

Анализ влияния вязкоупругого промежуточного слоя на контактные характеристики и силу трения при качении с проскальзыванием

А.Р. Мифтахова

Московский физико-технический институт (государственный университет)

При фрикционном взаимодействии существенное влияние на характеристики контактного взаимодействия и силу трения оказывает состояние взаимодействующих поверхностей (наличие на них тонких плёнок, покрытий, загрязнений). В предлагаемой работе изучается зависимость контактных характеристик от свойств промежуточной среды в условиях трения качения с проскальзыванием. Анализ основан на расчёте распределения касательных напряжений в области контакта упругого тела с тонким вязкоупругим слоем, сцепленным с упругим полупространством.

Рассматривается задача в трёхмерной постановке о качении упругого шара по упругому полупространству, которое покрыто тонким слоем промежуточной среды, податливость которого в касательном направлении к поверхности описывается вязкоупругим телом Кельвина. Соотношение между тангенциальными перемещениями поверхностного слоя u и касательными напряжениями τ принимается в виде:

$$u - T_\varepsilon V \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{h}{E_L} (\tau - T_\sigma V \frac{\partial \tau}{\partial x}) \quad (1)$$

где T_ε и T_σ – времена последствия и релаксации, E_L – длительный модуль упругости. V – линейная скорость перемещения катка по границе полупространства.

Зона контакта шара и полуплоскости считается круговой, а распределение в ней контактных давлений определяется из решения задачи Герца о контакте упругих тел с модулями упругости (E_1 , E_2), соответствующими материалам катка (1) и полупространства (2) у используемых сталей, т.е.

$$p(r) = p_0 \sqrt{1 - \frac{r^2}{a^2}}, \quad p_0 = \frac{2}{\pi} E^* \left(\frac{d}{R} \right)^{1/2}, \quad (2)$$

$$\frac{1}{E^*} = \frac{1 - \nu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \nu_2^2}{E_2},$$

где d – глубина внедрения катящегося тела в основание, R – радиус шара, контактирующего с упругим полупространством, a – радиус области контакта, p_0 – максимальное давление в области контакта.

Для определения распределения тангенциальных напряжений используются следующие граничные условия на верхней границе слоя, контактирующей с катящимся телом [1]:

$$|\tau(x)| = \mu p(x), \quad \frac{du}{dx} = \frac{V - \omega R}{V}, \quad x \in \Omega_{ck}, \quad (3)$$

$$|\tau(x)| \leq \mu p(x), \quad x \in \Omega_{cц}. \quad (4)$$

Здесь Ω_{ck} и $\Omega_{cц}$ соответственно подобласти скольжения и сцепления, возникающие в области контакта при скольжении, μ – коэффициент трения скольжения, ω – угловая скорость качения сферического индентора.

Расчёт функций касательного напряжения в области контакта шара и основания проводится с помощью метода полос, изложенного в [2]. Благодаря разбиению области контакта на полосы, ориентированные вдоль движения катящегося тела метод полос позволяет перейти от исходной пространственной задачи к решению системы плоских задач. Для рассматриваемой модели вязкоупругого слоя этот метод является точным. Метод определения нормальных и касательных напряжений для отдельно взятой полосы изложен в [3, 4].

В ходе исследования были получены распределения касательных перемещений и напряжений в области контакта и определены границы трёх зон: проскальзывания, сцепления и проскальзывания при заданных нормальных напряжениях. Был проведён анализ влияния механических и геометрических характеристик тонкого вязкоупругого слоя, скорости качения, радиуса цилиндра, а также коэффициента трения скольжения на распределение нормальных и касательных напряжений на площадке контакта.

Результаты данного исследования могут приниматься во внимание при создании различных модификаторов трения в зонах контакта колеса и рельса железнодорожной транспортной системы для продления сроков эксплуатации механизмов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант 14-29-00198).

Литература

1. *Горячева. И.Г.* Механика фрикционного взаимодействия. – М.: Наука, 2001. – 480с.
2. *Haines D.J., Ollerton E.* Contact stress distribution on elliptical contact surfaces to radial and tangential forces. – Proc. Inst. Mech. Engrs., 1963, – p. 95
3. *Мифтахова А.Р.* Решение задачи о качении цилиндра по вязкоупругому слою, описываемому моделью Кельвина. // Труды международной молодёжной научной конференции “XLI Гагаринские чтения” – 2015. – Т. 3. – С. 259.
4. *Мифтахова А.Р.* Контактная задача о качении с проскальзыванием колеса по рельсу при наличии промежуточного вязкоупругого слоя. // Труды 58ой научной конференции МФТИ. – 2015.