

Замота Т.Н., ***Аулин В.В. *****Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля,
г. Луганск, Украина,**Кировоградский национальный технический университет,
г. Кировоград, Украина**РАЗВИТИЕ ПЛОЩАДИ
ПЯТНА КОНТАКТА
ПРИ МАКРОПРИБОТКЕ
ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЯ****Введение**

Протекание процессов приработки трущихся поверхностей зависит от характера работы сопряженных деталей и условий трения. Условия внешнего трения поверхностей сопряженных деталей определяются наличием разделительного смазочного материала между ними. Режим трения характеризуется диаграммой Герси - Штрибека, т.е. числом Зоммерфельда $\mu\omega / \rho$ или характеристикой режима трения – $\mu l / \rho$ (где μ – динамическая вязкость смазочного материала, ω , n – угловая скорость и частота вращения вала). С ростом числа Зоммерфельда трение переходит от граничного к переходному режиму, а затем к гидродинамическому [1]. Б.И. Костецкий получил формулу зависимости произведения коэффициента трения f на толщину разделительного слоя смазки h от условий трения [2]: $fh = \mu V / \rho$, где V – скорость перемещения трущейся поверхности. Правая часть этого выражения $\mu V / \rho$ является характеристикой режима жидкостного трения.

При подстановке значения $\rho = F/S_k$, где F – это сила взаимодействия прирабатываемых поверхностей, а S_k – площадь контакта в паре трения, характеристика режима жидкостного трения принимает вид: $\mu VS_k / F$. Из этого следует, что процесс макроприработки при одинаковых внешних нагрузках будет напрямую зависеть от развивающейся площади пятна контакта S_k в трибосопряжении. Вид сопряжения в свою очередь оказывает существенное влияние на изменение площади S_k в процессе макроприработки. Кроме этого на характер прирабатываемости и триботехнические характеристики контакта деталей влияют макрогеометрические отклонения [3], которые возникают в процессе изготовления и ремонта деталей. Геометрии контакта сопряженных поверхностей уделяется большое внимание [4, 5]. Отмечается, что определяющим для прогнозирования долговечности узлов трения машин является оценка и анализ процессов, происходящих в зоне контакта сопряженных деталей. В настоящее время кроме обычных способов приработки используется электрохимико-механическая приработка (доводка) (ЭХМП(Д)), позволяющая значительно интенсифицировать макроприработку трущихся поверхностей [1, 6]. Основным отличием ЭХМП(Д) является то, что при существующих макрогеометрических отклонениях за счет целенаправленного изменения параметров процесса приработки обеспечивается режим гидродинамической смазки, а анодным травлением снимается необходимый припуск. С увеличением слоя электролита между трущимися поверхностями процесс съема материала затухает, что оптимизирует приработочный износ.

Целью данной работы является исследование развития площади пятна контакта S_k прирабатываемых деталей с учетом вида трибосопряжения и величины макрогеометрического отклонения.

Развитие площади пятна контакта при макроприработке основных трибосопряжений машин

Среди различных видов трибосопряжений наибольшее распространение в машинах получили цилиндрические сопряжения (поршень - гильза, вал - втулка и т.д.). Характер взаимного перемещения и макрогеометрические отклонения в них требуют детального изучения процесса формирования площади контакта. Рассмотрим макрогеометрическую приработку наиболее распространенных сопряжений.

Цилиндрические сопряжения (без учета погрешности форм деталей) могут иметь перекосяк и несоосность внутреннего цилиндра относительно внешнего. Для определения развития пятна контакта при перекосяке была составлена схема, представленная на рис. 1. Ранее была определена зависимость площади контакта при заданном угле перекосяка γ и образующей дуге φ [3]. Объем, который необходимо удалить с поршня при заданном угле перекосяка γ , может быть определен интегрированием площади сечения фигуры, представленной на рис. 1, б, в пределах φ от φ_0 до $\pi - \varphi_0$. Считаем, что внутренний цилиндр высотой h_c при перекосяке вращается относительно своей середины на угол перекосяка γ . При этом величина внедрения δ рабочей поверхности одной детали в другую равна

$$\delta = R_1 + L - R_2, \quad (1)$$

где R_2 – радиус наружного цилиндра;

L – величина смещения центра внутреннего цилиндра (в торцевой плоскости) от центра наружного цилиндра ($L = h_y / 2 \cdot \sin \gamma$);

R_1 – радиус внутреннего цилиндра.

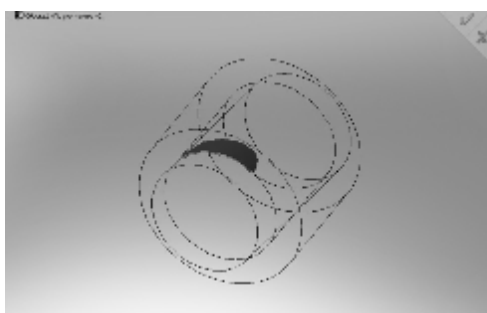
Площадь контакта $S_{\text{ин}}$, развивающаяся при приработке сопряжения цилиндр в цилиндре, при наличии начального перекоса (рис. 1) находится по выражению (2) интегрированием в пределах φ от φ_0 до $\pi - \varphi_0$.

$$S_{\text{ин}} = \int_{\varphi_0}^{\pi - \varphi_0} \left(\frac{\sqrt{R_1^2 + \left(\frac{h_y}{2} \cdot \sin \gamma\right)^2 \cdot (\sin^2 \varphi - 1)}}{\sin \gamma} + \frac{h_y}{2} \sin \varphi - \frac{R_2}{2 \sin \gamma} \right) d\varphi, \quad (2)$$

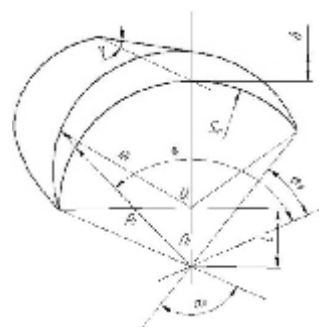
где h_y – высота внутреннего цилиндра;

γ – угол перекоса внутреннего цилиндра в наружном;

φ – угол дуги изнашиваемого сечения.



а



б

Рис. 1 – Схема развития пятна контакта при макрогеометрической обработке цилиндрических поверхностей с перекосом:
а – зона приработки; б – геометрическое представление изнашиваемого материала;
 $S_{\text{ин}}$ – площадь контакта цилиндрической пары при перекосе

Угол φ_0 – начала пересечения проекций наружного и торца внутреннего цилиндров, определяется по формуле:

$$\varphi_0 = \arcsin \frac{R_2^2 + L^2 - R_1^2}{2R_2 \cdot L}, \quad (3)$$

а дуга взаимного пересечения двух прирабатываемых тел α_0 равна

$$\alpha_0 = \pi - 2 \arcsin \frac{R_2^2 + L^2 - R_1^2}{2R_2 \cdot L}. \quad (4)$$

Расчет по формуле (2) проводился в программе MathCad 2001, используя теорему Симпсона. Для этого в формулу (2) подставляли значения R_1 , h_y , R_2 , γ . Для рассматриваемых в данной работе сопряжений геометрические параметры были следующие: $R_1 - 21$ мм; $R_2 - 21,0475$ мм; $h_y - 50$ мм; $b - 50$ мм; δ – величину внедрения прирабатываемой поверхности детали изменяли с шагом 0,19 мм, т.е. $\delta = 0; 0,19; 0,38; 0,57; 0,76$ мм; γ задавали в зависимости от δ ($\gamma = 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5^\circ$, соответственно).

По представленным выше выражениям были найдены зависимости дуги пересечения наружного и внутреннего цилиндров α_0 и площади контакта S_k от величины перекоса γ .

При несоосности цилиндрических поверхностей (рис. 2) внутренний цилиндр внедряется в наружный по гораздо большей площади, чем при перекосе. Это наглядно видно при сравнении рис. 1, а и рис. 2, а. Площадь контакта $S_{\text{ин}}$ в этом случае находится по формуле:

$$S_{\text{ин}} = b \cdot \frac{\alpha_0}{57,3} \cdot (R_1 + L - \delta), \quad (5)$$

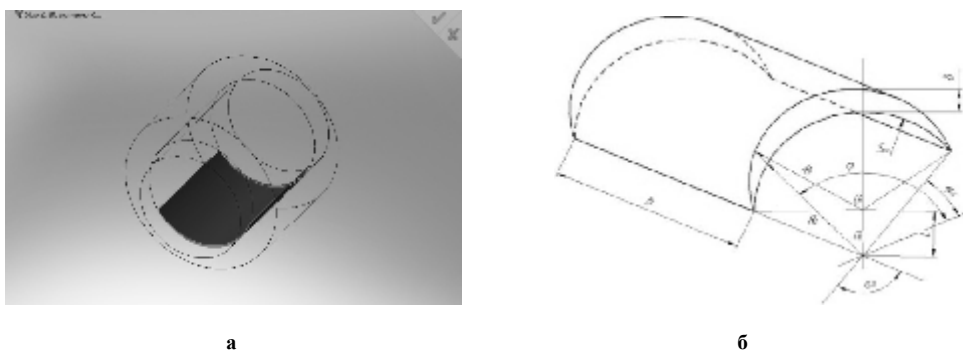


Рис. 2 – Схема развития пятна контакта при макрогеометрической приработке цилиндрических поверхностей с несоосностью:
 а – зона приработки; б – геометрическое представление изнашиваемого материала;
 S_{nn} – площадь контакта цилиндрической пары при несоосности

В плоском сопряжении деталей при трении будет происходить линейное увеличение площади пятна контакта, зависящее от угла перекоса γ и ширины детали b (рис. 3).



Рис. 3 – Схема развития пятна контакта при макрогеометрической приработке плоских поверхностей:
 а – зона приработки; б – геометрическое представление изнашиваемого материала;
 S_{nn} – площадь контакта плоского ползуна; δ – толщина изнашиваемого материала;
 γ – угол перекоса; b – ширина детали

При этом площадь контакта плоского ползуна S_{nn} равна:

$$S_{nn} = b \cdot a = b \cdot \frac{\delta}{\tan \gamma}. \quad (6)$$

Технологически создать сферическую поверхность сложнее, чем цилиндрическую или плоскую, а припуски на приработку прецизионных сопряжений предъявляют повышенные требования к способу приработки. Схема развития пятна контакта в этом случае представлена на рис. 4.

Площадь контакта сферического сопряжения с внедрением внутренней сферы радиусом R_1 в наружную радиусом R_2 на величину δ можно оценить по формуле:

$$S_{cf} = 2\pi \cdot (\delta - L + R_2) \cdot \left(R_1 + L - R_2 \cdot \cos^2 \frac{\alpha_0}{2} \right) \quad (7)$$

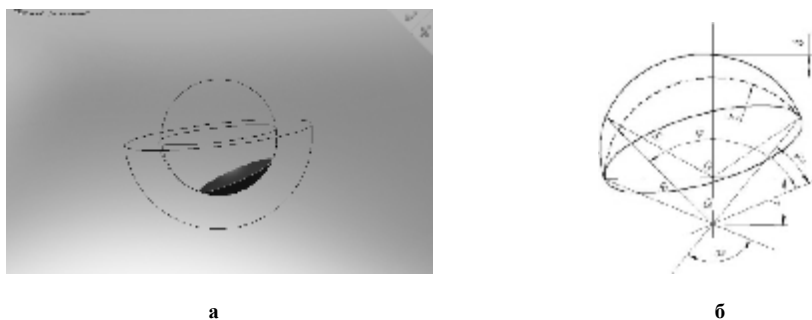


Рис. 4. Схема развития пятна контакта при макрогеометрической приработке сферических поверхностей:
 а – зона приработки; б – геометрическое представление изнашиваемого материала;
 S_{cf} – площадь контакта сферической пары

Сложность приработки зубчатых зацеплений состоит в малой площади пятна контакта, кратковременности взаимодействия и повышенной износостойкости контактирующих поверхностей. Схема развития пятна контакта при макрогеометрической приработке зубчатых зацеплений наглядно показывает геометрическое представление изнашиваемого материала (рис. 5).

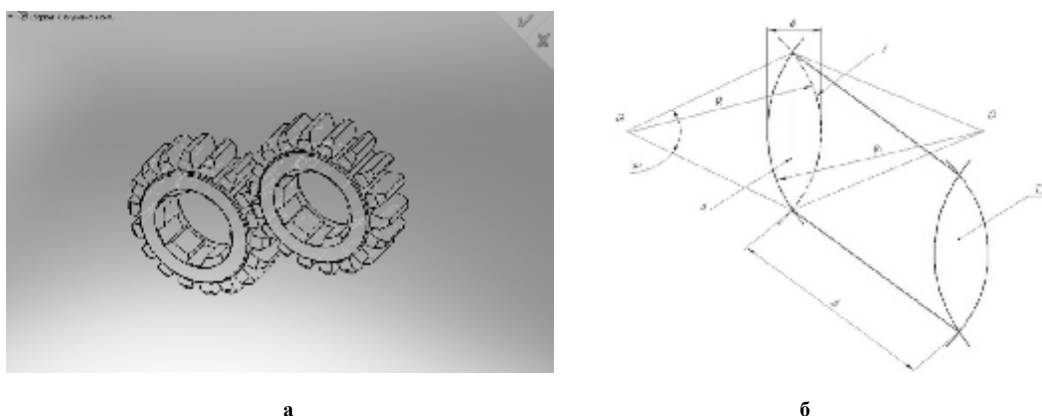


Рис. 5 – Схема развития пятна контакта при макрогеометрической приработке зубчатых зацеплений:
а – зона приработки; б – геометрическое представление изнашиваемого материала;
 $S_{зз}$ – площадь контакта зубчатого зацепления

Площадь контакта зубчатого зацепления при взаимном внедрении контактирующих зубьевна величину δ находится по формуле с учетом угла α_0

$$S_{зз} = b \cdot \frac{\pi \cdot R_1 \cdot \alpha_0}{180}, \quad (8)$$

где

$$\alpha_0 = \arcsin \frac{\sqrt{R_1^2 - (2R_1 - \delta)^2} / 4}{R_1}. \quad (9)$$

Результаты расчета площади пятна контакта S_k и дуги взаимного пересечения α_0 двух деталей сопряжения при макроприработке

По полученным формулам проведены расчеты развития площади пятна контакта и изменения дуги прирабатываемых деталей различных сопряжений с ростом макрогеометрического отклонения. Результаты расчетов приведены на рис. 6.

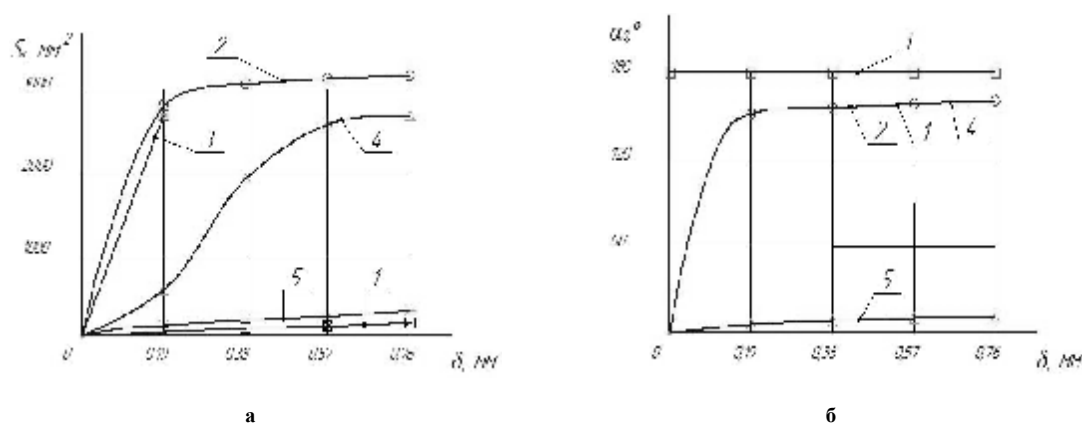


Рис. 6 – Развитие площади пятна контакта S_k (а)
и изменение дуги пересечения α_0 прирабатываемых деталей (б)
различных сопряжений с ростом макрогеометрического отклонения:

- 1 – цилиндрическое с перекосом, ($S_{ин}$);
- 2 – цилиндрическое с несоосностью, ($S_{ин}$);
- 3 – плоский ползун, ($S_{ин}$);
- 4 – сферическое сопряжение, ($S_{сф}$);
- 5 – зубчатое зацепление, ($S_{зз}$)

Непосредственный контакт внутреннего и наружного цилиндров осуществляется при величине перекоса, равного перекоосу в пределах зазора. Интенсивно нарастание площади контакта $S_{цп}$ происходит при небольших внедрениях внутреннего цилиндра ($\delta < 0,19$). Относительно других рассматриваемых сопряжений площадь контакта была наименьшей (рис. 6, а, кривая 1). Напротив, тоже сопряжение, но с несоосностью имело максимальное развитие $S_{цп}$, которое значительно превышало другие рассматриваемые примеры (рис. 6, а, кривая 2). Учитывая реальное состояние цилиндрических сопряжений, необходимо более детально изучить приработку механизмов с перекосами от двух до трех раз превышающих перекоос в пределах зазора. Развитие площади контакта в цилиндрической паре при несоосности коррелирует с увеличением дуги пересечения прирабатываемых деталей (рис. 6, б, кривая 2), но перекоос в этой паре резко меняет характер макроприработки.

Плоское сопряжение при трении быстро достигало номинальной площади контакта ($S_{пн} = S_{ном}$) (рис. 6, а, кривая 3), что объясняется максимальным углом α_0 (рис. 6, б, кривая 3). Единственным исследуемым сопряжением, у которого увеличение площади пятна контакта $S_{сф}$ имело гиперболическую зависимость, было сферическое трибосопряжение. Замедленная вначале макроприработка ускоряется с ростом взаимного внедрения проекций прирабатываемых деталей, а потом опять интенсивность процесса снижается. Развитие площади контакта в зубчатых зацеплениях $S_{зз}$ характеризуется малыми значениями дуги пересечения прирабатываемых тел (рис. 6, б, кривая 5), что свидетельствует о высоких давлениях в контакте прирабатываемого трибосопряжения и обусловлено его особенностями.

Выводы

1. С теоретической точки зрения рассмотрено развитие площади пятна контакта S_k на прирабатываемой детали от первоначального контакта до максимально возможного с учетом вида трибосопряжения деталей и величины макрогеометрического отклонения.

2. Вид трибосопряжения оказывает значительное влияние на развитие площади пятна контакта при макроприработке, поэтому способ приработки должен учитывать особенности различных видов сопряжений и характер макрогеометрического отклонения поверхностей от правильных геометрических форм. При несоосности цилиндрического трибосопряжения площади контакта в десятки раз выше, чем при перекосе. Назначение одинаковых режимов приработки без учета особенностей геометрии контакта может привести к значительному сокращению ресурса сопряжения.

3. Полученные математические зависимости (1 ... 9) дают возможность рассчитывать параметры процесса макрогеометрической приработки и могут быть использованы при выборе рационального способа приработки.

Литература

1. Алексеев В.П. Электрохимико-механическая макроприработка деталей / В.П. Алексеев // Монография. – Луганск: Элтон-2, 2011. – 204 с.
2. Костецкий Б.И. Трение, смазка и износ в машинах. – К.: Техника. – 1970. – 396 с.
3. Замота Т.Н. Влияние перекоса поршня в гильзе на триботехнические характеристики контакта / Т.Н. Замота, В.В. Аулин // Вісник інженерної академії України. Випуск 1. – 2010. – С. 196- 200.
4. Кузьменко А.Г. Дослідження зносоконтактної взаємодії змащених поверхонь тертя / А.Г. Кузьменко, О.В. Диха // Монографія. – Хмельницький: ХНУ, 2005. – 183 с.
5. Кузьменко А.Г. Методи розрахунків і випробувань на зношування та надійність: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. – Хмельницький: ТУП, 2002. – 151 с.
6. Замота Т.Н. Физико-химические основы процесса макроприработки плоских поверхностей трения // Проблеми трибології. – 2011. – № 2 – С. 26 ... 30.

Надійшла 12.11.2011