

УДК 629.03

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МИКРОГЕОМЕТРИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА ПРОЦЕСС АДСОРБЦИИ ПАВ

В.Б. Косолапов, доц., к.т.н., Ю.В. Рукавишников, доц.,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Аннотация. Рассмотрен вопрос влияния микрогеометрии металлических поверхностей на процесс адсорбции на них пленки ПАВ. Проведено исследование теоретических основ формирования поля поверхности как функции параметров ее микрорельефа.

Ключевые слова: адсорбция, модель «желе», ПАВ, микронеровность, субмикронеровность.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МІКРОГЕОМЕТРІЇ МЕТАЛЕВИХ ПОВЕРХОНЬ НА ПРОЦЕС АДСОРБЦІЇ ПАВ

В.Б. Косолапов, доц., к.т.н., Ю.В. Рукавишников, доц.,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Розглянуто питання впливу мікрогеометрії металевих поверхонь на процес адсорбції на них плівки ПАВ. Проведено дослідження теоретичних основ формування поля поверхні як функції параметрів її микрорельєфу.

Ключові слова: адсорбція, модель «желе», плівка ПАВ, микронерівність, субмикронерівність.

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF MICROGEOMETRY METALLIC SURFACES ON THE PROCESS OF SAS ADSORPTION A SÀS

V. Kosolapov, Assoc. Prof., Ph. D. (Eng.), Yu. Rukavishnikov, Assoc. Prof.,
Kharkiv National Automobile and Highway University

Abstract. The problem of influence of microgeometry of metal surfaces on the process of adsorption of SAS on them is considered. The research of theoretical bases of surface field formation as a function of parameter of its microrelief is carried out.

Key words: adsorption, SAS, consider, «Jellium Model», microrelief.

Введение

В узлах трения гидроприводов ключевым звеном, обеспечивающим снижение износа поверхностей трения, является адсорбированная на них пленка поверхностно-активных веществ (ПАВ). Ее параметры определяются природой смазочного материала, природой и микрорельефом поверхностей подвижных сопряжений и режимом работы узлов трения.

Анализ публикаций

Как показали проведенные ранее исследования, улучшение адсорбционной способности

ПАВ может быть достигнуто путем активизации процесса взаимодействия молекул ПАВ с поверхностью трения. Такое усиление возможно за счет формирования оптимального микрорельефа на поверхностях трения. Адсорбированный на поверхности слой молекул ПАВ является функцией адсорбционно-десорбционного равновесия в системе «поверхность–смазочный материал».

$$W_{\text{ПАВ}} = W_{\text{T}}, \quad (1)$$

где $W_{\text{ПАВ}}$ – энергия взаимодействия молекулы ПАВ с поверхностью трения; W_{T} – тепловая энергия молекулы ПАВ.

Таким образом, энергия взаимодействия молекулы ПАВ с поверхностью трения $W_{\text{ПАВ}}$ является функцией электростатического поля молекулы ПАВ и поля поверхности трения, которую можно представить в виде

$$W_{\text{ПАВ}} = -p \cdot E_d,$$

где p – дипольный момент молекулы ПАВ; E_d – напряженность поля равномерно распределенного заряда поверхности.

Известно, что молекулы ПАВ по своей природе являются полярными диэлектриками, а значит, для них характерна незначительная поляризация, индуцированная внешним электрическим полем. Поэтому можно принять, что поляризованность молекулы ПАВ определяется ее постоянным дипольным моментом и для каждого вида ПАВ является своей const. В то же время поле поверхности трения является функцией многих переменных, среди которых, при прочих равных условиях, значительную роль играет ее микрорельеф (шероховатость) и субмикрорельеф [1].

Цель и постановка задачи

Целью исследования является разработка физического представления о влиянии микрорельефа металлических поверхностей на свойства адсорбированной на них пленки ПАВ.

Задачей данного исследования является установление функциональной связи между величиной поля поверхности трения и параметрами ее микрорельефа.

Физическое представление о формировании поля микронеровности

Поверхности трибосопряжения современных машин имеют микронеровности столь малой величины, что их характер может быть описан через параметры зерна поверхностных слоев материала.

Анализ исследований показывает, что вершины микронеровностей обладают некоторой кривизной и в идеальном случае стремятся к образованию сферического сегмента при вершине с характерным радиусом кривизны R , который может быть определен как [2]

$$R = \frac{d^2}{8a}, \quad (1)$$

где d – диаметр основания микронеровности; a – высота микронеровности.

Поверхность вершины отдельной микронеровности может быть представлена в виде набора ступенек с высотой S (рис. 1) [2, 3]. Высота ступенек S является функцией кристаллической решетки и в первом приближении может быть принята const [4, 5].

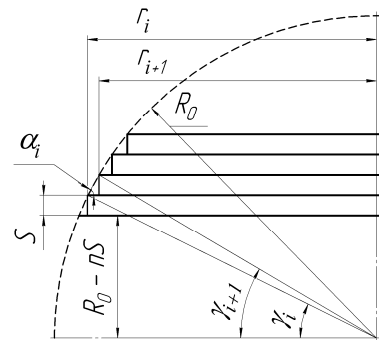


Рис. 1. Модель представления поверхности при вершине микронеровности

Из рис. 1 видно, что длина ступеньки, в таком представлении, будет равна

$$l_{\text{ст}_i} = r_i - r_{i+1} = R_0 (\cos \gamma_i - \cos \gamma_{i+1}), \quad (2)$$

$$\gamma_i = \arcsin \left(\frac{i \cdot S}{R_0} \right), \quad (3)$$

где i – номер ступеньки.

Угол α_i может быть определен через параметры ступенек

$$\alpha_i = \arctg \left(\frac{S}{R_0 (\cos \gamma_i - \cos \gamma_{i+1})} \right). \quad (4)$$

Из выражения (4) видно, что по мере перемещения ступеньки к вершине сегмента происходит увеличение $R_0 (\cos \gamma_i - \cos \gamma_{i+1})$, т.е. удлинение ступеньки.

Структура адсорбционного слоя ПАВ на поверхности и его толщина определяются параметрами электростатического поля поверхности. Таким образом, одним из ключевых

вопросов моделирования процесса формирования адсорбционного слоя вблизи шероховатой поверхности является вопрос физического описания механизма образования электростатического поля рассматриваемой поверхностью.

В общем виде потенциал поля поверхностного заряда площадки вицинальной грани микронеровности можно представить в виде

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \cdot \int \frac{\sigma dS}{r}, \quad (5)$$

где ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость; ϵ_0 – электрическая постоянная; r – радиус площадки вицинальной грани микронеровности; σ – поверхностная плотность заряда

$$\sigma = \frac{n_q n q}{\pi r^2}, \quad (6)$$

где n_q – количество зарядов на одном выступе; n – количество выступов на поверхности; q – величина одного заряда, Кл.

Тогда напряженность поля равномерно распределенного заряда поверхности будет соответствовать выражению

$$E_l = \frac{\partial\varphi}{\partial l} = \frac{\sigma}{2\epsilon\epsilon_0} \cdot \left(1 - \frac{l}{\sqrt{r^2 + l^2}} \right), \quad (7)$$

где l – расстояние от поверхности.

Современные представления о структуре и форме поверхности материала с кристаллической структурой в субмикроскопическом приближении сводятся к представлению участка поверхности в виде сочетаний ступенчатых выступов и впадин (рис. 2) [4].

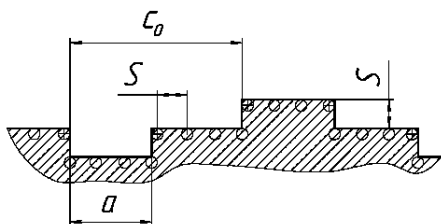


Рис. 2. Представление участка поверхности в субмикроскопическом приближении

Формирование поля вблизи участка поверхности с кристаллической структурой достаточно фундаментально может быть описано с использованием известной модели «желе» [6].

Видно, что поверхностный «электронный газ» концентрируется в области фокусировки поля положительного фона металла.

В соответствии с этой моделью плотность «электронного газа» вблизи отдельной субмикроступеньки распределяется так, как показано на рис. 3 [3, 6].

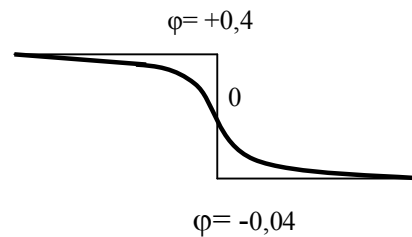


Рис. 3. Электростатический потенциал вблизи ступеньки в модели «желе»

Таким образом, в окрестности излома ступени (выступа) наблюдается пониженная концентрация «электронного газа», в результате чего экранируется лишь часть поля ионного остова поверхности. Такое распределение «электронного газа» приводит к образованию вблизи вершины излома ступеньки положительно заряженных центров (ионных узлов). Сумма полей такого рода положительно заряженных ионных узлов формирует поле поверхности ступеньки микронеровности.

Тогда

$$n = \left(\frac{2 \cdot r}{c_0} \right)^2, \quad (8)$$

где c_0 – шаг ионных локальных центров поля поверхности.

Однако рассматриваемое представление о геометрии боковой поверхности микронеровности нарушает принятое в выражении (7) допущение о распределении заряда, поэтому возникает необходимость определить характер функции распределения поля ионных узлов этой поверхности. Если допустить, что величина заряда ионных узлов и функция их распределения на поверхности являются

одинаковыми на всех ступеньках, образующих боковую поверхность микронеровности (рис. 2), то плотность распределения локальных полей ионных узлов на ступеньке i будет равна

$$\sigma_i = \frac{\omega \cdot n_i}{l_{\text{ст}i}}, \quad (9)$$

где ω – величина заряда ионного узла, Кл; n_i – количество зарядов на ступеньке i ; $l_{\text{ст}i}$ – длина ступеньки.

Вектор поля участка поверхности микронеровности \vec{E}_{Σ} направлен по нормали к условной образующей, а функция распределения поля между i -й и $i+1$ -й ступенями (\vec{E}_i) определяется напряженностью поля, создаваемого ионными узлами i -й ступеньки, в соответствующих точках на условной образующей.

$$\vec{E}_j = \frac{\vec{\omega}}{4\pi\epsilon\epsilon_0 h_j^2}, \quad (10)$$

где h_j – расстояние от ионного узла j до условной образующей.

Результат расчета поля \vec{E}_i вдоль ступеней 1, 2, 10 показан на рис. 4.

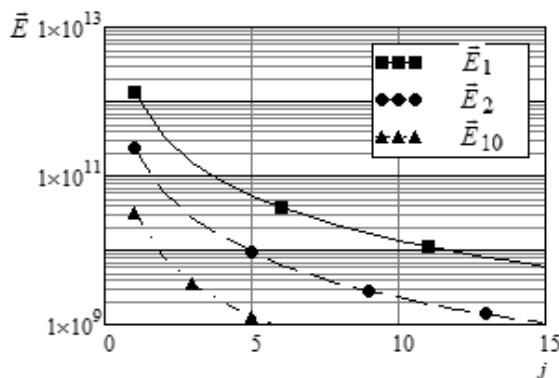


Рис. 4. Изменение напряженности поля поверхности при удалении от ионного узла на j -й ступени

Анализ графиков на рис. 4 показал, что напряженность поля вдоль условной образующей микронеровности распределяется неравномерно.

На изломе ступеньки микронеровности поле достигает своего максимума и по мере пере-

мещения по образующей от одного излома ступеньки до другого значительно уменьшается. В соответствии с принятой моделью микронеровности величина уменьшения поля определяется длиной ступеньки, а значит, в соответствии с выражением (2), – радиусом кривизны вершины микронеровности R_0 .

Выводы

Рассмотренная модель распределения плотности поля поверхности, с учетом параметров микронеровностей, позволяет сделать такие выводы:

- в формировании поля поверхности микронеровности основную роль играет величина поля вблизи излома ступеньки и характер распределения изломов по образующей микронеровности;
- поле излома ступеньки определяется кристаллической решеткой, поэтому для всех ступенек является одинаковым;
- поле поверхности микронеровности уменьшается от вершины неровности до ее основания, что создает условия для формирования различной по своим параметрам адсорбционной пленки ПАВ.

Литература

1. Костецкий Б.И. Качество поверхности и трение в машинах / Б.И. Костецкий. – К.: Техніка, 1970. – 396 с.
2. Демкин Н.Б. Контактное шероховатых поверхностей / Н.Б. Демкин. – М.: Наука, 1970. – 228 с.
3. Зенгуил Э. Физика поверхности / Э. Зенгуил. – М.: Мир, 1990. – 536 с.
4. Суворов А.Л. Структура и свойства поверхностных атомных слоев металлов / А.Л. Суворов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 296 с.
5. Потапов Л.Г. Автоионная микроскопия сплавов / Л.Г. Потапов. – М.: Металлургия, 1981. – 193 с.
6. Лундквиста С. Теория неоднородного электронного газа / С. Лундквиста, Н. Марча. – М.: Мир, 1987. – 400 с.

Рецензент: М.А. Подригало, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 3 августа 2015 г.