

УДК 621. 891

ВЛИЯНИЕ МИКРОГЕОМЕТРИИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЯ КАЧАЮЩЕГО УЗЛА АКСИАЛЬНО-ПОРШНЕВОГО НАСОСА НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ АДсорБИРОВАННОЙ НА НИХ ПЛЕНКИ ПАВ

К.т.н. В.Б. Косолапов¹, к.т.н С.В. Литовка²

1. Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

2. ООО ХАДО-Технология, г.Харьков

Приведена модель взаимодействия микронеровностей поверхностей сопряженных пар гидронасоса в присутствии адсорбционного слоя поверхностно-активных веществ (ПАВ) при условии граничного трения. Определено, что адсорбционная пленка ПАВ существенно изменяет несущую способность на площадке контактирования при изменении ее толщины и шероховатости поверхностей сопряжения.

Наведена модель взаємодії мікронерівностей поверхонь сполучених пар гідронасоса в присутності адсорбційного шару поверхнево-активних речовин (ПАВ) за умови граничного тертя. Визначено, що адсорбційна плівка ПАВ суттєво змінює несучу здатність на майданчику контактування при зміні її товщини та шорсткості поверхонь сполучення.

A model of the interaction between asperities of the surfaces of conjugate pairs of a hydraulic pump in the presence of an adsorption layer of surfactants under the condition of boundary friction is presented. It was determined that the adsorption film surfactant is significantly changes load bearing capacity at the site of contact when changing its thickness and the roughness of the interface surfaces.

Ключевые слова: микронеровность, пленка ПАВ, адсорбция, площадь контакта микронеровностей, несущая способность пленки ПАВ

Введение

Эксплуатация строительных и дорожных машин значительное время работы осуществляется в неустановившихся режимах нагружения. Это приводит к повышению интенсивности износа трибосопряжений, следствием чего является снижение показателей надежности машины, а точнее, снижение срока службы ее механизмов.

Анализ публикаций

Известно, что наиболее интенсивно процесс износа трибосопряжений развивается в граничном режиме смазки [1, 2, 3].

В соответствие с международным стандартом ISO 4378-3-1999 под граничной смазкой понимается такой вид смазки, которому не могут быть приписаны объемные вязкостные свойства и который определяется свойствами граничных слоев, возникающих при взаимодействии смазочного материала и поверхности трения в результате физической или химической адсорбции. [2]

Известно, что при сжатии контактирующие граничные слои частично выдавливаются из зоны контакта и утончаются, при этом происходит сближение между сопряженными поверхностями твердых тел [3].

В свою очередь, сближение сопровождается количеством неровностей вступивших в контакт на контурной площадке касания поверхностей, а значит ростом площади фактического касания поверхностей по адсорбционной пленке. Процесс сближения продолжается до тех пор, пока суммарная реакция сопротивления деформации пленки не станет равной по величине нормальной силе их сжатия.

Если сила сжатия превысит несущую способность адсорбционной пленки, то происходит ее выдавливание из зоны контактирования и возникновение непосредственного взаимодействия поверхностей по отдельным микронеровностям.

Таким образом, в граничном режиме смазки площадь фактического контакта поверхностей трибосопряжения будет представлять собой сумму площадей контакта по адсорбционной пленке и площадей контакта с непосредственным взаимодействием поверхностей по отдельным микронеровностям.

Цель работы и постановка задачи.

Целью данной работы является оценка влияния микрогеометрии поверхностей трения качающего узла аксиально-поршневого насоса на несущую способность адсорбированной на них пленки ПАВ в граничном режиме смазки.

Задачами исследования являлось определение площадей контакта и нагрузок, приходящихся на адсорбционный слой и микронеровности при условии упругого контакта поверхностей трения в присутствии смазки в зависимости от сближения поверхностей и радиуса кривизны микронеровностей на единичном микровыступе.

Модель взаимодействия микронеровностей

Рассмотрим взаимодействие микронеровностей во второй зоне контактирования (рис. 1), когда контакт происходит как по адсорбционной пленке ПАВ, так и по упруго деформирующейся поверхности микронеровности.

Единичные микронеровности в присутствии смазочного материала часто моделируется в виде сферических сегментов [4]. Схема их силового взаимодействия представлена на рисунке 2. В данном исследовании принимаем условие взаимодействия микронеровностей по их вершинам.

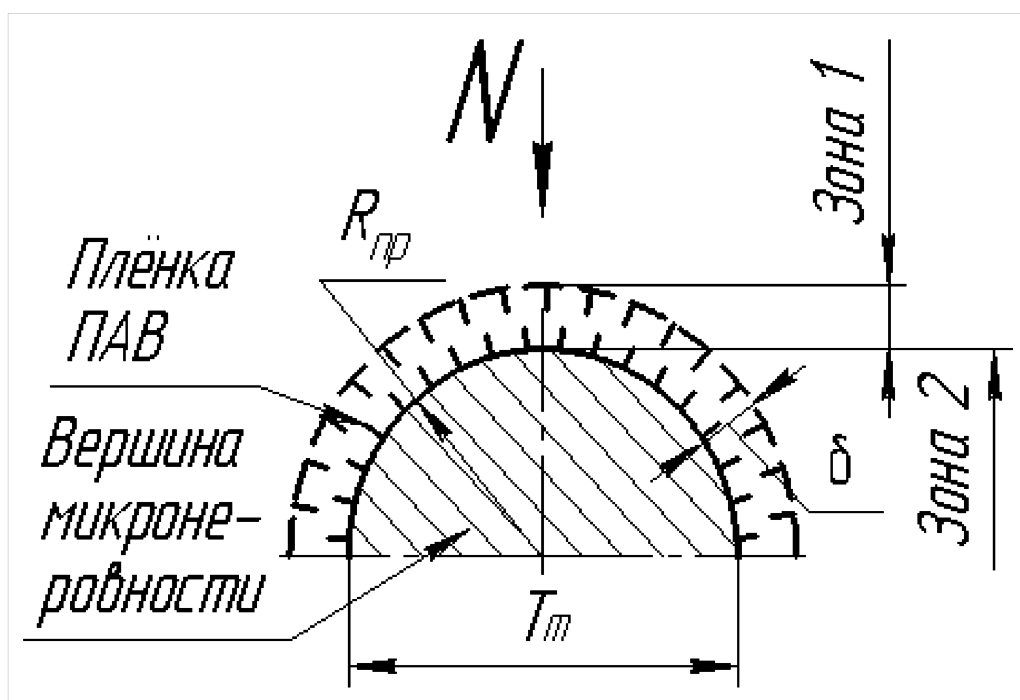


Рис. 1. Схема представления вершины микронеровности

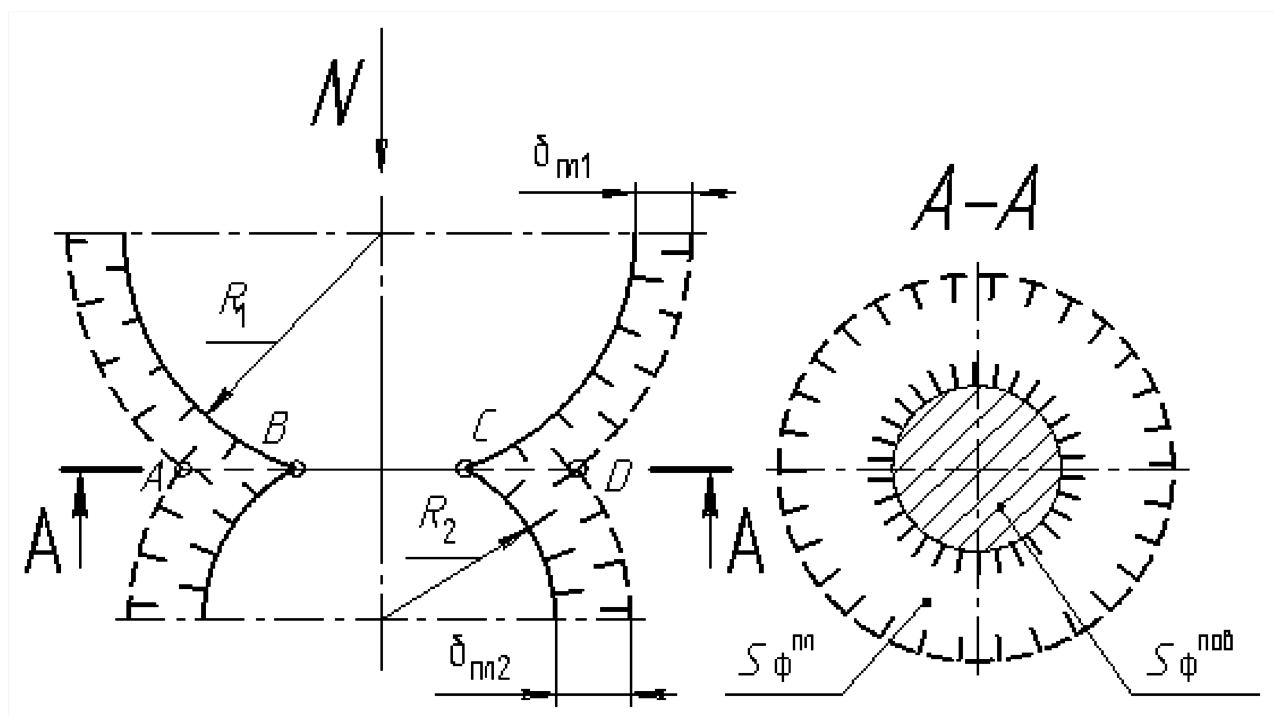


Рис. 2. Схема взаимодействия микронеровностей (P^k – контактное давление, $S^{\phi пн}$ – фактическая площадь контакта пленок, R_1, R_2 – радиус кривизны, соответственно первой и второй микронеровности, $\delta_1^{пн}, \delta_2^{пн}$ – толщина адсорбированной плёнки ПАВ на первой и второй микронеровности)

Расчётная модель контакта двух микронеровностей может быть приведена к контакту эквивалентной микронеровности с гладкой плоскостью. [4, 5]. В этом случае применяем понятие приведенного значения радиуса кривизны микронеровностей $R_{пр}$, который определяем как

$$R_{пр} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}, \quad (1)$$

где R_1, R_2 – радиусы кривизны микронеровностей.

В соответствие с расчетной схемой (рис. 2) суммарная контактная нагрузка, приходящаяся на единственный микровыступ, в условиях когда сжатия микронеровностей превысит несущую способность адсорбционной пленки представляет собой сумму равную нагрузке, которую воспринимает адсорбционный слой и нагрузке в контакте микронеровностей без адсорбционного слоя

$$N_{II} = N_{II}^{пл} + N_{II}^{нов}, \quad (2)$$

где $N_{II}^{пл}$ – нагрузка, воспринимаемая адсорбционным слоем во второй зоне контактирования $N_{II}^{нов}$; – нормальная нагрузка при контактировании микронеровностей без адсорбционного слоя.

Нормальную нагрузку $N_{II}^{нов}$ при упругом контактировании единичных микронеровностей можно определить на основании решения Герца [6]:

$$N_{II}^{нов} = \frac{4}{3} \cdot h_{II}^{3/2} \cdot R_{пр}^{1/2} \cdot E_{эф}^{нов} \quad (3)$$

где h_{II} – сближение контактирующих микронеровностей во второй зоне; $R_{пр}$ – приведенный радиус кривизны микронеровностей определяется из соотношения; $E_{эф}^{нов}$ – эффективный модуль упругости сжимаемых микронеровностей.

Эффективный модуль упругости сжимаемых микронеровностей $E_{эф}^{нов}$ определяется выражением [5]

$$E_{эф}^{нов} = \frac{E_1 \cdot E_2}{E_2(1 - \mu_1^2) + E_1(1 - \mu_2^2)}, \quad (4)$$

где E_1, E_2 и μ_1, μ_2 – соответственно модули упругости и коэффициенты Пуассона материалов контактирующих выступов обоих тел.

Для определения нагрузки, воспринимаемой адсорбционным слоем $N_{II}^{пл}$, в первом приближении, воспользуемся представлением об однородности полимолекулярного адсорбированного слоя [7], имеющего постоянные прочностные характеристики. При

этом для облегчения расчетов принимаем, что толщины адсорбированных слоёв ПАВ и радиусы кривизны на обеих микронеровностях имеют одинаковую величину $\delta_1^{nl} = \delta_2^{nl} = \delta^{nl}$ и $R_1 = R_2 = R_{пр}$. Величина сближения h_{II} изменяется в пределах $h_{II} \leq \delta^{nl}$.

По данным работ [8, 9] деформация смазочных слоёв происходит при давлении $p < 5 - 6 \text{ МПа}$. При давлении $p \geq 5 - 6 \text{ МПа}$ происходит выдавливание молекул полимолекулярного слоя ПАВ из зоны контакта.

Эксперименты, проведенные А.С. Ахматовым [8], позволили установить, что толщина адсорбированных слоёв, в зависимости от вещества, из которого образуются эти слои, изменяется в пределах 0,05 – 0,1 мкм, а в некоторых случаях может достигать 1 мкм.

Эти слои имеют вид квазикристаллических образований и обладают определенной несущей способностью, увеличивающейся по мере деформирования слоя [7].

Исследования механических свойств смазочных слоёв на поверхности металлов, проведенные методом "стопы", дали значения модуля сжатия $E_{сж} \cong 6 \cdot 10 \text{ МПа}$; модуля сдвига $G = 15 \cdot 10^{-5} \text{ МПа}$ [9].

Используя приведенные значения, определим нагрузку, воспринимаемую адсорбционным слоем, расположенным в зоне единичного контакта микронеровностей, при условии, когда прочностные свойства по глубине адсорбционного слоя одинаковы [10]:

$$N^{пл} = \sigma_{np}^{nl} \cdot S^{пл}, \quad (5)$$

где σ_{np}^{nl} – предельное давление разрушения смазочной пленки, $\sigma_{np}^{nl} = 100 \cdot 10^6 \text{ Па}$ [4, 11]; $S^{пл}$ – мгновенное значение фактической площади единичного контакта микронеровности по смазочной плёнке согласно модели (рис. 1, 2), определяется выражением:

$$S^{пл} = \pi(2\delta(R_{пр} + h) - \delta^2), \quad (6)$$

где δ – сближение, м;

$R_{пр}$ – приведенный радиус кривизны вершин острия микронеровностей, определяется из соотношения:

$$R_{пр} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}; \quad (7)$$

где R_1, R_2 – радиусы кривизны вершин острия микронеровностей, соответственно, первого и второго тела, м.

Для облегчения расчетов принимаем, что толщины смазочных пленок и радиусы кривизны на обеих микронеровностях имеют одинаковую величину $h_1 = h_2 = h$ и $R_1 = R_2 = R_{пр} = R$. Величина сближения δ

изменяется в пределах $\delta \leq h$. При этом не происходит металлического контакта, а взаимодействие осуществляется по деформированному слою адсорбированных молекул ПАВ. С учетом приведенных условий сближение δ будет равно:

$$\delta = h - h_{\min} \quad (8)$$

Подставляя выражение (6) в (5), получим:

$$N^{\text{пл}} = \pi \cdot \sigma_{\text{np}}^{\text{пл}} \cdot \left(2R(h_i - h_{\min}) + h_i^2 - h_{\min}^2 \right), \quad (9)$$

где h_i – текущее значение толщины смазочной пленки, м.

Для расчета, в первом приближении, предполагаем, что радиус кривизны вершины острия микронеровности R равен среднеарифметическому отклонению профиля R_a [5, 12]. Так для для аксиально-поршневого насоса 210.225 при изготовлении втулки блока цилиндров – $R_a = 0,8 \cdot 10^{-6}$ м, поверхность сопряжения распределителя стального – $R_a = 0,25 \cdot 10^{-6}$ м, поверхность сопряжения плунжера – $R_a = 0,125 \cdot 10^{-6}$ м. Результаты расчетов представлены на рисунке 3,

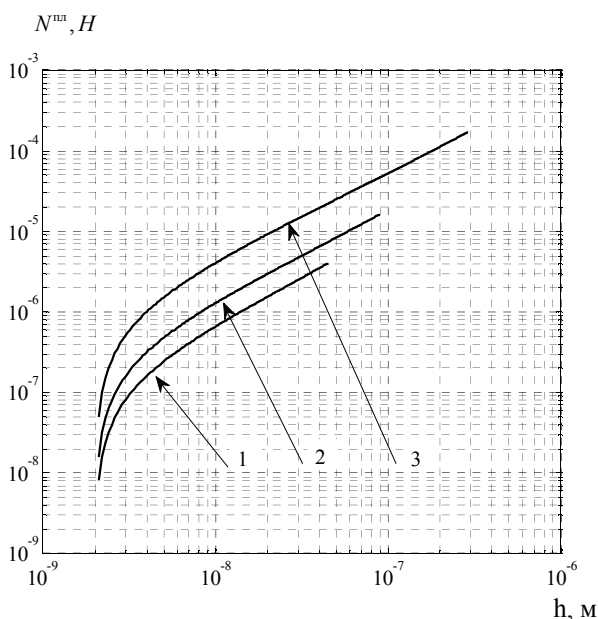


Рис. 3. График изменения несущей способности смазочной пленки на единичной микронеровности в зависимости от её толщины ($h_{\min} = 20 \text{ \AA}$),

(1 – $R = 0,125 \cdot 10^{-6}$ м, 2 – $R = 0,25 \cdot 10^{-6}$ м, 3 – $R = 0,8 \cdot 10^{-6}$ м)

Выводы

Характер взаимодействия сопряженных поверхностей пар трения определяется радиусом кривизны микронеровностей в контакте.

С увеличением толщины смазочной пленки от h_{\min} до h_{\max} величина воспринимаемой нагрузки увеличивается от 2 до 4 порядков в зависимости от радиуса кривизны микронеровности.

С увеличением радиуса кривизны микронеровностей на поверхностях пар трения несущая способность смазочной пленки, адсорбированной на их поверхности, увеличивается

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Войтов В. А. Конструктивная износостойкость узлов трения гидромашин. Часть II. Методология моделирования граничной смазки в гидромашинах. – Харьков: Центр Леся Курбаса, 1997. – 152 с.
2. Чичинадзе А.В., Хебда М. Справочник по смазочным материалам. Т.1. – Москва: Машиностроение, 1989. – 400 с.
3. Литвинов В. Н., Михин Н. М., Мышкин Н. К. Физико-химическая механика избирательного переноса при трении. – М: Наука, 1979. – 187 с.
4. Крагельский И. В., Добычин М. Н., Комбалов В. С. Основы расчета на трение и износ. – М: Машиностроение, 1977. – 525 с.
5. Дёмкин Н. Б. Контактное взаимодействие шероховатых поверхностей. – М: Наука, 1970. – 266 с.
6. Крагельский И. В. Трение и износ. – М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.
7. Лысиков Е.Н. Надмолекулярные структуры жидких смазочных сред и их влияние на износ технических систем / Косолапов В.Б., Лысиков Е.Н. Воронин С.В. – Х., 2010. – 273 с.
8. Ахматов А. С. Молекулярная физика граничного трения. – М: Физматгиз, 1963. – 472 с.
9. Сердобинцев Ю. П., Шаравин С. И. Трение и износ гетерогенных покрытий в условиях граничной смазки. Часть 2. Граничное трение при скольжении деталей с упрочняющими покрытиями // Трение и износ. – 1992. – Т. 13. – № 6. – С. 985–991.
10. Сопротивление материалов / Писаренко Г. С., Агарев В. А., Квитка А. Л., Попков В. Г., Уманский Э. С. – К.: Вища школа, 1986. – 775 с.
11. Гаркунов Д.Н. Триботехника / Гаркунов Д.Н. – М.: Машиностроение, 1989. – 328 с
12. Демкин Н. Б. Качество поверхности и контакт деталей машин / Н.Б. Демкин, Э.В. Рыжов. – М.: Машиностроение, 1981. – 244 с.