

ТРЕНИЕ НЕСМАЗАННЫХ
ПОВЕРХНОСТЕЙ.
СИЛОВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ

Особенности внешнего трения

Внешнее трение реализуется в отдельных, изолированных друг от друга зонах фактического контакта

Условие реализации внешнего трения
$$p_c \leq \frac{0,125HB}{\Delta^2} (1 - 6 \cdot f_m)^2$$

HB - твердость менее твердого тела, МПа

Δ - комплексная характеристика шероховатости более твердого тела

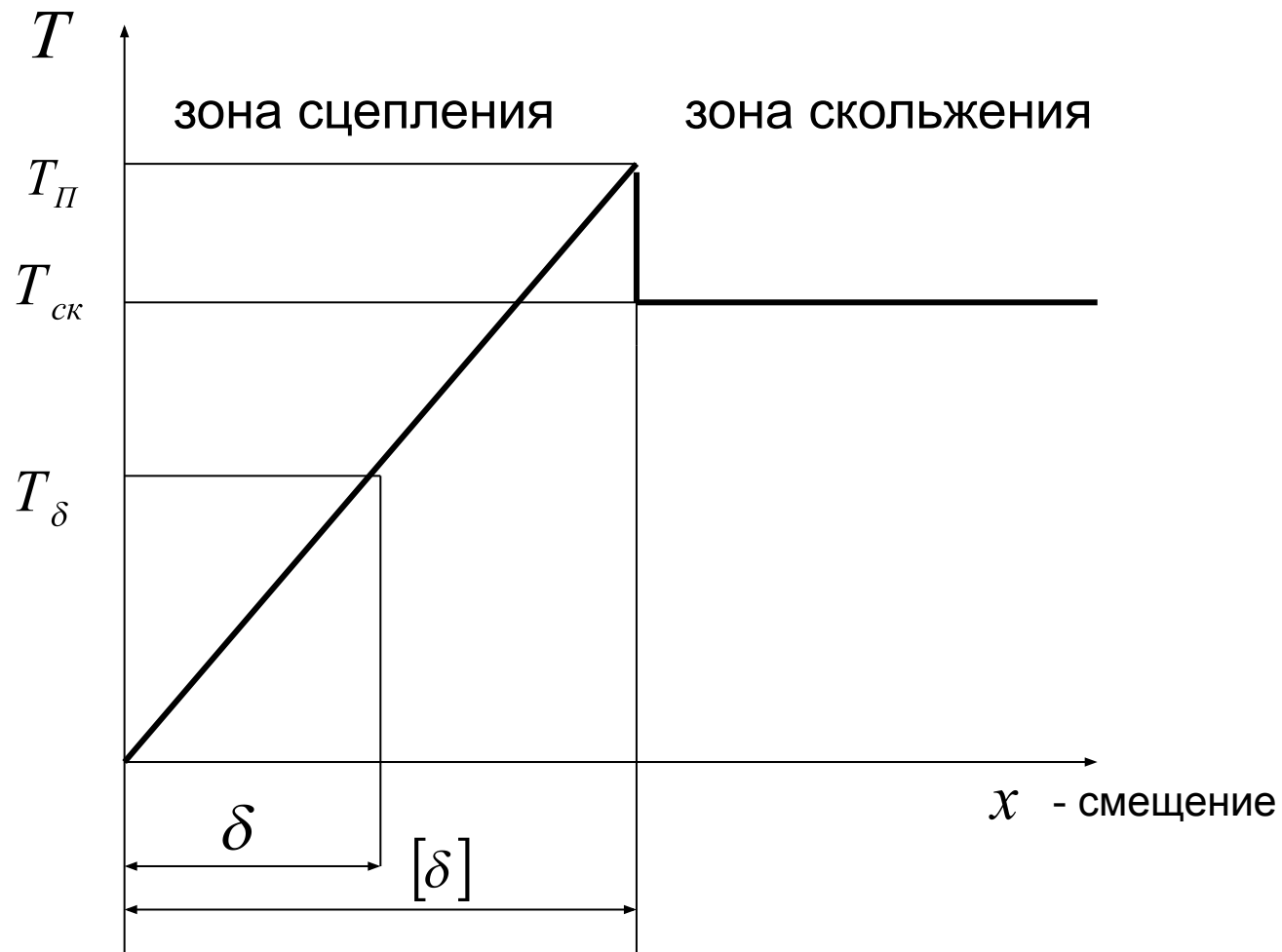
$f_m = \frac{\tau_n}{HB}$ - адгезионная (молекулярная) составляющая коэффициента трения

$\tau_n = \tau_o + \beta \cdot p_r$ - средние касательные напряжения, возникающие на границах раздела в результате межмолекулярных взаимодействий

τ_o, β - фрикционные параметры, определяемые экспериментально

p_r - фактическое давление

Предварительное смещение



Предварительное смещение

Величина предварительного смещения

$$\delta = [\delta] \left\{ 1 - \left[1 - \frac{T}{f \cdot N} \right]^{0,4} \right\}$$

Максимальная величина предварительного смещения

$$[\delta] = 0,84 \cdot f \cdot R_{\max} \cdot \varepsilon$$

$$[\delta] = 4,9 \cdot f \cdot r \cdot \left(\frac{P_c}{E} \right)^{0,4} \cdot \Delta^{0,9}$$

ННУК

$$[\delta] = 1,41 \cdot r \cdot \Delta^{0,5} \cdot \left(\frac{P_c}{HB} \right)^{0,25} \left[1,19(1 + f^2)^{0,125} - 1 \right]$$

ННПК

$$[\delta] = 1,41 \sqrt{r \cdot R_{\max}} \left(\frac{P_c}{HB} \right)^{0,5} \left[1,41(1 + f^2)^{0,25} - 1 \right]$$

НПК

Коэффициент трения скольжения

Закон Амонтона – Кулона

$$f = \frac{T}{N}$$

N – нормальная нагрузка

T – сила трения

Сила трения складывается из сил, возникающих при скольжении на отдельных микронеровностях:

$$T = \int_0^{n_r} T_i \cdot d_{nr}$$

Сила трения включает две составляющие - адгезионную (молекулярную) и когезионную (деформационную).

$$T_i = T_{mi} + T_{\partial i}$$

Коэффициент трения скольжения

Молекулярная
составляющая

$$T_{mi} = \tau_n \cdot \pi \cdot r \cdot h_i$$

Деформационная
составляющая
1) для упругого контакта

$$T_{\partial i} = 0,25\alpha_{\text{эф}} \cdot \frac{h_i^2}{\Theta}$$

$$\alpha_{\text{эф}} = 2,5\alpha_{\Gamma}$$

2) для пластического
контакта

$$T_{\partial i} = 1,68 \cdot HB^{0,5} \cdot h_i^{1,5}$$

n_r - число фактических пятен
контакта
 r - радиус
микронеровностей
 h_i - сближение
микронеровностей
 α_{Γ} - коэффициент гистерезисных
потерь.

Коэффициент трения скольжения

ННУК

$$f = \frac{2,4 \cdot \Theta^{0,8}}{p_c^{0,2} \cdot \Delta^{0,4}} \cdot \tau_0 + \beta + 0,24 \alpha_{эф} \cdot p_c^{0,2} \cdot \Delta^{0,4} \cdot \Theta^{0,2}$$

Для материалов с высоким модулем упругости
(металлы)

$$f_{\min} = 1,41 \sqrt{\tau_0 \cdot \alpha_{эф} \cdot \Theta} + \beta$$

При контурном
давлении

$$p_c = \frac{2,2 \cdot 10^2}{\Delta^2} \left[\frac{\tau_0}{\alpha_{эф}} \cdot \Theta^{0,6} \right]^{2,5}$$

При комплексной характеристике шероховатости

$$\Delta = \frac{15 \Theta^{0,75}}{p_c^{0,5}} \cdot \left(\frac{\tau_0}{\alpha_{эф}} \right)^{1,25}$$

Коэффициент трения скольжения

ННПК

$$f = \frac{\tau_0}{HB} + \beta + 0,5 \cdot \Delta^{0,5} \cdot \left(\frac{p_c}{HB} \right)^{0,25}$$

При переходе упругих деформаций в пластические

$$f_{min} = f + 0,9(\Theta \cdot HB)^2$$

При контурном давлении

$$p_c = 7,5 \cdot \Delta^{-2} \cdot \Theta^4 \cdot HB^5$$

При комплексной характеристики шероховатости

$$\Delta = 2,7 \cdot p_c^{-0,5} \cdot \Theta^2 \cdot HB^{2,5}$$

Коэффициент трения скольжения

С ростом нагрузки ННПК переходит в НПК и при дальнейшем ее росте коэффициент трения постоянно растет, достигая величины для НПК

$$f_{\max} = f_m + 0,3 \cdot \Delta^{0,5}$$

При
давлении

контурном

$$p_c \rightarrow 0,33HB$$

Рост величины коэффициента трения ограничен несущей способностью микронеровностей, которая теряется при достижении относительного сближения

$$\varepsilon = 0,445$$

Коэффициент трения скольжения

$$\text{ННУК} \quad f \sim p_c^{-0,2} \quad f \sim \Delta^{-0,4} \quad f \sim E^{-0,8}$$

$$\text{ННПК} \quad f \sim p_c^{0,25} \quad f \sim \Delta^{0,5} \quad f \sim HB^{-1}$$

$$\text{НПК} \quad f \sim p_c^{0,5} \quad f \sim \Delta^{0,5} \quad f = HB^{-0,5}$$

С ростом нагрузки по мере перехода от упругого контакта к пластическому коэффициент трения переходит через минимум в зоне упругого контакта и возрастает при пластическом контакте.

При пластическим контакте с уменьшением комплексной характеристики шероховатости коэффициент трения уменьшается, но в определенный момент пластический контакт переходит в насыщенный, что ведет уже к росту коэффициента трения.