ИЗВЕСТИЯ
ТОМСКОГО ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА им. С. М. КИРОВА

Том 263 1975

МОДЕЛИРОВАНИЕ КРИВОЙ ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЛИНЕЙНОЙ ФУНКЦИЕЙ В РАСЧЕТАХ НА ЖЕСТКОСТЬ

Г. М. ХАРАЧ, В. И. МАКСАК

Представлена научным семинаром кафедры сопротивления материалов

При определении деформации шероховатой поверхности обычно используют степенную зависимость относительной площади касания η от относительного сближения ε.

$$\eta = A_r / A_c = b\,\varepsilon^{\nu}, \tag{1}$$

где

A_r — фактическая площадь касания,

A_c — контурная площадь,

b, ν — константы.

Однако при линейной аппроксимации опорной кривой расчеты представляются в более простом виде и для некоторых случаев это физически оправдано.

$$\eta = b\,\varepsilon. \tag{2}$$

Для расчета фактической площади касания, как и в работе [1], можно воспользоваться формулой

$$N = \int_0^{n_r} N_i\,dn_r. \tag{3}$$

Для этого зависимость (1) представим в виде

$$\frac{\Delta \overline{A}_r\, n_r}{A_c} = b\,\varepsilon, \tag{4}$$

где

ΔA_r — средняя величина единичного пятна касания,

n_r — число контактирующих выступов.

Упругий контакт

При упругом контакте сферы с абсолютно твердой поверхностью по формуле Герца

$$\Delta A_{ri} = \pi r h_{\max}\,\varepsilon_i, \tag{5}$$

здесь

r — радиус выступов шероховатой поверхности,

$h_{\max}$ — максимальная высота неровностей.

При этом необходимо заметить, что при упругом деформировании

$$\Delta A_{ri} \simeq 0{,}5\, \Delta \overline{A}_r, \text{ т. е.}$$

$$\Delta A_{ri} = A_c b \varepsilon / 2 n_r. \tag{6}$$

С учетом (5) и (6) получим

$$n_r = A_c b \varepsilon / 2\pi r h_{\max} \varepsilon_i$$

или

$$n_r = A_c b x / 2\pi r h_{\max} (\varepsilon - x). \tag{7}$$

Отсюда

$$dn_r = \frac{A_c b \varepsilon}{2\pi r h_{\max}} \cdot \frac{dx}{(\varepsilon - x)^2}. \tag{8}$$

Подставляя (8) в (3) с учетом

$$N_i = 1{,}33 \frac{r^{1/2} h_{\max}^{3/2} E}{1 - \mu^2} \varepsilon_i^{3/2}, \tag{9}$$

получим

$$N = \frac{1{,}33\, A_c b\, h_{\max}^{1/2} E \varepsilon^{3/2}}{\pi (1 - \mu^2) r^{1/2}}. \tag{10}$$

Здесь μ — коэффициент Пуассона,
E — модуль упругости.

Относительное сближение ε можно определить из равенства (10)

$$\varepsilon = \left[\frac{0{,}75 \pi (1 - \mu^2) r^{1/2} N}{b h_{\max}^{1/2} E A_c} \right]^{2/3}. \tag{11}$$

Подставляя (11) в (2), получим фактическую площадь контакта

$$A_r = \left[\frac{0{,}75 \pi (1 - \mu^2) r^{1/2} b^{1/2} A_c^{1/2} N}{h_{\max}^{1/2} E} \right]^{2/3} \tag{12}$$

или

$$A_r = \left(\frac{r b A_c}{h_{\max}} \right)^{1/3} \left[\frac{0{,}75 \pi (1 - \mu^2) N}{E} \right]^{2/3}. \tag{13}$$

Пластический контакт при наличии упрочнения

В рассматриваемом случае усилие, приходящееся на единичный выступ в зависимости от сближения, определяется по [1]

$$N_i = 2^{\frac{\vartheta}{2}} \pi H_y h_{\max}^{\frac{\vartheta}{2}} r^{2 - \frac{\vartheta}{2}} \varepsilon_i^{\frac{\vartheta}{2}}, \tag{14}$$

где ϑ — коэффициент, характеризующий свойства материала,
H_y — твердость по Майеру.

После подстановки в (3) значения (14) и

$$dn_r = \frac{A_c b \varepsilon}{2\pi r h_{\max}} \cdot \frac{dx}{(\varepsilon - x)^2}$$

получим

$$N = \frac{2^{\omega} H_y h_{\max}^{\omega} A_c b \varepsilon^{\omega + 1}}{\omega r^{\omega}}. \tag{15}$$

Отсюда получим относительное сближение

$$\varepsilon = \left(\frac{\omega r^{\omega} N}{2^{\omega} b h_{\max}^{\omega} A_c H_y} \right)^{\frac{1}{1+\omega}} \tag{16}$$

и фактическую площадь касания

$$A_r = \left(\frac{\omega}{H_y}\right)^{\frac{1}{1+\omega}} \left(\frac{rbA_c}{2h_{\max}}\right)^{\frac{\omega}{1+\omega}}. \tag{17}$$

Здесь

$$\omega = \frac{\vartheta}{2} - 1.$$

Сопоставление расчетов, полученных при моделировании кривой опорной поверхности линейной и степенной (1) функциями

Для опорной поверхности (1) относительное сближение определено формулой

$$\varepsilon_\nu = \left[\frac{1{,}5\,\pi\,(1-\mu^2)\,r^{1/2}N}{b_\nu K_2\,h_{\max}^{1/2}\,A_c E}\right]^{\frac{2}{2\nu+1}}. \tag{18}$$

Соотношение (11) и (18) имеет вид

$$\frac{\varepsilon}{\varepsilon_\nu} = \left(\frac{0{,}75}{b}\right)^{2/3} \left(\frac{b_\nu K_2}{1{,}5}\right)^{\frac{2}{2\nu+1}}. \tag{19}$$

Для шлифованных поверхностей можно принять [1]

$b = 1{,}6 \div 2{,}0$; $b_\nu = 4 \div 6$; ν-3; $K_2 = 0{,}68$, тогда $\varepsilon/\varepsilon_\nu = 0{,}7 \div 0{,}75$.

Для полированных поверхностей при $b = 2{,}8$; $b_\nu = 5 \div 10$; $\nu = 3$; $\kappa_2 = 0{,}65$

$$\varepsilon/\varepsilon_\nu = 0{,}6 \div 0{,}65.$$

Для фрезерованных, строганых поверхностей при $b = 1 \div 1{,}4$ $b_\nu = 1 \div 4$; $\nu = 2$; $\kappa_2 = 0{,}8$

$$\varepsilon/\varepsilon_\nu = 0{,}65 \div 0{,}91.$$

Величины b_ν, ν, κ_2 брались из таблиц [1], а величина b определялась по наиболее протяженному участку опорной кривой с постоянной интенсивностью ее изменения.

В заключение следует отметить, что при моделировании кривой опорной поверхности линейной функцией расчетная величина сближения оказывается несколько меньше, чем при обычном моделировании степенной функцией. Расхождение в расчетах может быть снижено корректировкой величины b.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Б. Демкин. Фактическая площадь касания твердых поверхностей. Изд. АН СССР, 1962.