

**К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ШЕРОХОВАТОСТИ  
ПРИРАБАТЫВАЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ СОПРЯГАЕМЫХ  
ПАР ТРЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА**

**Хохлов А.Л., доктор технических наук, профессор,  
Марьин Д.М., кандидат технических наук,  
тел. 8 (8422) 55-95-13, mobilemach-dep@ugsha.ru  
ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ**

***Ключевые слова:** пары трения, поверхность, шероховатость, электрический ток, энергия импульса, плазменный канал, лунка*

*В работе рассмотрен процесс приработки сопрягаемых пар трения двигателя с применением электрического тока. Представлены теоретические зависимости определения шероховатости прирабатываемых поверхностей сопрягаемых пар трения*

**Введение.** Приработка сопрягаемых пар трения двигателя характеризуется процессами переноса и перераспределения вещества на трущихся поверхностях, заключающимися в распределение тепловой энергии импульса и др. Это связано с чисто механическим движением вещества и с тепловым движением молекул.

Состояние поверхностного слоя во время приработки определяется процессами, возникающими при взаимодействии двух или более поверхностей друг с другом или с окружающей средой, в результате чего поверхностный слой приобретает особое строение. Обкатка двигателя приводит к формированию поверхностей трения благодаря различным технологическим воздействиям, что в свою очередь придает поверхностям необходимую шероховатость.

Один из способов ускорения изменения формы, размеров, шероховатости и свойств поверхностей сопрягаемых пар трения в процессе приработки — это применение электрического тока при обкатке двигателя [1-3].

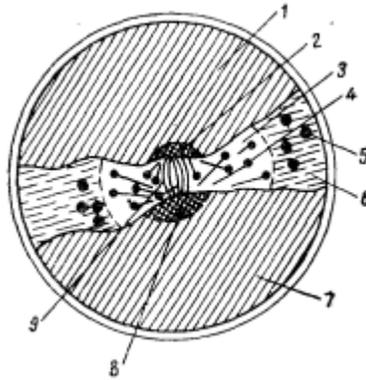
**Материалы и методы исследования.** При разработке технологического процесса обкатки двигателя с применением электрического тока максимально был использован опыт промышленности по применению электрофизических и электрохимических методов обработки металлов.

Сущность метода заключается в следующем. На поверхности деталей присутствует значительное количество микронеровностей. При подаче напряжения на эти поверхности в промежутке между ними, заполненном моторным маслом, возникает электрическое поле. Максимальное напряжение возникает в направлении, проходящем через два ближайших друг к другу микровыступа на поверхностях деталей (рис. 1).

При достижении определенного уровня напряженности электрического поля (примерно равного приложенному напряжению, деленному на расстояние между поверхностями), электрическая прочность моторного масла нарушается, происходит электрический пробой и образуется канал разряда. Высокая концентрация энергии в этой области приводит к повышенным температурам, при которых материал на поверхности деталей начинает плавиться и испаряться [4-7].

В результате воздействия динамических сил, возникающих в канале разряда и газовом пузыре, капли расплавленного материала выбрасываются за пределы микровыступов и застывают в окружающем моторном масле в форме мелких частиц сферической формы. После разряда происходит процесс деионизации промежутка, в результате чего его электрическая прочность восстанавливается.

Следующий разряд обычно возникает на новой области поверхности, где происходит трение между двумя другими ближайшими точками. Этот процесс повторяется до тех пор, пока все участки материала, находящиеся на расстоянии пробоя, не будут удалены с поверхности под воздействием прикладываемого напряжения.



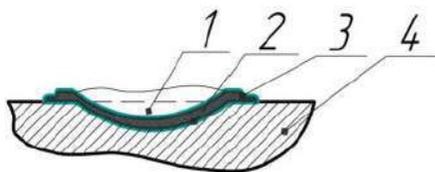
1 – рабочая поверхность детали (гильза цилиндров – анод); 2 – микропорция материала, удаленного с поверхности детали; 3 – газовый пузырь; 4 – расплавленные частицы металла деталей; 5 – частицы металла деталей, застывшие в моторном масле; 6 – моторное масло; 7 – рабочая поверхность детали (катод – поршневое кольцо); 8 – микропорция материала, удаленная с поверхности детали; 9 – канал разряда

**Рисунок 1 – Схема процесса приработки сопрягаемых пар трения двигателя с применением электрического тока**

Припуск, снимаемый с поверхности при искровом разряде, формируется в результате суперпозиции единичных эрозионных лунок. Под единичной лункой (лунка) понимается след на поверхности, полученный в результате воздействия одного электрического разряда (рис. 2).

К основным характеристикам лунок относят: радиус ( $r_n$ ), глубину ( $h_n$ ), их соотношение  $K = r_n/h_n$ , коэффициент перекрытия лунок ( $\beta$ ) (отношение  $r_n$  к расстоянию между соседними лунками  $L$ ).

В результате происходит удаление металла с рабочих поверхностей пар трения, изменение структуры и свойств поверхностного слоя, возникновение внутренних напряжений и другие физические процессы.



1 – выплавленный металл; 2 – белый слой; 3 – валик вокруг лунки; 4 – поверхность сопрягаемой пары трения

**Рисунок 2 – Лунка, сформированная на поверхности под действием единичного разряда**

Энергию импульса определяется из выражения

$$W_{II} = \int_0^{t_u} U \cdot I \cdot dt_u \quad (1)$$

где  $W_{II}$  – энергия импульса, Дж;  $I$  – сила тока, А;  $U$  – напряжение, В;  $t_u$  – длительность импульсов, с.

Размеры образованных лунок зависят от различных факторов, включая физико-механические свойства материала сопрягаемых поверхностей трения. Для оценки влияния данных свойств применяется критерий фазового превращения Палатника, который рассчитывается как произведение основных физико-механических показателей:

$$П = c \cdot \lambda \cdot \rho \cdot T_n^2 \quad (2)$$

где  $c$  – удельная теплоемкость материала, Дж/кг К;  $\rho$  – плотность материала, кг/м<sup>3</sup>;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала, Вт/м К;  $T_n$  – температура плавления материала.

Также по этому критерию можно судить об эрозионной стойкости различных материалов. Чем выше значение критерия, тем выше эрозионная стойкость материала.

Шероховатость поверхностей оказывает значительное влияние на эксплуатационные свойства деталей.

После обкатки двигателя с использованием электрического тока поверхности гильзы цилиндров и поршневого кольца приобретают определенную шероховатость за счет образования множества пересекающихся лунок.

**Результаты и их обсуждение.** Параметры шероховатости определяются размерами и формой двух основных типов неровностей:

образованных в результате взаимного пересечения лунок и возникших из-за искажения профиля лунок.

Размеры лунок в основном определяют первый тип неровностей, что позволяет определить параметры шероховатости. Второй тип неровностей полностью зависит от случайных факторов, определить которые практически невозможно. Таким образом, профиль шероховатости можно разделить на две части: систематическую и случайную. Случайная часть составляет приблизительно 10–15% от систематической.

Высотные параметры шероховатости поверхностей в основном зависят от энергии импульса и свойств материала, их можно определить с помощью следующих теоретических зависимостей:

$$R_a = 0,398 \cdot R_z \quad (3)$$

$$R_z = \frac{\beta^2}{3} \cdot k_4 \cdot \sqrt[3]{W_{II}} \quad (4)$$

где  $\beta$  – коэффициент перекрытия лунок (для максимальной шероховатости  $\beta = 1,2$ );  $k_4$  – постоянная величина, не зависящая от длительности и энергии импульса;  $W_{II}$  – энергия импульса, Дж.

Учитывая выражения (1), (3) и (4) уравнение шероховатости примет вид

$$R_a = 0,132 \cdot \beta^2 \cdot k_4 \cdot \sqrt[3]{U \cdot I \cdot t_u} \quad (5)$$

**Выводы.** С увеличением энергии импульса ( $W_{II}$ ) шероховатость поверхности возрастает. Это объясняется тем, что с увеличением ( $W_{II}$ ) будет выделяться большее количество теплоты в течение одного импульса, следовательно, будет наблюдаться большее проплавление металла, что, в свою очередь, приведет к увеличению радиуса лунки и, как следствие, коэффициента перекрытия. Таким образом, для получения меньших значений параметров шероховатости необходимо правильно подобрать режим приработки двигателя.

### Библиографический список:

1. Хохлов, А.Л. Электроэрозионный способ обработки рабочих поверхностей деталей / А.Л. Хохлов, Д.М. Марьин, Е.Н. Прошкин // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения: Материалы X Международной научно-практической конференции. – Ульяновск: УлГАУ, 2020, – С. 322-325.

2. Марьин, Д.М. Изменение фактической площади контакта сопрягаемых деталей пар трения в процессе приработки / Д.М. Марьин, А.Л. Хохлов // Материалы XIII Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию Ульяновского ГАУ. Редколлегия: И.И. Богданов [и др.]. – Ульяновск: УлГАУ, 2023, – С. 566-570.

3. Хохлов, А.Л. Приработка деталей сопряжений поршневого двигателя внутреннего сгорания электроэрозионным способом / А.Л. Хохлов, Д.М. Марьин // Роль вузовской науки в решении проблем АПК: сборник статей Всероссийской (национальной) научно-практической конференции посвященная 90-летию со дня рождения профессора Г.Б. Гальдина. Том II. – Пенза: РИО ПГАУ, 2018. – С.92-95.

4. Хохлов, А.Л. Электрические явления при трении сопрягаемых деталей / А.Л. Хохлов, Д.М. Марьин, А.С. Нехожин // Материалы XI Международной научно-практической конференции. Том 2021-3. – Ульяновск: УлГАУ, 2021, – С. 234-245.

5. Потапов, И.А. Анализ способов обкатки сопрягаемых деталей пар трения двигателей внутреннего сгорания / И.А. Потапов, Д.М. Марьин, А.Л. Хохлов // Эксплуатация автотракторной и сельскохозяйственной техники: опыт, проблемы, инновации, перспективы: сборник статей IV Международной НПК. – Пенза: РИО ПГАУ, 2019. – С. 94 – 96.

6. Марьин, Д.М. Приработки сопрягаемых деталей пар трения с применением электрического тока / Д.М. Марьин, Р.Н. Мустякимов // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения: Материалы Национальной научно-практической конференции. Том II. – Ульяновск: ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ, 2019. – С. 130-135.

7. Уханов, А.П. Приработка деталей сопряжений двигателя внутреннего сгорания / А.П. Уханов, Д.А. Уханов, А.Л. Хохлов, Д.М. Марьин // Образование, наука, практика: инновационный аспект: сборник статей Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию со дня рождения профессора А.Ф. Блинохвотова. Том II. - Пенза: РИО ПГАУ, 2018. - С. 172-175.

**TO DETERMINE THE ROUGHNESS OF THE WORK-IN  
SURFACES OF MATING ENGINE FRICTION PAIRS USING AN  
ELECTRIC CURRENT**

**Khokhlov A.L., Marin D.M.**

**Keywords:** *friction pairs, surface, roughness, electric current, pulse energy, plasma channel, well*

*The paper considers the process of running-in of mating friction pairs of an engine using an electric current. The theoretical dependences of the determination of the roughness of the treated surfaces of the mating friction pairs are presented.*