Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института
им.Г.В.Плеханова, т.XIX, вып.1, 1975 г.

СТАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОНТАКТА КОЛЕСА С РЕЛЬСОМ

В.В.ДЕНЕГИН

Влияние некоторых основных факторов на процесс сцепления колеса с рельсом можно оценить при помощи стержневой модели. Подобная модель применялась при рассмотрении контакта двух плоских поверхностей [1,2] . Преимуществом такого моделирования по сравнению с аналитическим решением задачи является значительная простота получения качественной картины процесса сцепления. Модель основана на том, что неровности поверхностей контактируемых тел представляются в виде асимметричных эллипсоидов, сфер или стержней. В случае взаимодействия двух шероховатых поверхностей для большей простоты рассматриваются стержневые модели. Здесь стержневая модель применяется для случая контакта цилиндра с плоскостью.

При вдавливании цилиндрического тела в плоскость устанавливается не совсем определенная граница, если материалы контактируемых тел имеют разные физические свойства. При вдавливании цилиндра радиусом R на глубину a_0 образуется линия контакта (имеется в виду плоская задача) размером $2b$ (рис. 1). Приближенная зависимость между координатами a_i и b_i имеет вид

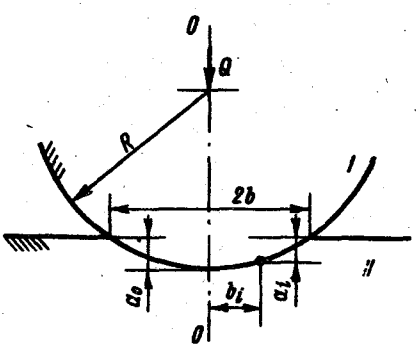


Рис. 1. Взаимодействие абсолютно твердого катка с упругим основанием

$$a_i = \frac{b_i^2}{2R} \cdot \qquad (1)$$

Общая деформация S тела II при приложении вертикальной силы Q найдется как площадь сегмента с основанием $2b$ и высотой a_0:

$$S \cong \frac{b^3}{3R} .$$

Усредненное значение величины деформации

$$\bar{a} \cong \frac{S}{2b} = \frac{b^2}{6R} \cong \frac{a_0}{3} . \qquad (2)$$

Это выражение справедливо, если контактируемые тела ограничены абсолютно гладкими поверхностями. В действительности наружный слой реального тела представляет собой набор выступов, различных по высоте, причем значения этих высот лежат в определенных пределах, являющихся границами слоя [3] . Распределение неровностей по высоте является случайным. Упрощенно наружные слои тел можно представить набором стержней одного сечения, высоты которых подчиняются одному из законов распределения – гауссовскому, нормальному или линейному. При этом надлежит рассматривать условия контактирования x-го подслоя тела I с y-м подслоем тела II при сближении тел на величину a_0 (рис. 2). В этом случае взаимное внедрение подслоя x тела I и подслоя y тела II

$$a_0' = a_0 - x - y .$$

Подставляя это выражение в формулу (2),получим

$$\bar{a}' \cong \frac{1}{3}(a_0 - x - y) . \qquad (3)$$

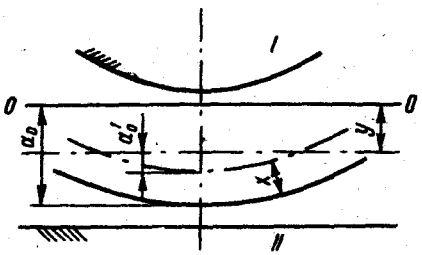


Рис. 2. К механизму сближения цилиндра и плоского основания

Зная зависимость величины деформации элементарного выступа от нагрузки, можно найти суммарную силу Q , под действием которой происходит внедрение тел на величину a_0 .

В общем случае, когда материалы взаимодействующих тел различны, коэффициенты пропорциональности K_i , связывающие величину деформации стержня a_i с величиной элементарной средней нормальной силы q_i будут различными. При этом в рассмотрение вводится приведенный коэффициент

$$K_{пр} = \frac{K_1 K_2}{K_1 + K_2} , \qquad (4)$$

где

$$K_1 = \frac{E_1 F_1}{l_1} ; \qquad K_2 = \frac{E_2 F_2}{l_2} ,$$

E_1, E_2 – модули упругости материалов; F_1, F_2 – площади поперечных сечений стержней; l_1, l_2 – длины стержней (высоты неровностей) соответственно тела I и II.

Элементарная нормальная сила

$$q_i = a_i K_{\text{пр}} .$$

На основании вероятностно-статистического подхода к контакту плоских тел И.В.Крагельским [1] получено выражение для m стержней, входящих в контакт при сближении тел на величину a :

$$m = \frac{1}{M} \int_0^a dy \int_0^{a-y} \varphi_2'(y)\, \varphi_1'(x)\, dx , \qquad (5)$$

где $M = M_1 = M_2$ число стержней для тел I и II;

$$\varphi_1'(x) = \gamma_1 \; ; \qquad \varphi_2'(y) = \gamma_2 .$$

В свою очередь, $\varphi_1(x)$ и $\varphi_2(y)$ представляют собой функции распределения числа стержней по глубине слоя для тел I и II.

С учетом выражения (5) определим суммарную нагрузку для нашего случая

$$Q = \sum_{i=1}^{m} q_i = \frac{R}{M} \gamma_1 \gamma_2 K_{\text{пр}} \int_0^{a_0} dy \int_0^{a_0-y} \bar{a}'\, dx .$$

Подставляя сюда выражение для $\bar{a}'$ из формулы (3), имеем

$$Q \cong \frac{1}{M} \gamma_1 \gamma_2 K_{\text{пр}} \frac{R a_0^3}{12} . \qquad (6)$$

Принимая во внимание равенство (1), получаем

$$Q = \frac{1}{M} \gamma_1 \gamma_2 K_{\text{пр}} \frac{b^6}{96 R^2} . \qquad (7)$$

Из выражений (6) и (7) легко получаются обратные зависимости

$$a_0 = \sqrt[3]{\frac{6M}{\gamma_1 \gamma_2 K_{\text{пр}} R}}\, Q^{1/3} \; ;$$

$$b = \sqrt[6]{\frac{96 M R^2}{\gamma_1 \gamma_2 K_{\text{пр}}}}\, Q^{1/6} . \qquad (8)$$

В выражения (8) входят геометрические параметры контактируемых тел, механические свойства материалов, а также параметры неровностей. Последние в значительной степени зависят от метода механической обработки [3]. Функции γ_1 и γ_2 определяются по результатам обработки профилограмм поверхностей контактируемых тел.

Количественные расчеты по полученным зависимостям представляют значительную сложность из-за величины M . Задачу можно упростить, если ввести в формулы контактную площадь касания A_c и

одновременно видоизменить коэффициенты K_1 и K_2 [1]. Тогда зависимости (8) преобразуются к виду

$$a_0 = \sqrt[3]{\frac{12}{BR}}\, N^{1/3} \;; \qquad (9)$$

$$b = \sqrt[6]{\frac{96R^2}{B}}\, N^{1/6} \;,$$

где N – величина нормального давления; $B = A_c \gamma_1 \gamma_2 K'_{пр}$; $K'_{пр}$ – находится из выражения (4) при коэффициентах

$$K_1 = K'_1 = \frac{E_1}{2\rho_1(1-\mu_1^2)} \;; \qquad K_2 = K'_2 = \frac{E_2}{2\rho_2(1-\mu_2^2)} \;.$$

ρ_1 и ρ_2 – радиусы пятен касания; μ_1, μ_2 – коэффициенты Пуассона материалов тел.

Предложенная стержневая модель контакта колеса с рельсом позволила получить зависимость между сближением контактируемых тел, нагрузкой на них, геометрическими размерами тел и механическими свойствами материалов. Приведенные результаты согласуются с известными зависимостями, полученными с помощью весьма трудоемких и сложных методов теории упругости.

Литература

1. Крагельский И.В. Трение и износ. М., "Машиностроение", 1968.

2. Михин Н.М. Трение в условиях пластического контакта. М., "Наука", 1968.

3. Рыжов Э.В. Опорная площадь поверхностей, подвергнутых механической обработке. – "Вестник машиностроения", 1964, № 4.