

Тема: Расчет зубьев зубчатых колес на контактную прочность

Содержание:

1. Исходные предпосылки к расчету.
2. Удельная расчетная окружная сила.
3. Получение зависимостей для проектного и проверочного расчета зубьев.
4. Допускаемые напряжения на контактную прочность.
5. Контрольные вопросы.

1. Исходные предпосылки к расчету

В качестве исходной примем формулу Герца для линейчатого контакта соприкасающихся поверхностей

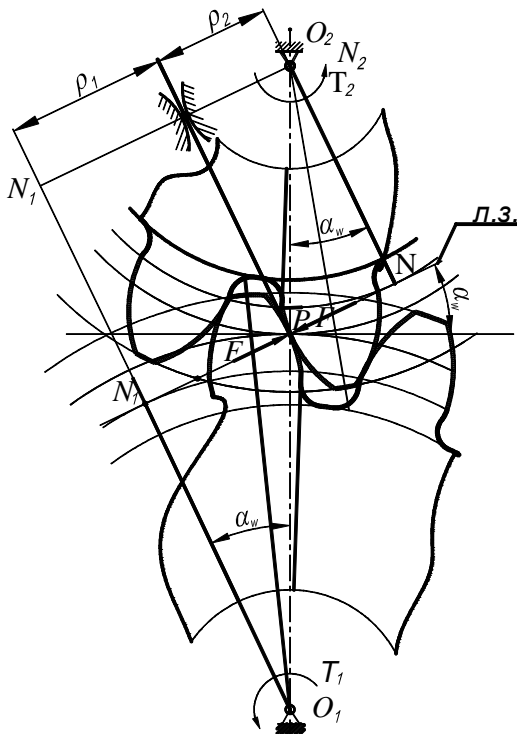


Рис. Схема к расчету контактной прочности зубьев

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{qE_{np}}{\rho_{np}2\Pi(1-\mu^2)}} \leq [\sigma_H],$$

где μ - коэффициент Пуассона.

Учитывая, что

$$F = \frac{F_t}{\cos \alpha_w},$$

введем понятие – удельная расчетная окружная сила ω_{Ht}

$$\omega_{Ht} = q \cos \alpha_w$$

Тогда формула Герца примет вид

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{\omega_{Ht}E_{np}}{\cos \alpha_w \rho_{np}2\Pi(1-\mu^2)}};$$

Из рис. 8.1. получим радиусы кривизны ρ_1 и ρ_2

$$\rho_1 = \frac{d_{w1}}{2} \sin \alpha_w; \quad \rho_2 = \frac{d_{w2}}{2} \sin \alpha_w,$$

где d_{w1} , d_{w2} – диаметры “начальных” окружностей.

Подставим значения ρ_1 и ρ_2 в формулу для определения ρ_{np}

$$\frac{1}{\rho_{np}} = \frac{1}{\rho_1} \pm \frac{1}{\rho_2} = \frac{\rho_2 \pm \rho_1}{\rho_1 \rho_2} = \frac{4(d_{w2} \pm d_{w1}) \sin \alpha_w}{2d_{w1} d_{w2} \sin^2 \alpha_w} = \frac{2(d_{w2} \pm d_{w1})}{d_{w1} d_{w2} \sin^2 \alpha_w};$$

Учитывая, что передаточное отношение

$$u = \frac{d_{w2}}{d_{w1}},$$

а следовательно

$$d_{w2} = d_{w1} \cdot u.$$

После подстановки окончательно получим

$$\frac{1}{\rho_{np}} = \frac{2d_{w1}(u \pm 1)}{d_{w1} d_{w1} \cdot u \cdot \sin \alpha_w} = \frac{2}{d_{w1} \sin \alpha_w} \cdot \frac{(u \pm 1)}{u}$$

Подставим полученное выражение в формулу Герца

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{\omega_{Ht} E_{np} \cdot 2}{2 \cos \alpha_w \sin \alpha_w d_{w1} \Pi(1 - \mu^2)} \cdot \frac{(u \pm 1)}{u}},$$

или

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{\omega_{Ht} E_{np} \cdot 2}{\sin 2\alpha_w \cdot d_{w1} \Pi(1 - \mu^2)} \cdot \frac{(u \pm 1)}{u}}.$$

Введя обозначения и произведя соответствующие преобразования, получим формулу:

$$\sigma_H = Z_H Z_M Z_\epsilon \sqrt{\frac{\omega_{Ht} \cdot u \pm 1}{d_{w1} \cdot u}};$$

где $Z_H = \sqrt{\frac{2 \cos \beta}{\sin 2\alpha_w}}$ - коэффициент формы сопряженных поверхностей зубьев в полюсе

(зацепления для прямозубой передачи $\beta=0$ и $\alpha_w=20^\circ \Rightarrow Z_H=1.76$).

$Z_M = \sqrt{\frac{E_{np}}{\Pi(1 - \mu^2)}}$ - коэффициент, характеризующий механические свойства мате-

риалов зубьев (для стальных колес $E_{np}=2,15 \cdot 10^5$ МПа; $\mu=0,3 \Rightarrow Z_M=275 \cdot 10^3$ Па^{1/2}),

Z_ϵ - коэффициент суммарной длины контактных линий сопряженных зубьев.

$$Z_\epsilon = \sqrt{\frac{4 - \epsilon_\alpha}{3}} \text{ - для прямозубых;}$$

$$Z_\epsilon = \sqrt{\frac{1}{\epsilon_\alpha}} \text{ - для косозубых,}$$

где ϵ_α – степень перекрытия приближенно можно посчитать так:

$$\epsilon_\alpha = \left[1.88 - 3.2 \left(\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} \right) \right] \cdot \cos \beta.$$

Для прямозубых зубчатых колес можно принять $\epsilon_\alpha=1.6$, тогда $Z_\epsilon=0,9$.

2. Удельная расчетная окружная сила

$$\omega_{Ht} = \frac{F_t}{b_w} K_{H\alpha} K_{H\beta} K_{H\nu};$$

где $K_{H\alpha}$ – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузки между зубьями в косозубых передачах (для прямозубого зацепления $K_{H\alpha}=1$; для косозубого – чем выше скорость, тем $K_{H\alpha}$ выше).

$K_{H\beta}$ – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузки по длине контактной линии в результате погрешностей в зацеплении или деформации зубьев. Он зависит от схемы передачи и от ширины зубчатого колеса.

$K_{H\nu}$ - коэффициент динамической нагрузки (чем выше скорость, тем выше $K_{H\nu}$; чем выше твердость материала зубьев, тем выше $K_{H\nu}$).

F_t – окружная сила, которую определяем по формуле

$$F_t = \frac{2 \cdot 10^3 T_1}{d_{w1}}.$$

Введя коэффициент ширины зуба

$$\Psi_{bd} = \frac{b_w}{d_{w1}},$$

который находится в пределах $0,4 \div 1,0$.

(чем выше скорость, тем меньше Ψ_{bd} – это задаваемая величина конструктором при проектировании).

Отсюда

$$b_w = \Psi_{bd} \cdot d_{w1},$$

тогда

$$\omega_{Ht} = \frac{2 \cdot 10^3 T_1}{d_{w1}^2 \Psi_{bd}} K_{H\alpha} K_{H\beta} K_{H\nu}.$$

3. Получение зависимостей для проектного и проверочного расчета зубьев

После подстановки ω_{Ht} получим

Окончательно формулу для проверочного расчета зубьев

$$\sigma_H = Z_H Z_M Z_\varepsilon \sqrt{\frac{2 \cdot 10^3 T_1 K_{H\alpha} K_{H\beta} K_{H\nu} \cdot (u \pm 1)}{d_{w1}^3 \Psi_{bd} u}} \leq [\sigma_H].$$

Преобразовав полученную формулу получим зависимость для проектного расчета зубьев на контактную прочность

$$d_{w1} = \sqrt[3]{(Z_H Z_M Z_\varepsilon)^2 \frac{2 \cdot 10^3 T_1 K_{H\alpha} K_{H\beta} K_{H\nu} \cdot (u \pm 1)}{\Psi_{bd} [\sigma_H]^2 u}},$$

которая после введения обозначений примет окончательный вид

$$d_{w1} = K_d \sqrt{\frac{T_1 K_{H\beta} \cdot (u \pm 1)}{\Psi_{bd} [\sigma_H]^2 u}};$$

Для прямозубых передач $K_d = 770$, для косозубых передач – $K_d = 675$.

4. Допускаемые напряжения на контактную прочность

$$[\sigma_H] = \frac{\sigma_{Hlimb}}{S_H} Z_R Z_v \cdot K_{HL}$$

где σ_{Hlimb} – предел контактной усталости поверхностей зубьев, выбирается по таблицам в зависимости от твердости и от термообработки.

S_H – коэффициент безопасности (при однородной структуре $S_H=1,1$; при поверхностном упрочнении $S_H=1,2$).

Z_R – коэффициент, учитывающий шероховатость поверхности (чем выше шероховатость поверхности, тем больше Z_R). Лежит в пределах $0,9 \div 1$.

Z_v – коэффициент, учитывающий окружную скорость в передаче (чем меньше скорость и выше твердость, тем меньше Z_v , лежит в пределах $(1 \div 1,6)$). При скорости меньше 5 м/с, принимаем $Z_v=1$.

При приближенном расчете можно принимать $Z_R Z_v=1$.

K_{HL} – коэффициент долговечности (выбираем по таблицам в зависимости от соотношения N_{HE}/N_{HO} и твердости).

N_{HE} – число циклов нагружения передачи, $N_{HE} = 60nt$

N_{HO} – базовое число циклов нагружения.

5. Контрольные вопросы

1. Формула Герца для линейчатого контакта.
2. Как определить приведенный радиус кривизны ?
3. Удельная расчетная окружная сила.
4. Определение σ_H .
5. Определение d_{w1} .
6. Как определить допускаемые контактные напряжения ?