

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

Э. П. АРУТЮНЯН

РАСЧЕТ ПОДАТЛИВОСТИ ШАРИКОВИНТОВОЙ ПЕРЕДАЧИ
 С УЧЕТОМ НЕРАВНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
 НАГРУЗКИ ПО ВИТКАМ РЕЗЬБЫ

Жесткость узла шариковинтовой передачи (рис. 1) является одной из основных критериев работоспособности, предопределяющей нормальное функционирование и стабильность эксплуатационных параметров.

Имеющаяся методика расчета податливости шариковой резьбы [1, 2] основана на предположении, что при идеально точном изготовлении деталей передачи нагрузка по виткам распределяется равномерно, и перемещение винта относительно гайки обусловлено лишь

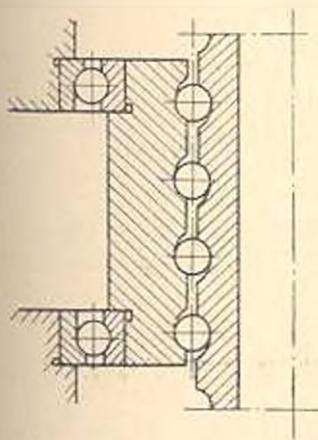


Рис. 1.

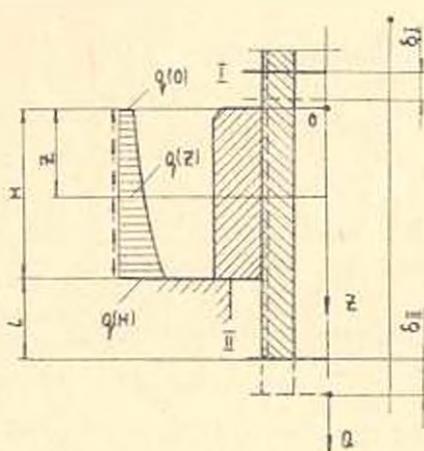


Рис. 2.

контактными деформациями. Уточнение величины податливости обычной резьбы в связи с неравномерностью распределения нагрузки по виткам произведено в работах [3, 4].

Настоящая статья основана на результатах работы (5), где рассматривается распределение нагрузки по виткам шариковой резьбы.

Перемещение сечений винта I и II в осевом направлении (рис. 2)

$$\delta_I = \delta(0) + \delta_r + \delta_g$$

$$\delta_{II} = \delta(H) + \delta_n + \delta_0$$

где $\delta(0)$, $\delta(H)$ —упругие перемещения винта относительно гайки в сечениях $z=0$ и $z=H$;

δ_r и δ_g —укорочение гайки на высоте H и удлинение винта па длине L ;

δ_0 —упругие перемещения в опоре.

Деформация винта определяется элементарной зависимостью (предполагается наличие на длине L несрезанных участков):

$$\delta_i = \frac{Q}{E_1} \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{F_{i1}}$$

где Q —осевое усилие, приложенное к винту; E_1 —модуль упругости материала винта; l_i , F_{i1} —длина и площадь поперечного сечения i -го участка, а данные по вычислению упругих перемещений в опоре приведены в [6]. Ниже, для простоты, принимается $\delta_0 = \delta_0 = 0$.

Интенсивность распределения осевых сил $q(z)$ по высоте соединения, характеризующая неравномерность распределения нагрузки, выражается функцией [5]:

$$q(z) = \frac{Qm}{\operatorname{sh} mH} \operatorname{ch} mz, \quad (1)$$

где H —высота гайки;

$$m = \left[\frac{\beta}{\gamma + \frac{2}{3} \gamma_k \frac{H^{1,3}}{Q^{0,3}}} \right]^{1,2}, \quad (2)$$

причем, β , γ , γ_k —упруго-геометрические параметры, определяемые в зависимости от геометрии и материалов изготовления деталей передачи.

Перемещение винта относительно гайки в сечении H [5]

$$\delta(H) = \gamma q(H) + \gamma_k [q(H)]^{2,3}. \quad (3)$$

Первое слагаемое в выражении (3) представляет деформацию витков винта и гайки от изгиба, сдвига и радиального смещения основания витка, а второе—от контактной деформации.

Дифференцируя (3) по Q , получим коэффициент податливости

$$\lambda_2 = \frac{d}{dQ} [\delta(H)] = \left\{ \gamma + \frac{2}{3} \frac{\gamma_k}{[q(H)]^{1,3}} \right\} \frac{d}{dQ} [q(H)]. \quad (4)$$

Перемещение сечения 0 от суммарной деформации витков и сжатия тела гайки

$$\delta(0) + \delta_r = \gamma q(0) + \gamma_k [q(0)]^{2,3} + \frac{1}{E_2 F_2} \int_0^H \int_0^z q(z_1) dz_1 dz, \quad (5)$$

где E_2, F_2 — модуль упругости материала и площадь поперечного сечения тела гайки.

Соответственно коэффициент податливости

$$\lambda_1 = \frac{d}{dQ} [\delta(0) + \delta_r] = \left\{ \gamma + \frac{2}{3} \frac{\gamma_k}{[q(0)]^{1,3}} \right\} \frac{d}{dQ} [q(0)] + \frac{1}{E_2 F_2} \frac{d}{dQ} \left[\int_0^H \int_0^z q(z_1) dz_1 dz \right]. \quad (6)$$

Используя (1) и (2), получим:

$$\delta(H) = \gamma Qm \operatorname{cth} mH + \gamma_k (Qm \operatorname{cth} mH)^{2,3}; \quad (7)$$

$$\delta(0) + \delta_r = \gamma \frac{Qm}{\operatorname{sh} mH} + \gamma_k \left(\frac{Qm}{\operatorname{sh} mH} \right)^{2,3} + \frac{1}{E_2 F_2} \frac{Q}{m \operatorname{sh} mH} (\operatorname{ch} mH - 1); \quad (8)$$

$$\lambda_2 = m \operatorname{cth} mH \left[\gamma + \frac{2}{3} \frac{\gamma_k}{(Qm \operatorname{cth} mH)^{1,3}} \right] \times \\ \times \left[1 + K \left(1 - \frac{2mH}{\operatorname{sh} 2mH} \right) \right]; \quad (9)$$

$$\lambda_1 = \frac{m}{\operatorname{sh} mH} \left[\gamma + \frac{2}{3} \gamma_k \left(\frac{\operatorname{sh} mH}{Qm} \right)^{1,3} \right] [1 + K(1 - mH \operatorname{cth} mH)] + \\ + \frac{1}{E_2 F_2} \left[\frac{\operatorname{cth} mH}{m} \left[1 - K \left(1 + \frac{2mH}{\operatorname{sh} 2mH} \right) \right] - \right. \\ \left. - \frac{1}{m \operatorname{sh} mH} [1 - K(1 + mH \operatorname{cth} mH)] \right]; \quad (10)$$

где

$$K = \frac{1}{9} \frac{1}{\frac{\gamma}{\gamma_k} \frac{Q^{1,3}}{H^{1,3}} + \frac{2}{3}}$$

Коэффициенты податливости λ_1 и λ_2 шариковой резьбы в отличие от обычной изменяются в зависимости от величины осевой силы, что связано с нелинейной зависимостью контактных деформаций от приложенной силы.

На рис. 3 показано изменение величин перемещений и коэффициентов λ_1 и λ_2 в зависимости от осевой силы, вычисленных по форму-

лам (7)–(10) для резьбы с параметрами: $\bar{r} = 0,027 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{кг}}$; $T_4 = 8,626 \cdot 10^{-4} \frac{\text{см}^{3/2}}{\text{кг}^{3/2}}$; $\gamma = 0,687 \cdot 10^{-4} \frac{\text{см}^2}{\text{кг}}$; $H = 7,2 \text{ см}$; $E_1 F_1 = 80,9 \times 10^6 \text{ кг}$ (см. пример расчета в [5]). Пунктирная кривая — зависимость перемещений шпнта относительно гайки и сечении H , вычисленная в

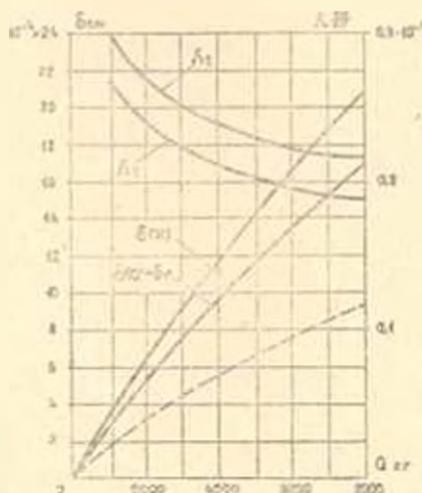


Рис. 3.

предположении равномерного распределения нагрузки и с учетом только контактных деформаций, т. е. по существующей методике расчета.

Предлагаемая методика расчета, как следует из рис. 3, существенно уточняет величину перемещений в шариковой резьбе.

МАДИ

Поступило 15.XII.1971.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Левит Г. А. Расчет передач шпнт-гайка качения (шариковых). „Станки и инструмент“, № 5, 1963.
2. Павлов В. И. Шариковинтовое механизмы в приборостроении. Изд. „Машиностроение“, Ленинград, 1968.
3. Куликов В. Б. Уточнения расчетов резьбовых соединений. „Вестник машиностроения“, № 7, 1957.
4. Старостин И. Г. Определение коэффициента податливости болта (шпнтки) с учетом деформаций резьбы. „Труды Куйбышевского авиационного института“, вып. 3, 1957.
5. Бирюк И. А., Арутюян Э. П. Распределение нагрузки по виткам шариковой резьбы. „Вестник машиностроения“, № 3, 1971.
6. Бейляльман Р. А., Цыплин Б. В. Подшипники качения (справочник). Машгиз, 1960.