

ВЛИЯНИЯ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА УСТАЛОСТНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ТРЕНИИ

Еремин Н.В., Казанцев А.А.

научные руководители – канд. техн. наук Докшанин С. Г., Трошин С. И.

Сибирский федеральный университет

Усталостное выкрашивание материала в зоне контакта является характерной причиной потери работоспособности узлов машин и механизмов при нормальных условиях их эксплуатации. В большинстве случаев, особенно для узлов, где контакт деталей происходит при качении, усталостное разрушение контактирующих деталей начинается на поверхности в результате действия касательных напряжений. Большое влияние на характер поверхностных повреждений оказывает действие сил трения. Максимальные касательные напряжения, связанные с увеличением силы трения, повышают значения нормальных напряжений на площадке контакта.

Скорость развития усталостных трещин зависит от напряженного состояния и вида возникающих деформаций поверхностных и приповерхностных слоев, свойств смазочного материала, появления микропластических деформаций при упругом контактировании деталей. Характерному изнашиванию подвергаются поверхности деталей узлов, работающие в режиме качения с проскальзыванием.

Зависящие от действующих сил трения касательные нагрузки, действующие на площадке контакта, оказывают существенное влияние на напряженное состояние материала. Важная роль в этом случае отводится применяемым смазочным материалам, их способности уменьшать силы трения в зоне контакта. При этом механизм смазочного действия может быть различным и зависеть от условий контактирования.

Целью данной работы является оценка действия смазочных материалов на снижение контактных напряжений за счет уменьшения сил трения.

Исследования напряженного состояния контактирующих деталей выполнялись на основе компьютерной модели с помощью программного комплекса ELCUT. Моделировался контакт ролика с выпуклой плоскостью в виде кольца при наличии сил трения. Такой контакт соответствует зубчатому зацеплению или работе роликового подшипника качения.

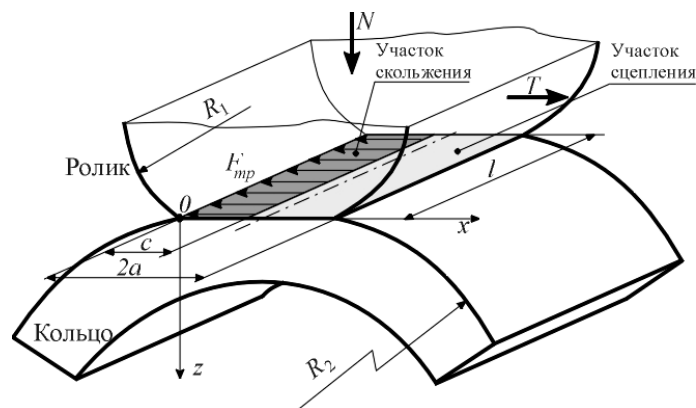


Рисунок 1 – Расчетная схема модели контакта ролика с кольцом

Контактные поверхности задавались между роликом и поверхностью качения внутреннего кольца. В зоне контакта имеется образованная упругими деформациями

герцевская площадка ширины $2a$ прямоугольной формы. Условием моделирования контакта являлось выполнение в зоне контакта, касательные и нормальные нагрузки связаны зависимостью:

$$\begin{cases} \sigma_x = -p(x) = -\frac{P_0}{a} (a^2 - x^2)^{1/2}, \\ \tau_{xz} = -\mu p(x) \end{cases}$$

где μ – коэффициент трения; a – полуширина площадки контакта; p_0 – давление в центре площадки; $p(x)$ – давление в точке площадки с координатой x ; τ_{xz} – тангенциальное напряжение на площади контакта; σ_x – нормальное напряжение.

При учете действия сил трения площадь контакта делится на два участка. Участок скольжения является зоной, где имеет место проскальзывание контактирующих поверхностей, а участок сцепления расположен на стороне набегания цилиндра. Координата точки c , разделяющей эти две зоны, определялась из формулы:

$$c = a \cdot \left(1 - \frac{1}{\pi} \arctg \frac{1 - 2\nu}{f(2 - 2\nu)} \right),$$

где a – полуширина площади контакта, определенной по формулам Герца; f – коэффициент трения скольжения; ν – коэффициент Пуассона.

В работе оценивалась величина касательных и нормальных напряжений вдоль площадки контакта и их распределение по глубине материала кольца. Напряжения определялись по критерию прочности Мора, в соответствии с которым условия разрушения зависят как от нормальных, так и от касательных напряжений на площадке контакта.

На графиках (рис. 2) представлены распределения нормальных напряжений, полученных при моделировании упругого контакта ролика с внутренним кольцом для роликоподшипника типа 32206.

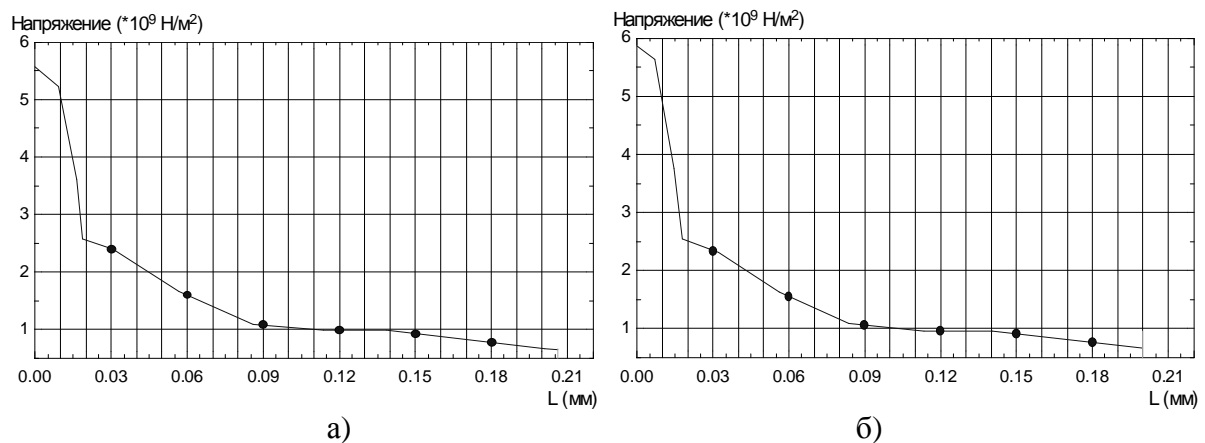


Рисунок 2 – Распределение нормальных напряжений по глубине внутреннего кольца: а) при трении со смазочным материалом; б) при трении без смазочного материала

Значения сил трения, которые соответствуют действующим на поверхности касательным нагрузкам (рис. 3), взяты на основе результатов экспериментальных исследований для смазочного материала Литол-24 с твердой антифрикционной добавкой. Изображенные на графиках зависимости получены для радиальной нагрузки 2,5 кН и однонаправленного вращения внутреннего кольца с частотой 960 об/мин.

При снижении на участках контакта поверхностей силы трения процесс образования усталостных трещин изменяется с поверхностного на глубинный. Это

увеличивает время работы узла до наступления усталостного разрушения контактирующих поверхностей и способствует повышению срока службы механизма.

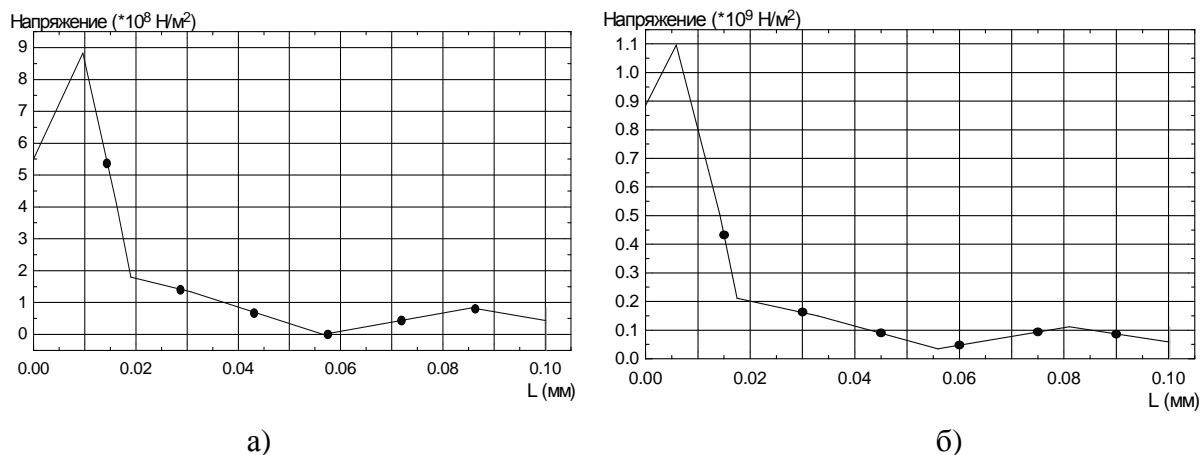


Рисунок 3 – Распределение касательных напряжений по глубине внутреннего кольца: а) при трении со смазочным материалом; б) при трении без смазочного материала

Так, на рис. 4 представлены изображения полей распределения касательных напряжений по глубине дорожки. Более темные области, соответствующие максимальным касательным напряжениям, с увеличением коэффициента трения смещаются ближе к поверхности.

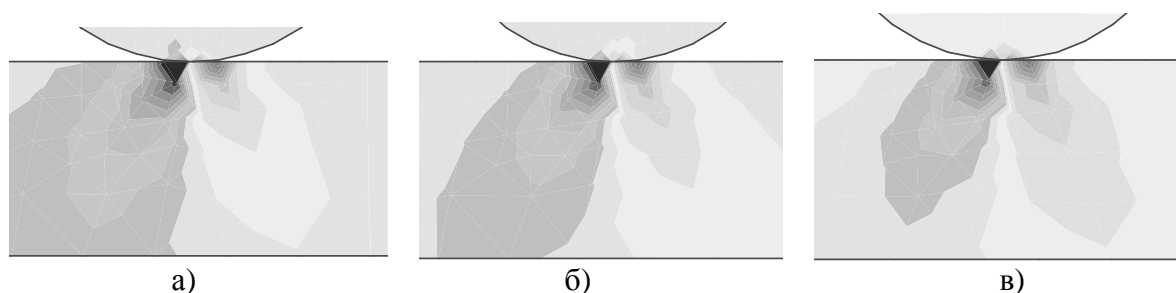


Рисунок 4 – Поля распределения касательных напряжений по глубине в зависимости от коэффициента трения f : а) при $f=0,09$; б) при $f=0,11$, в) при $f=0,13$

Увеличение сил трения приводит к перемещению максимальных касательных напряжений к поверхности, в направлении действия силы трения, при этом максимальные срезающие напряжения будут располагаться на небольшой глубине или непосредственно на поверхности.

Как показывают результаты моделирования, наличие в зоне контакта смазочного материала с хорошими антифрикционными свойствами снижает величину касательных и нормальных напряжений до 18–20 %, максимальные касательные напряжения под площадкой контакта смещаются вглубь, отодвигая начало образования усталостных трещин на контактирующих поверхностях, увеличивая тем самым время работы узла.

Результаты проведенных исследований, а также компьютерное моделирование контактирующих поверхностей с учетом действия сил трения позволяют говорить о том, что наличие смазочного материала в зоне контакта уменьшает процесс образования усталостных трещин и способно в 1,5–2 раза увеличить срок службы механизма.