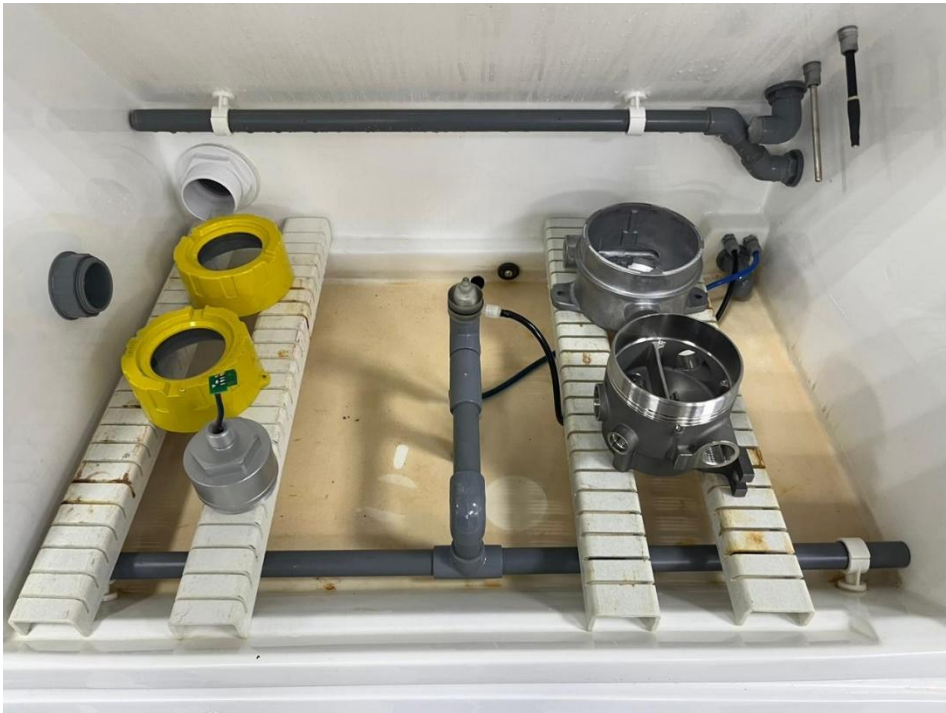


рис. 6 (Детали в соляной камере)



рис. 7 (Мытье детали)



рис. 8 (1 деталь после эксперимента)



рис. 9 (2 деталь после эксперимента)



рис. 10 (3 деталь после эксперимента)

Таблица 1

Измерения 1 детали до и после эксперимента

Элемент	Процентное содержание	
	До	После
Al	95.165	92.977
Cu	2.090	3.025
Zn	1.143	1.645
Fe	1.031	1.551
Mn	0.197	0.309
Ta	0.086	0.123
Ni	0.085	0.118
Pb	0.059	0.088
Cr	0.045	0.062
Ti	0.034	0.051
Sn	0.027	0.042
Pd	0.016	0.008

Таблица 2

Измерения 2 детали до и после эксперимента

Элемент	Процентное содержание	
	До	После
Al	91.825	92.021
Cu	6.386	6.253
Mn	0.903	0.941
Fe	0.328	0.374
Zn	0.188	0.178
Cr	0.119	0.089
Ti	0.080	0.060

Pb	0.038	0.045
Bi	0.037	0.035
V	0.033	0.004
Ir	0.022	92.021
Se	0.009	6.253

Таблица 3

Измерения 3 детали до и после эксперимента

Элемент	Процентное содержание	
	До	После
Al	81.597	81.406
Fe	7.430	7.432
Mo	2.841	2.849
Ba	2.691	2.687
Ti	2.281	2.276
Cr	1.674	1.655
Zn	0.489	0.486
Mn	0.369	0.387
Cu	0.360	0.355
Ga	0.119	0.123
Ni	0.082	0.098
Pb	0.066	0.076