

## ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ НА ОБРАЗОВАНИЕ ОКСИДИРОВАННОГО СЛОЯ

**Хохлов Алексей Леонидович**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Автомобили и автомобильное хозяйство» Технологического института – филиала Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии им. П.А. Столыпина.

**Уханов Денис Александрович\***, доктор технических наук, профессор кафедры «Тракторы, автомобили и теплоэнергетика»

ФГБОУ ВПО «Пензенская государственная сельскохозяйственная академия»\*

**Глуценко Андрей Анатольевич\*\***, кандидат технических наук, доцент кафедры «Эксплуатация мобильных машин и технологического оборудования»

**Марьин Дмитрий Михайлович\*\***, аспирант кафедры «Эксплуатация мобильных машин и технологического оборудования»

**Степанов Виктор Александрович\*\***, аспирант кафедры «Эксплуатация мобильных машин и технологического оборудования»

ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина»\*\*

432017, Ульяновск, бульвар Новый Венец 1 ; тел.: 89279843479;

e-mail: chochlov.73@mail.ru

**Ключевые слова:** оксидированный слой, напряжение, плотность тока, электролит, поршень.

В статье установлена взаимосвязь режимов оксидирования со свойствами получаемых методом микродугового оксидирования покрытий на днище поршня двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Исследована зависимость толщины оксидированного слоя от напряжения, подаваемого на электроды, и плотности тока. Выполнен анализ структуры и элементного состава оксидированного слоя на днище поршня ДВС методом растровой электронной микроскопии с рентгеновским микроанализом. Результаты исследований показали, что при напряжении 250 В и плотности тока 0,3... 0,4 А/мм<sup>2</sup> в течение 30 минут происходит формирование оксидированного слоя толщиной 7...9 мкм.

**Введение.** Поршень двигателя внутреннего сгорания (ДВС) является одной из самых напряженных деталей. В процессе эксплуатации поршни подвергаются воздействию высоких температур и давления газов, возникающих при сгорании топлива. Одним из методов повышения ресурса и работоспособности поршня является теплоизоляция днища поршня методом микродугового оксидирования (МДО) [1, 2].

В основе МДО лежит процесс анодного окисления (анодирования) металлов, при котором основные факторы, оказывающие наибольшее влияние на теплопроводность и толщину оксидированного слоя, следующие:  $X_1$  – соотношение катодной и анодной токовых составляющих ( $I_k/I_a$ ),  $X_2$  – плотность тока ( $i$ , А/мм<sup>2</sup>),  $X_3$  – концентрация электролита (г/л),  $X_4$  – продолжительность оксидирования ( $t$ , мин.).

**Целью** настоящей работы является изучение влияния режимов МДО на образование оксидированного слоя на днище поршня ДВС.

**Материалы и методы исследований.** На толщину оксидированного слоя оказывают влияние как внешние (компонентный состав, концентрация и температура электролита; а также режим МДО: полярность, частота, амплитуда и форма импульсов напряжения и тока, их соотношение; время обработки и т.д.), так и внутренние факторы (состав сплава, его термообработка, шероховатость, пористость оксидируемого материала и т.д.) [3].

Образование оксидированного слоя одновременно отражает два протекающих процесса: электрохимическое образование слоя и его химическое растворение. При

этом рост слоя возможен только в таких электролитах, где скорость его растворения ниже, чем скорость образования. К таким электролитам относят растворы хромовой, серной, ортофосфорной кислот и др.

В таких электролитах толщина оксидированного слоя, мкм, будет пропорциональна формирующему напряжению [3]

$$h = m_{bc} \cdot U, \quad (1)$$

где  $m_{bc}$  - эффективность роста барьерного слоя при постоянной плотности ионного тока, мкм/В;  $U$  - падение напряжения на плёнке, В [4].

На основании ранее проведенных исследований [5] было установлено, что параметры оксидированного слоя на алюминии могут быть определены путем расчета, исходя из фиксированных режимов анодирования в электролитах, представляющих собой порообразующий раствор [4], в котором формируется сплошная (непористая) пленка, так называемый «оксид барьерного типа» - барьерный слой. При этом его толщина  $d$ , мкм, пропорциональна напряжению тока (напряжение формирования  $U_\phi$ ) по закону [5, 6]:

$$\delta = a \cdot U_\phi, \quad (3)$$

где  $a$  - константа роста оксида (для алюминия  $a = 1,4$  мкм/В);  $U_\phi$  - напряжение формирования оксидированного слоя, В.

Так как электрохимические процессы при оксидировании протекают в соответствии с законами Фарадея, то количество электричества  $Q$ , Кл, [5, 6]:

$$Q = \int_0^t I \cdot dt, \quad (4)$$

где  $I = \int_0^t i_i dS$ , - сила тока, проходящего через ячейку в процессе оксидирования, А;  $i_i$  - плотность тока, А/мм<sup>2</sup>;  $S$  - площадь ячейки, через которую проходит ток, мм<sup>2</sup>;  $t$  - время действия тока, с.

Учитывая, что толщина оксидированного слоя связана с напряжением соотношением (3), то скорость формирования оксидированного слоя на поверхности дна

поршня  $dd/dt$  (рис. 1), а следовательно, и скорость роста напряжения  $dU_\phi/dt$  будут пропорциональны силе тока, проходящего через ячейку оксидированного слоя.

Поскольку особенностью микродугового оксидирования является образование оксидированного слоя барьерного типа, то скорость роста слоя может быть представлена как:

$$\frac{dU_\phi}{dt} = f(i_i) \quad (5)$$

Из выражения (5) следует, что зависимость скорости роста слоя от напряжения линейна в широком интервале значений плотностей тока [6].

Таким образом, наибольшее влияние на толщину оксидированного слоя оказывают напряжение и плотность тока. Для установления этой зависимости проводили исследования процесса оксидирования днищ поршней в водном растворе ортофосфорной кислоты ( $H_3PO_4$ ) с концентрацией 180 г/л при изменении напряжения оксидирования от 160 В до 280 В с шагом 10 В, а плотности тока - от 0 А/мм<sup>2</sup> до 9 А/мм<sup>2</sup>.

**Результаты исследований** представлены на рис. 1 и 2.

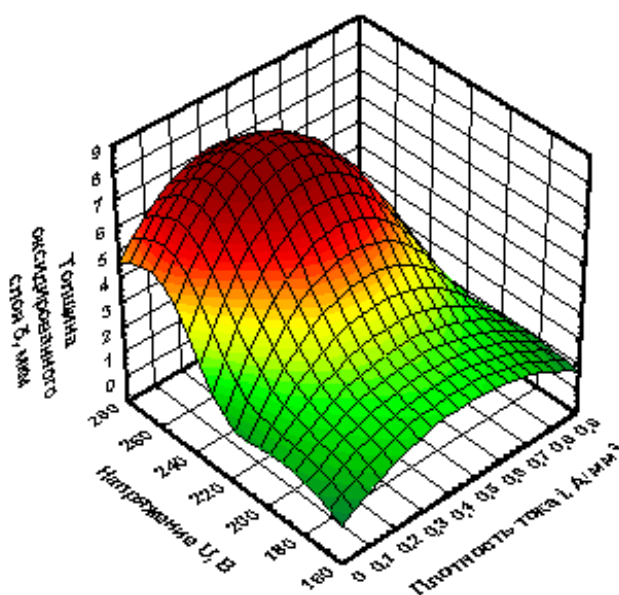
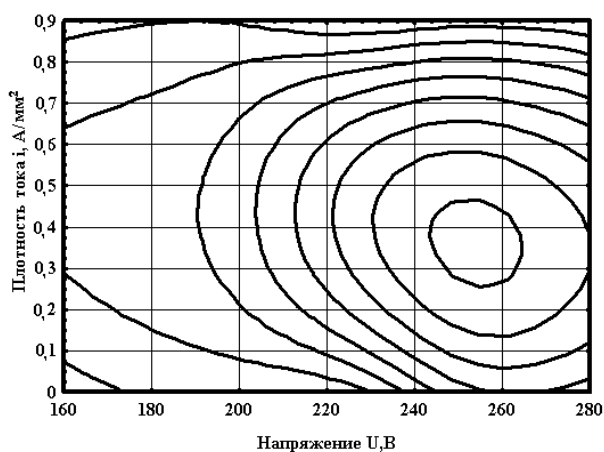
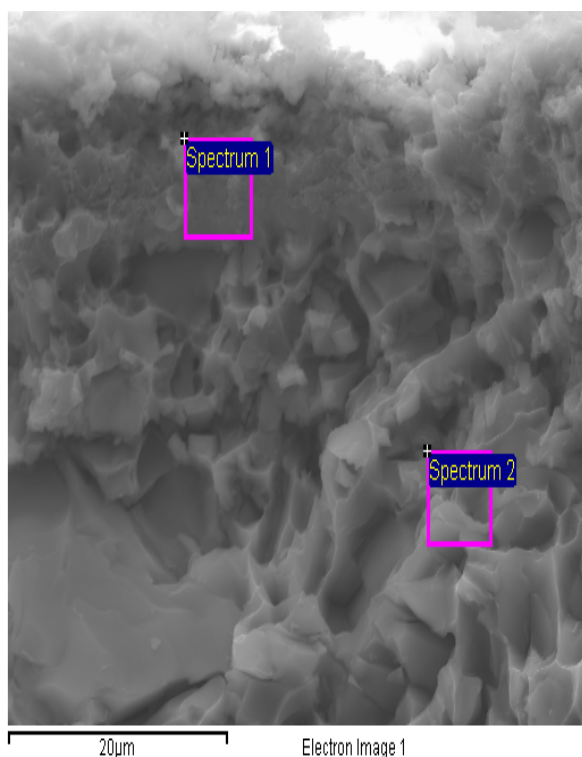


Рис. 1 – Зависимость толщины оксидированного слоя  $\delta$  от напряжения  $U$ , подаваемого на электроды, и плотности тока  $i$



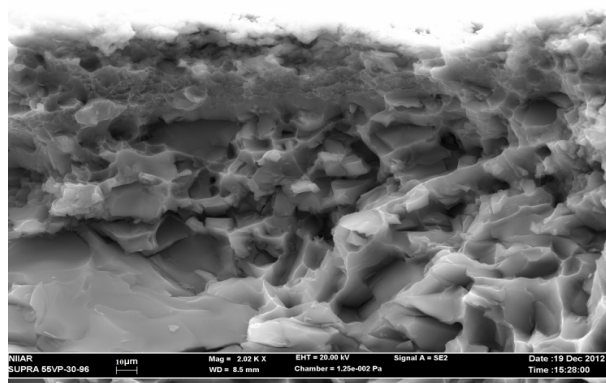
**Рис. 2 – Двухмерное сечение, характеризующее толщину оксидированного слоя  $\delta$  от взаимодействия напряжения  $U$ , подаваемого на электроды и плотности тока  $i$**



**Рис. 3 – Микрофотография поверхности излома образца с выделенными участками оксидированного слоя и дна поршня**

Исследования зависимости толщины оксидированного слоя от напряжения, подаваемого на электроды, и плотности тока, показали, что при напряжении 250 В наилучший рост пленки оксидов проходит при плотности тока 0,3...0,4 А/мм<sup>2</sup>.

Учитывая полученные данные, экспериментальные поршни оксидировали в



**Рис. 4 – Микрофотография поверхности излома оксидированного слоя**

течение 30 минут при напряжении 250 В и плотности тока 0,4 А/мм<sup>2</sup>.

Для определения толщины полученного оксидированного слоя анализировали его структуру и элементный состав методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) с рентгеновским микроанализом. Микрофотография поверхности излома образца представлена на рис. 3.

Исследование выделенных областей показало, что толщина оксидированного слоя в них составляет 8 мкм (рис. 4).

Результаты исследований элементного состава в атомных концентрациях, нормализованных к 100% с учётом всех зарегистрированных элементов, показали, что основными элементами оксидированного слоя дна поршня являются кремний и алюминий. В оксидированном слое содержались незначительные примеси магния, железа, меди. Толщина оксидированного слоя составила 7...9 мкм на всей протяженности излома образца. Содержание кислорода в оксидированном слое дна поршня исследуемого образца составило 13,82 единиц. В дна оксидированного поршня содержание кислорода увеличилось до 2,6 единиц против 1,04 у типового поршня.

**Выводы.** Таким образом, для получения на дна поршня оксидированного слоя толщиной 7...9 мкм оптимален следующий режим микродугового оксидирования: напряжение 250 В, плотность тока 0,3...0,4 А/мм<sup>2</sup> и время оксидирования 30 минут.

### Библиографический список

1. Марьин, Д.М. Микродуговое оксидирование как способ снижения теплонапряженности поршней /Д.М. Марьин, А.Л. Хохлов, Д.А. Уханов, В.А. Степанов // Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники: материалы 25-ого Международного научно-технического семинара им. Михайлова В.В. – Саратов: СГАУ. 2012. – С. 154 – 156.
2. Марьин, Д.М. Результаты исследований теплопроводности поршня с оксидированным днищем / Д.М. Марьин, А.Л. Хохлов // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: Опыт, проблемы и пути их решения: Материалы IV Международной научно-практической конференции: - Ульяновск. УГСХА. 2012. - С. 100-104.
3. Суминов, И.В. Микродуговое оксидирование (теория, технология, оборудование) / И.В. Суминов, А.В. Эпельфельд, В.Б. Людин, Б.Л. Крит, А.М. Борисов. – М.: ЭКОМЕТ, 2005. – 368 с.
4. Степанов, В.А. Микродуговое оксидирование поверхности деталей из алюминиевых сплавов. / В.А. Степанов, А.Л. Хохлов, К.У. Сафаров // Материалы II-й Открытой Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. Ч. 2.: Молодежь и наука XXI века - Ульяновск: УГСХА, 2007 – С. 45 -48.
5. Чернышев В.В. Исследование пористых покрытий методом синхронного осциллографирования / В.В. Чернышев, Г.И. Галкин // Физика и химия конденсируемых сред: межвуз. сб. научн. тр. - Воронеж, 1981. - С. 23 - 25.
6. Чернышев, В.В. Влияние аниона электролита на формирование наноструктурированного анодного оксида алюминия / В.В. Чернышев, А.В. Чернышев, А.Е. Гриднев, С.В. Зайцев // Вестник ВГУ. Серия: Физика. Математика. - 2009. № 2. - С. 13 – 15.