

УДК 539.23

ФОРМИРОВАНИЕ ОКСИДИРОВАННОГО СЛОЯ НА ПОРШНЕ ДВС МЕТОДОМ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ

Д.М. Марьин, кандидат технических наук, старший преподаватель, тел. 89278220025, marjin25@mail.ru

А.Л. Хохлов, кандидат технических наук, доцент, тел. 89279843479, chochlov.73@mail.ru

А.А. Глущенко, кандидат технических наук, доцент, тел. 89374564933, oidel@yandex.ru

Ф.А. Молев, студент инженерного факультета, тел. 89378841933, molev.fedor95@mail.ru

ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

Ключевые слова: поршень, микродуговое оксидирование, оксидированный слой, ячейка.

В статье представлен анализ моделей образования оксидированного слоя методом микродугового оксидирования. Авторами рассмотрен процесс формирования оксидированного слоя на поршне ДВС для повышения трибологических и теплопроводных свойств.

Введение. Современные тенденции в двигателестроении направлены на улучшение эксплуатационных показателей автомобиля и двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Это, в свою очередь, приводит к увеличению механических и тепловых нагрузок на детали цилиндропоршневой группы (ЦПГ). Одной из наиболее нагруженных деталей ЦПГ является поршень. Перегрев поршня приводит к снижению предела прочности материала поршня, и как следствие к преждевременному износу трущихся рабочих поверхностей, залеганию поршневых колец и их поломкам, заклиниванию поршней, прогарам днища поршня и т.п.

Современные технологии позволяют реализовывать защиту деталей двигателя, подверженных термическим нагрузкам, особенно поршней, путем применения покрытий из специальных изолирующих материалов, который обладает физико-механическими свойствами, отличающимися от его основного материала.

Материалы и методы исследований. Теплозащитные и упрочняющие покрытия наносят плазменным, детонационным и другими методами, однако их использование ограничивается сложностью, длительностью и высокой стоимостью необходимого технологического

оборудования, увеличением массы и изменением геометрических параметров поршня.

В последние годы разработан и находит применение новый метод формирования теплоизолирующих и упрочняющих покрытий - микродуговое оксидирование (МДО). Микродуговое оксидирование - процесс анодного окисления (анодирования) металлов с формированием анодной пленки, состоящей из барьерного и наружного пористого слоя.

В настоящее время единой теории и механизма образования структуры алюминиевой оксидированной пленки нет. Проведенный анализ научной литературы и результатов исследований показал, что из всей совокупности моделей наиболее широко используются коллоидно-электрохимическая, физико-геометрическая и плазменная [1].

В соответствии с коллоидно-электрохимической (или полимерная) теорией Богоявленского образование оксидированного слоя на поверхности металла при его анодировании происходит следующим образом. Под влиянием электрического тока, в растворе электролита, на поверхности металла начинается рост мононов – мельчайших частиц оксида. С увеличением мононов происходит их объединение в полионы. Представляющие собой многослойные палочкообразные коллоидные мицеллы. Мицеллы являются каркасом формирующегося 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 ($AlOOH - Al(OH)_3$). Размеры ячеек Келлера близки к размерам мицелл геля $Al(OH)_3$. Структура анодного оксида, формирующегося в соответствии с данной моделью, представлена на рисунке 1.

Физико-геометрическая модель предложена Келлером. Согласно данной модели, образование барьерного оксидированного слоя начинается в единичных активных точках на поверхности алюминия или его сплавов в виде микроячеек. С течением времени происходит разрастание микроячеек с формированием гексагональных призм по всей поверхности металла. Дальнейшее влияние ионов электролита на образовавшийся барьерный слой приводит к формированию пор, что

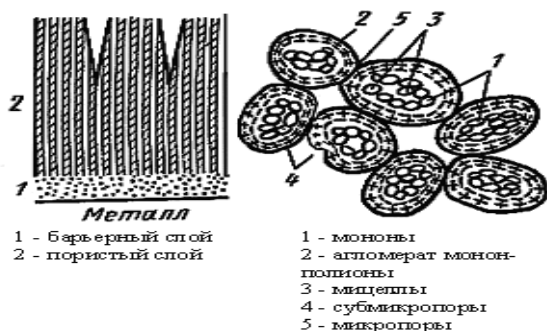


Рисунок 1 - Коллоидно-электрохимическая теория формирования структуры анодного оксида на поверхности металла

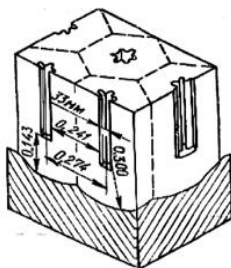


Рисунок 2 - Схема формирования оксидированной пленки в соответствии с физико-геометрической моделью Келлера

приводит к уменьшению толщины барьерного слоя. При этом отмечается увеличение напряженности электрического поля, что влечёт за собой повышение плотности ионного тока электролита и, как следствие – увеличение температуры и скорости оксидирования поверхности металла (в центре ячеек), число которых обратно пропорционально напряжению. Увеличение температуры приводит к увеличению пор и сохранению динамического равновесия процессов анодирования и толщины барьерного слоя, успевшей образоваться впервые моменты процесса анодирования (рис. 2).

Согласно плазменной теории, формирование барьерного слоя происходит в результате полимеризации тонкого слоя поверхности металла под воздействием двумерной холодной плазмы в момент отклю-

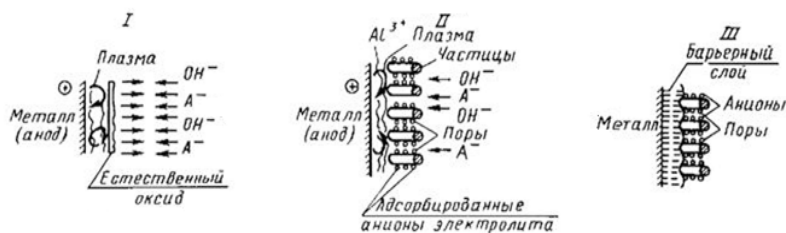


Рисунок 3 - Схема плазменной модели анодирования

чения тока. Схема процесса плазменной модели анодирования представлена на рисунке 3.

1 этап:

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

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

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

2 этап:

частичная гидратация оксида-

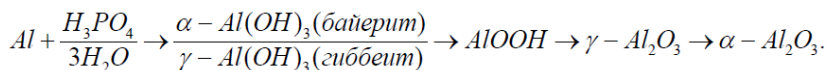
$Al^{3+} + 3OH^- \rightarrow Al(OH)_3$;

$Al_2O_3 + Al(OH)_3 \rightarrow 3HAIO_2$

3 этап:

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

Результаты исследований и их обсуждение. При микродуговом оксидировании поршней, в результате воздействия на оксидированный слой дугового, искрового или тлеющего микроразряда, его температура достигает нескольких тысяч градусов. Под воздействием высоких температур происходит оплавление стенок каналов пор оксида, за счет полиморфных превращений и дегидратации окси гидроксидов в покрытии образуются кристаллические модификации оксидов. Воздействие водного раствора электролита влечёт к формированию 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 1200°C – 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 °С, 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 температуру нагрева поршня [2,3].

Закключение. Как видно, 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.) [4, 5].

Анализ литературных источников показал, что перечисленные факторы оказывают влияние как на физико-химические свойства оксидированного слоя (состав, структуру, плотность и пористость) так и конструктивно-эксплуатационные свойства (толщину и микротвердость слоя, прочность сцепления с металлом, износостойкость, коррозионную устойчивость и теплопроводность).

Библиографический список

1. Марьин, Д.М. Влияние режимов микродугового оксидирования на образование оксидированного слоя / Д.М. Марьин, А.Л. Хохлов, Д.А. Уханов, А.А. Глущенко, В.А. Степанов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. - 2013. - № 3 (23). - С. 128-131.
2. Марьин, Д.М. Влияние режимов микродугового оксидирования на толщину оксидированного слоя на днище поршня / Д.М. Марьин // Наука, инновации и международное сотрудничество молодых ученых: Материалы IV Международной научно-практической конференции, в рамках Международного молодежного научного аграрного форума. - Ульяновск: УГСХА, 2014. - С.162 - 167.
3. Марьин, Д.М. Теоретические предпосылки к снижению интенсивности изнашивания рабочих поверхностей поршневой канавки поршня ДВС / Д.М. Марьин, А.Л. Хохлов, А.А. Глущенко // Наука и Мир. - 2015. - № 11 (27). - С. 75-77.
4. Марьин, Д.М. Теоретическое обоснование снижения износа деталей сопряжения «поршневая канавка - поршневое кольцо» / Д.М. Марьин, А.Л.

Хохлов, А.А. Глущенко // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. - № 4(32). – С. 168-172.

FORMATION OXIDIZED LAYER ON PISTON INTERNAL COMBUSTION ENGINE METHOD MICRO-ARC OXIDATION

Khokhlov A.L., Glushchenko A.A., Marin D.M., Molev F.A.

Keywords: *piston, microarc oxidation, Oxide-layer Vanny, anodizing, cell.*

The article provides an analysis of models of formation of oxidized layer by micro-arc oxidation. The authors present the process of creating an oxidized layer on the internal combustion engine piston to reduce its heating temperature.