

УДК 539.3

СКОЛЬЖЕНИЕ ШЕРОХОВАТЫХ ВЯЗКОУПРУГИХ ТЕЛ ПРИ НАЛИЧИИ АДГЕЗИИ

© 2011 г.

Ю.Ю. Маховская

Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, Москва

makhovskaya@mail.ru

Поступила в редакцию 15.06.2011

Решена контактная задача скольжения жесткого тела с регулярным рельефом по границе вязкоупругого основания с учетом молекулярного притяжения поверхностей в зазоре между ними. Изучено совместное влияние несовершенной упругости, микрогеометрии поверхностей и адгезионного взаимодействия между ними на контактные характеристики (распределение контактных давлений, область фактического контакта) и силу трения скольжения.

Ключевые слова: контактная задача, вязкоупругость, адгезия, трение, шероховатость.

Классический подход к изучению трения шероховатых тел основан на расчете гистерезисных потерь и адгезии для одного выступа или системы выступов с заданной формой вершин [1, 2]. В настоящей работе учитывается полная геометрия трехмерной поверхности, т.е. форма не только вершин, но и впадин между ними, что особенно важно при исследовании эффектов адгезии и насыщения контакта. Ранее подобный подход использовался в случае плоской задачи [3].

Постановка периодической контактной задачи для вязкоупругого полупространства с учетом адгезии

Рассматривается скольжение жесткого волнистого тела, форма которого описывается периодической функцией

$$f(x, y) = h - \frac{h}{4} \left(\cos\left(\frac{2\pi x}{l}\right) + 1 \right) \left(\cos\left(\frac{2\pi y}{l}\right) + 1 \right), \quad (1)$$

со скоростью V по поверхности вязкоупругого полупространства (рис. 1).

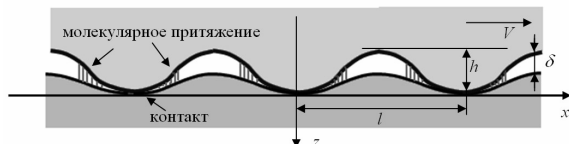


Рис. 1

Свойства полупространства описываются линейной одномерной вязкоупругой моделью

$$w + T_\varepsilon \frac{\partial w}{\partial t} = \frac{(1 - \nu^2)H}{E} \left(p + T_\sigma \frac{\partial p}{\partial t} \right), \quad (2)$$

где p и w – нормальное давление и перемещение на границе вязкоупругого полупространства, E – модуль Юнга, ν – коэффициент Пуассона, H – толщина вязкоупругого слоя, T_ε и T_σ – времена запаздывания и релаксации.

Для описания зависимости адгезионного напряжения p_a от величины зазора δ используется модель Мажи–Дагдейла:

$$p_a(\delta) = \begin{cases} p_0, & 0 < \delta \leq \delta_0, \\ 0, & \delta > \delta_0. \end{cases} \quad (3)$$

Энергия адгезии γ , согласно этой модели, определяется соотношением:

$$\gamma = \int_0^{+\infty} p_a(\delta) d\delta = p_0 \delta_0. \quad (4)$$

Влияние адгезии на контактные характеристики и силу трения

На рис. 2 представлены распределения контактного давления $p(x, y)$ в области $x \in [-l/2, l/2]$, $y \in [0, l/2]$ при отсутствии адгезии (а) и при наличии адгезии (б) при одном и том же значении внешней нормальной нагрузки на период

$$P = \int_{-l/2}^{l/2} \int_{-l/2}^{l/2} p(x, y) dx dy = 6.356 \text{ Н.}$$

Результаты получены при $h = 0.0005$ м, $l = 0.005$ м, $E/H = 2 \cdot 10^9$ Па/м, $T_\sigma = 0.0001$ с, $T_\varepsilon/T_\sigma = 10$, $V = 1$ м/с. Учет адгезионного взаимодействия приводит к увеличению областей контакта, а при определенных параметрах может привести к их слиянию и переходу в режим насыщенного контакта (см. рис. 2б).

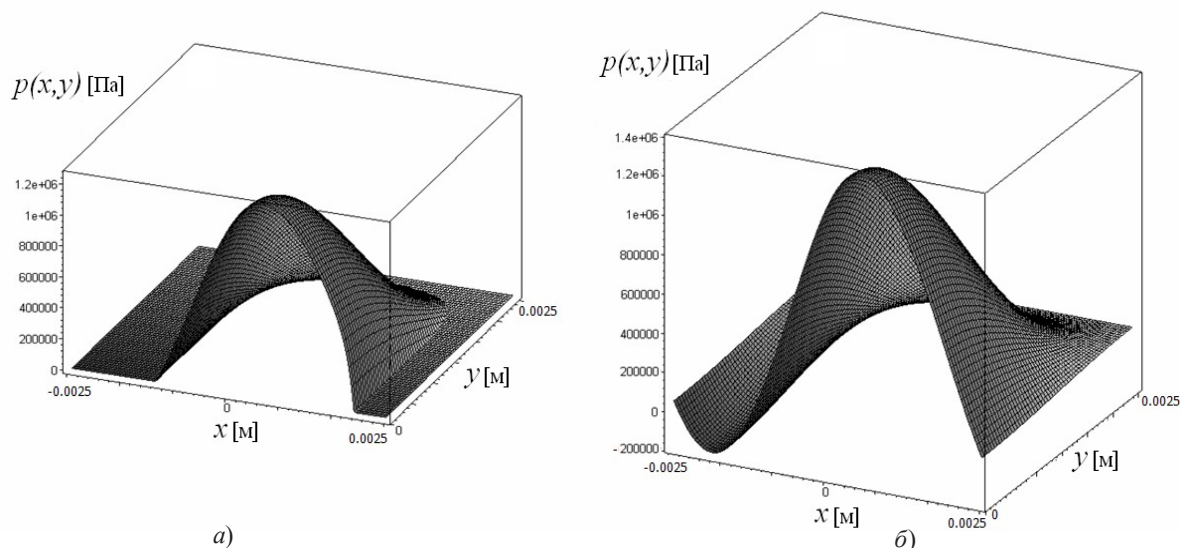


Рис. 2

На рис. 3 представлены зависимости коэффициента трения μ от скорости скольжения V [м/с] при $E/H = 10^9$ Па/м, $T_\sigma = 0.001$ с, $T_g/T_\sigma = 10$, $l = 0.001$ м, $h = 0.0001$ м, $\gamma = 0.01$ Н/м и разных значениях адгезионного напряжения $p_0 = 5 \cdot 10^4$ Па

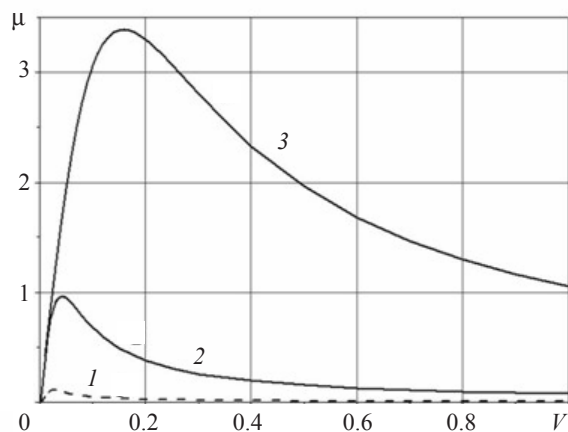


Рис. 3

(кривая 2) и $p_0 = 5 \cdot 10^5$ Па (кривая 3). Кривая 1 соответствует случаю отсутствия адгезии. При наличии адгезии сохраняются немонотонный характер зависимости коэффициента трения от скорости и стремление его к нулю при больших и малых скоростях скольжения. Значения коэффициента трения увеличиваются с ростом абсолютного значения p_0 .

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты №09-08-00901-а, 11-01-00650-а).

Список литературы

1. Горячева И.Г. Механика фрикционного взаимодействия. М.: Наука, 2001. 478 с.
2. Маховская Ю.Ю. Скольжение вязкоупругих тел при наличии адгезии // ПММ. 2005. Т. 69. Вып. 2. С. 334–344.
3. Горячева И.Г., Маховская Ю.Ю. Моделирование трения на разных масштабных уровнях // МТТ. 2010. №3. С. 100–110.

SLIDING OF ROUGH VISCOELASTIC BODIES IN THE PRESENCE OF ADHESION

Yu. Yu. Makhovskaya

A contact problem for a rigid body with regular surface roughness sliding on the boundary of a viscoelastic foundation is solved, taking into account molecular attraction in the interface. The combined influence of the imperfect elasticity, microgeometry of the surfaces, and adhesive interaction between them on the contact characteristics (contact pressure distribution, real contact area) and sliding friction force is analyzed.

Keywords: contact problem, viscoelasticity, adhesion, friction, roughness.