

ЛИТЕРАТУРА

1. Казак Н. А. и др. О механических потерях в главных турбозубчатых агрегатах. «Судостроение», 1969, № 11.
2. Абанов Л. В., Коднир Д. С. и др. Подшипники жидкостного трения прокатных станков. Машгиз, 1955.

Э. Л. АЙРАПЕТОВ, М. Д. ГЕНКИН, О. И. КОСАРЕВ

К ОЦЕНКЕ ТОЛЩИНЫ МАСЛЯНОЙ ПЛЕНКИ МЕЖДУ ЗУБЬЯМИ В ЗУБЧАТЫХ МУФТАХ

Для обеспечения удовлетворительной работы зубчатой муфты по условиям смазки необходимо образование определенной толщины масляной пленки между контактирующими поверхностями зубьев, предохраняющей их от разрушения.

При контакте абсолютно жестких гладких цилиндров (имитирующих контакт прямого и бочкообразного зубьев при малых нагрузках) минимальная толщина смазочного слоя с учетом зависимости вязкости масла μ от давления p ($\mu = \mu_0 e^{\nu p}$) определяется по формуле [3]

$$h_0 = \left[\frac{1,04\nu\mu_0 \cdot U_{\Sigma} \sqrt{R}}{1 - \exp(-\nu p_{\max})} \right]^{2/3}$$

Удержав первый член разложения в ряд Тейлора функции распределения гидродинамического давления $p(x) = -\frac{1}{\nu} \ln [1 - \varphi(x)]$, [3] при $0 \leq \varphi(x) \leq 1$ и используя условия равновесия смазочного слоя $q = \int_{-x_d}^{\infty} p(x) dx$, получим зависимость

$$1 - \exp(-\nu p_{\max}) = \frac{\nu \cdot q}{I \sqrt{2R} h_0}, \quad (1)$$

где I — интеграл функции, зависящей от $\alpha = \frac{x}{\sqrt{2R} h_0}$, равный $I = 2,44$

при граничных условиях по Рейнольдсу,

x — координата длины площадки контакта.

С учетом (1) величина толщины пленки

$$h_0 = 3,58 \mu_0 U_{\Sigma} R / q. \quad (2)$$

Формула (2) пригодна для нагрузок $q \leq q_{\text{кр}}$, (при $q = q_{\text{кр}}$ максимальное давление $p_{\max} = \infty$), где

$$q_{\text{кр}} = 3,48 \left(\frac{\mu_0 U_{\Sigma} R^2}{\nu^2} \right)^{1/3}$$

Но, как известно, при $q > q_{кр}$ толщина пленки за счет деформаций контактирующих поверхностей и выравнивания формы зазора между ними будет больше, чем h_0 по (2) при $q = q_{кр}$.

Считая, что с ростом деформаций (до определенного предела) толщина пленки увеличивается и что зависимость деформации от нагрузки линейна (гипотеза Винклера) примем соотношение

$$\frac{h_{\delta}}{h_0} = k \frac{q}{q_{кр}}, \quad (3)$$

где h_{δ} — толщина пленки с учетом деформаций,

k — коэффициент, характеризующий величину нагрузки q^* в долях от $q_{кр}$, при превышении которой следует учитывать деформацию.

За величину q^* примем такую нагрузку, когда деформация δ составит $\delta = 0,8 h_0$. Поскольку $\delta = 1,5 \cdot 10^{-6} q^*$ (см. [1]), то с учетом (2)

$$q^* = 1,38 \cdot 10^3 \sqrt{\mu_0 U_{\Sigma} R}. \quad (4)$$

Тогда

$$k = \frac{q_{кр}}{q^*} = 2,52 \cdot 10^{-3} \sqrt[6]{\frac{R}{\nu^4 \mu_0 U_{\Sigma}}}.$$

Подставив в (3) значения h_0 , k , $q_{кр}$, получим

$$h_{\delta} = 2,6 \cdot 10^{-3} \sqrt{\mu_0 U_{\Sigma} R}. \quad (5)$$

Расчеты, проведенные по формуле (5) для параметров

$$\mu_0 = (0,2 \div 0,4) \cdot 10^{-6} \frac{\text{кг} \cdot \text{сек}}{\text{см}^2}, \quad \nu = 20 \cdot 10^{-4} \frac{\text{см}^2}{\text{кг}}, \quad R = 100 \div 400 \text{ см},$$

$$U_{\Sigma} = 1 \div 4 \frac{\text{М}}{\text{сек}},$$

хорошо согласуются с результатами расчета в [4] по методу [2]. Таким образом, при $q \leq q^*$ следует пользоваться формулой (2), а при $q \geq q^*$ — формулой (5).

Для зубчатых муфт с бочкообразными зубьями $U_{\Sigma} \approx U_{ср} = \frac{mz}{30} n\psi$ (m — модуль, z — число зубьев, n — обороты, ψ — угол перекося), $R = R_r$ — главный радиус кривизны боковой поверхности зуба в нормальном сечении.

Толщины масляных пленок, подсчитанные по формулам (2), (5) для ряда зубчатых муфт, применяемых в судовых турбо-зубчатых агрегатах, составляют десятые доли микрона, то есть меньше средних значений микронеровностей. Следовательно, необходимо рассмотрение микроконтактной гидродинамической задачи смазки зубьев в муфтах (с учетом шероховатостей поверхностей зубьев), либо других теоретических решений.

До создания этой теории полученные формулы могут быть использованы для сравнительной оценки работоспособности зубчатых муфт в стадии их проектирования. На основании

опытно-статистических данных можно сделать вывод, что зубчатые муфты с параметрами $q=100\div 1000$ кг/см, $R=100\div 400$ см, $U_{\Sigma}=1\div 15$ см/сек работают удовлетворительно, если подсчитанные по формулам (2), (5) величины толщины пленок $h > [h] = 0,2 \cdot 10^{-4}$ см.

ЛИТЕРАТУРА

1. Айрапетов Э. Л. Определение контактной деформации зубьев цилиндрических зубчатых колес. «Вестник машиностроения», 1967, № 1.
2. Коднир Д. С. Контактнo-гидродинамическая теория смазки. Куйбышевское кн. изд-во, 1963.
3. Петрусевич А. И. Контактные напряжения, деформации и контактнo-гидродинамическая теория смазки. Докт. дисс., ИМАШ АН СССР, 1950.
4. Попов А. П. Исследование работоспособности компенсирующих муфт при перекосе осей соединяемых агрегатов. Канд. дисс., М., ИМАШ, 1972.

К. И. ЗАБЛОНСКИЙ, С. И. ФИЛИПОВИЧ, М. М. МУХА

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СМАЗОЧНОГО СЛОЯ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗКИ В ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧАХ

В эвольвентных зубчатых передачах, работающих в условиях жидкостного и смешанного трения, масляный слой помимо влияния на потери в зацеплении, температуру и повреждение зубьев способствует перераспределению нагрузки по контактнoм линиям. В настоящее время выполнено много исследований на основе контактнo-гидродинамической теории смазки в области установления распределения нагрузки в слое по ширине площадки контакта [1, 2 и др.], позволяющих определить эпюру давлений и оценить ее влияние на работоспособность передачи. Вместе с тем практически отсутствуют исследования по установлению распределения нагрузки масляным слоем вдоль контактнoх линий.

Непосредственное влияние масла на распределение нагрузки может иметь различный характер в зависимости от условий трения (жидкостное, смешанное, граничное), так как свойства смазки существенно зависят от давления в слое [3], а оно увеличивается с уменьшением его толщины. При больших давлениях (~ 20000 кг/см²) масляный слой из жидкостного состояния может перейти в вязкоупругое, что характерно для участков с граничным трением. Смазочный слой может также изменять контактную жесткость сопряженных поверхностей [4]. В связи с этим вязкопластичный слой может снижать перво-