

ТЕОРИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОКСИДНОЙ ПЛЕНКИ НА ДНИЩЕ ПОРШНЕЙ

Петряков Д.С., студент 3 курса инженерного факультета
Петряков М.С., магистрант 1 курса инженерного факультета
Научный руководитель – Хохлов А.А., доктор технических наук,
доцент
ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

***Ключевые слова:** оксидная пленка, износостойкость, физико-химические свойства, оксидированный слой, плотность, пористость*

В статье рассмотрена теория формирования оксидной пленки на днище поршней. Анализ литературных источников показал, что внешние и внутренние факторы оказывают влияние на физико-химические свойства оксидированного слоя (толщину, состав, структуру, плотность и пористость) и конструктивно-эксплуатационные свойства (микротвердость слоя, прочность сцепления с металлом, износостойкость, коррозионную устойчивость и теплопроводность)

Введение. Микродуговое оксидирование представляет собой процесс анодного окисления (анодирования) металлов с образованием анодной пленки. В результате многочисленных исследований было установлено, что анодные оксидные пленки на алюминии состоят из двух слоев: на поверхности металла - тонкого плотного слоя, получившего название барьерного и наружного пористого слоя. В настоящее время единой теории и механизма формирования структуры алюминиевой оксидной пленки нет. Проведенный анализ научной литературы и результатов исследований показал, что из всей совокупности моделей наиболее широко используются коллоидно-электрохимическая, физико-геометрическая и плазменная. Физико-геометрическая модель предложена Келлером. Согласно данной модели формирование барьерного оксидированного слоя начинается в

единичных активных точках на поверхности алюминия или его сплавов в виде микроячеек.

Материалы и методы исследования. Образование пор приводит к уменьшению толщины барьерного слоя. При этом наблюдается увеличение напряженности электрического поля, что влечёт за собой увеличение плотности ионного тока электролита и, как следствие – увеличение температуры и скорости оксидирования поверхности металла (в центре ячеек), число которых обратно пропорционально напряжению. Повышение температуры приводит к увеличению пор. Таким образом, сохраняется динамическое равновесие процессов анодирования и сохранение неизменной толщины барьерного слоя, успевшей сформироваться в первые моменты процесса анодирования (рис. 1).

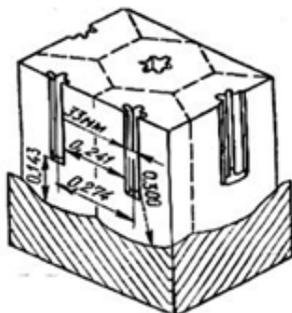


Рис. 1 - Схема формирования оксидированной пленки в соответствии с физико-геометрической моделью Келлера

Основные положения физико-геометрической модели:

- пористая алюминиевая оксидированная пленка - это плотноупакованные оксидные ячейки в форме гексагональных призм.
- ячейки ориентированы нормально к поверхности металла.
- в центре каждой ячейки находится одна пора - канал, диаметр которого определяется природой электролита и составом сплава.
- основанием ячеек служит безпористый барьерный слой сплава, также имеющий ячеистую структуру, причем размеры ячеек совпадают.
- формирование ячеек начинается с образования барьерного слоя, который затем переходит в пористый слой. В процессе анодирования поры удлиняются, так как дно пор - наружная поверхность барьерного слоя - подтачивается электролитом. Коллоидно-электрохимическая

(или полимерная) теория Богоявленского рассматривает алюминиевую оксидированную пленку как коллоидные образования. В соответствии с этой теорией формирование оксидной пленки на поверхности металла при его анодировании происходит следующим образом. С увеличением мономеров происходит их объединение в полимеры. Представляющие собой многослойные палочкообразные коллоидные мицеллы. Мицеллы являются каркасом образующегося на поверхности металла оксида алюминия. Благодаря волокнистообразной структуре мицелл, в них легко проникают анионы электролита. В результате этого мицеллы приобретают отрицательный заряд, что с одной стороны препятствует сращиванию их волокон и обеспечивает создание пористого слоя. С другой стороны – притягивает их к аноду и обеспечивает надежное сращивание их с поверхностью металла. Таким образом, образующийся на поверхности металла анодный оксид представляет собой оксид металла коллоидно-полимерной природы на базе бемитно-гидрагиллитных цепей ($\text{AlOOH} - \text{Al}(\text{OH})_3$). Размеры ячеек Келлера близки к размерам мицелл геля $\text{Al}(\text{OH})_3$. Структура анодного оксида, формирующегося в соответствии с данной моделью, представлена на рисунке 2.

Субмикроразмеры и микроразмеры образуют межмономерные и межмицеллярные пространства. Мицеллы могут скручиваться так, что пористый слой напоминает сноподобные образования, субволокон которых диаметром 20...50 нм построены из цепеобразно расположенных моно- и тригидратов оксида алюминия аморфной структуры, в которую внедрены электролитные группы (структурные анионы), участвующие в процессе образования алюминиевой оксидированной пленки и определяющие некоторые свойства анодных оксидов. В целом, с точки зрения коллоидно-мицеллярной теории, анодная оксидная пленка на алюминии состоит в основном из частиц гидроксидов алюминия коллоидной степени дисперсности, образующих неорганический полимер. Плазменная теория окисления отвечает на ряд вопросов, связанных со свечением алюминия при анодной поляризации. Согласно плазменной теории, формирование барьерного слоя происходит в результате полимеризации тонкого слоя поверхности металла под воздействием двумерной холодной плазмы в

момент отключения тока. Схема процесса плазменной модели анодирования представлена на рисунке 3.

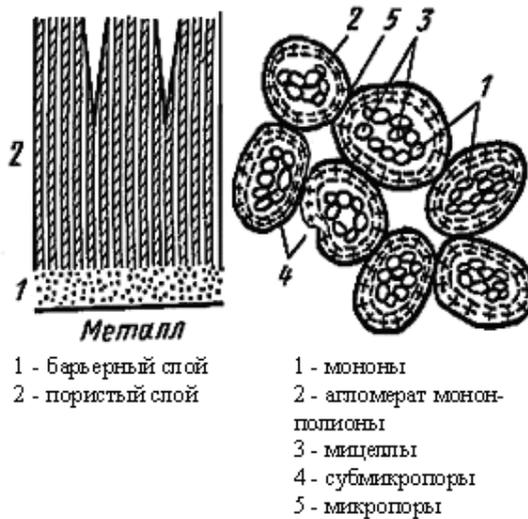


Рис. 2 - Коллоидно-электрохимическая теория формирования структуры анодного оксида на поверхности металла

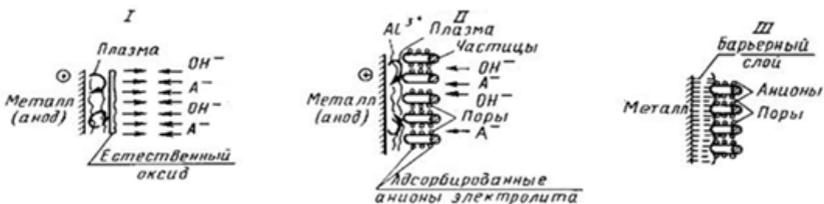


Рис. 3 - Схема плазменной модели анодирования

1 этап:

ионизация Al на аноде- $Al \rightarrow Al^{3+} + 3e^{-}$;

образование ядра оксида- $2Al^{3+} + 6OH^{-} \rightarrow Al_2O_3 + 3H_2O$;

полимеризация ядер- $nAl_2O_3 \rightarrow [Al_2O_3]_n$.

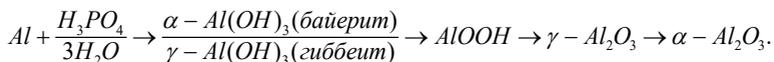
2 этап:

частичная гидратация оксида - $Al^{3+} + 3OH^{-} \rightarrow Al(OH)_3$;

$Al_2O_3 + Al(OH)_3 \rightarrow 3AlO_2$

3 этап: после включения тока - адсорбированные на частицах оксида анионы электролита препятствуют их срачиванию, что обеспечивает формирование пористого барьерного слоя.

При микродуговом оксидировании днищ поршней, в результате воздействия на оксидный слой дугового, искрового или тлеющего микроразряда, его температура может достигать нескольких тысяч градусов. Под воздействием таких высоких температур происходит оплавление стенок каналов пор оксида, за счет полиморфных превращений и дегидратации оксигидроксидов в покрытии появляются кристаллические модификации оксидов. Воздействие водного раствора электролита приводит к образованию байерита или гиббеита, переходящего под воздействием высоких температур в бемит. Дальнейшее повышение температуры в зоне разряда приводит к переходу байерита и гиббеита в гамма-корунд и при достижении 1200оС – в альфа-корунд. Поэтому в упрощенном виде процесс оксидирования может быть представлен в следующем виде



Поскольку альфа-корунд $\alpha-Al_2O_3$ имеет высокую твердость, не гигроскопичен, химически инертен до 1000 оС, основной целью микродугового оксидирования является создание оксидированного слоя с преобладанием $\alpha-Al_2O_3$. Создание оксидированного слоя с альфа-корундом позволит получить высокую твердость и теплоотражающую способность и тем самым снизить теплопроводность поршня [1-6].

Заключение. Таким образом, микродуговое оксидирование является сложным процессом, на течение которого оказывают влияние внешние (состав электролита, его концентрация и температура, полярность, частота, напряжение, плотность и сила тока, время процесса и т.д.), и внутренние факторы (состав оксидируемого сплава, его термообработка, шероховатость, пористость материала и т.д.). Анализ литературных источников показал, что внешние и внутренние факторы оказывают влияние на физико-химические свойства оксидированного слоя (толщину, состав, структуру, плотность и

пористость) и конструктивно-эксплуатационные свойства (микротвердость слоя, прочность сцепления с металлом, износостойкость, коррозионную устойчивость и теплопроводность)

Библиографический список:

1. Хохлов, А. Л. Влияние параметров технологического режима микродугового оксидирования на формирование толщины и пористости оксидного покрытия / А. Л. Хохлов, Д. М. Марьин, А. А. Хохлов // Техника и оборудование для села. – 2021. – № 11(293). – С. 40-43.

2. Микродуговое оксидирование / Ю. В. Бутуев, Н. О. Каняев, А. Л. Хохлов, С. Н. Петряков // Наука в современных условиях: от идеи до внедрения: Материалы Национальной научно-практической конференции. В 2-х томах, Димитровград, 15–16 мая 2018 года. Том II. – Димитровград: Технологический институт - филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина", 2018. – С. 89-92.

3. Определение шероховатости и элементного состава металлизированных гильз цилиндров ДВС / А. Л. Хохлов, А. Ш. Нурутдинов, И. Р. Салахутдинов, Д. А. Уханов // Нива Поволжья. – 2013. – № 1(26). – С. 66-70.

4. Глущенко, А. А. Повышение технико-эксплуатационных показателей ДВС методом микродугового оксидирования днищ поршней / А. А. Глущенко, А. Л. Хохлов; Ульяновский государственный университет. – Ульяновск: Ульяновский государственный университет, 2016. – 126 с.

5. Влияние режимов микродугового оксидирования на образование оксидированного слоя / А. Л. Хохлов, Д. А. Уханов, А. А. Глущенко [и др.] // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – № 3(23). – С. 128-131.

6. Исследование металлизированной гильзы цилиндров на прочность / А. Л. Хохлов, А. Ш. Нурутдинов, И. Р. Салахутдинов, Д. А. Уханов // Сельский механизатор. – 2013. – № 6. – С. 33.

**THEORY OF THE FORMATION OF AN OXIDE FILM ON THE
BOTTOM OF PISTONS**

Petryakov D.S., Petryakov M.S.
Scientific supervisor – Khokhlov A.A.
Ulyanovsk State Agricultural University

Keywords: *oxide film, wear resistance, physico-chemical properties, oxidized layer, density, porosity*

The article considers the theory of the formation of an oxide film on the bottom of pistons. The analysis of literature sources has shown that external and internal factors influence the physico-chemical properties of the oxidized layer (thickness, composition, structure, density and porosity) and structural and operational properties (microhardness of the layer, adhesion strength to metal, wear resistance, corrosion resistance and thermal conductivity)