

В.В. Харламов, С.В. Павлышко

(Екатеринбург)

Смешанное трение является распространенным режимом для многочисленных трибосопряжений, особенно для тяжело нагруженных. В настоящее время не существует достаточно полного описания этого режима, пригодного для практических расчетов. Из всего многообразия процессов при трении мы будем рассматривать только те случаи, где механические и тепловые воздействия в контакте являются преобладающими. В данной работе рассматривается течение смазки между шероховатыми поверхностями при трении скольжения на примере радиального подшипника. Поскольку пятна фактического контакта (ПФК) расположены между поверхностями трения случайным образом и между ними находится смазка, то при движении одной из поверхностей смазка будет течь между ПФК и воспринимать часть внешней нагрузки. Будем считать зоной трения ту часть подшипника, которая воспринимает внешнюю нагрузку, а контактом – сумму ПФК в пределах этой зоны.

Течение смазки между ПФК подобно течению жидкости в пористой среде. Это позволяет моделировать зону трения пористой средой и для описания в ней течения смазки применять математический аппарат теории фильтрации жидкостей через пористые среды. Однако, в отличие от пористой среды в классическом понимании, в сопряжении скольжения поверхности, ограничивающие объем пористого пространства, движутся относительно друг друга с некоторой скоростью U_0 . Это обстоятельство обуславливает две причины создания градиента давления по направлению вектора скорости U_0 : за счет течения (просачивания) через пористую среду и за счет сдвига в слое смазки между ПФК. Движение жидкости в пористых средах при небольших числах Рейнольдса ($Re \dots 500$) подчиняется закону Дарси

$$V_i = \frac{K_i}{\mu} \frac{\partial p}{\partial x_i}, \quad (1)$$

где K_i , μ и p соответственно коэффициент проницаемости, динамическая вязкость смазки и давление, i – свободный индекс, $i = x, y, z$.

С учетом относительного движения поверхностей в зоне трения формула (1) видоизменится:

$$V_i = \frac{K_i}{\mu} \frac{\partial p}{\partial x_i} + U_i, \quad (2)$$

где U_i функция U_0 определяется в дальнейшем. Коэффициент проницаемости K в теории фильтрации определяется несколькими формулами, для нашего случая больше подходит формула

Салливан:

$$K = \frac{C\Pi^3\theta}{S^2[1-\Pi]^2}, \quad (3)$$

где C – постоянная Козени ($C \approx 0,512$), Π – пористость, θ – коэффициент, учитывающий извилистость каналов, S – удельная поверхность по Карману или отношение суммарной площади поверхности каналов к объему пористой среды.

Для замыкания системы уравнений движения смазки к уравнениям (2) необходимо добавить уравнение сохранения массы:

$$\Pi \frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho V) = 0, \quad (4)$$

уравнение теплопроводности:

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} - \lambda \nabla^2 T + q_V = 0, \quad (5)$$

и зависимость вязкости от давления и температуры

$$\mu = \mu_0 \exp\left(\frac{b_1 + c_1 p}{T - T_\infty}\right), \quad (6)$$

На первом этапе решения задачи считаем, что геометрия границ пористой среды задается уравнением:

$$h(\varphi, t) = h_1 = h_m + \frac{r_2^2 + r_1^2 + e^2}{2r_1} - e \cos(\varphi_k^{\max} - \varphi), \quad (7) \text{ см. рис. 1а}$$

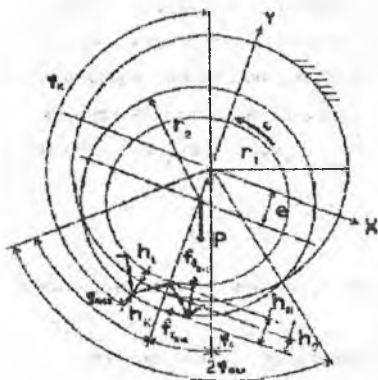


Рис. 1а

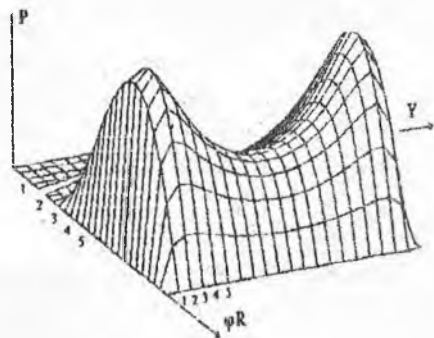


Рис. 1б

Решение краевой задачи по модели (2) + (7) показывает, что смазка, находящаяся между ПФК может воспринимать значительную часть внешней нагрузки (рис.1б) на подшипник. Решение нестационарных задач смешанного трения позволяет определить для заданных условий, когда смешанный режим переходит в гидродинамический и проследить этот переход.