Ув. студенты! Ознакомиться с лекционным материалом и ответить на контрольные вопросы письменно. Ответы на контрольные вопросы предоставить до **12.04** на электронный адрес преподавателя vika-lnr@mail.ru

Если возникнут вопросы обращаться по телефону 072-106-54-33

ЛЕКЦИЯ

Тема: Передача винт – гайка

Цель: изучение передач винт-гайка

План

1 Передача винт-гайка. Винтовая передача. Принцип работы, применение
2 КПД и передаточное число. Силовые соотношения в передаче винт-гайка
3 Материалы винтовой пары
4 Расчет передачи винт-гайка

Список использованных источников:

1 Гузенков П.Г. Детали машин. - Г.: Высшая школа, 1986
2 Олофинская В.П. Детали машин. Краткий курс и тестовые задания: учебное пособие.-2-е изд., исправленное. и дополненное- М.: ФОРУМ, 2008.- 208с.
3 Фролов М.И. Техническая механика. Детали машин. - М: Высшая школа, 1986

1 Передача винт-гайка. Винтовая передача. Принцип работы, применение

Передача винт - гайка (рисунок 25.1) служит для преобразования вращательного движения в поступательное, а иногда наоборот. При этом как винт *1*, так и гайка *2* могут иметь либо одно из названных движений, либо оба движения одновременно.

Достоинства передач винт - гайка: возможность получения медленного движения при большом выигрыше в силе, простота конструкции, способность воспринимать большие нагрузки, большая точность перемещений.

К *недостаткам* передачи следует отнести большое трение в резьбовой паре, обусловливающие повышенный износ и низкий к.п.д.

В зависимости от назначения винты передач делят на *ходовые* (винты металлорежущих станков) и *грузовые* (винты домкратов, прессов и т. п.).

В передачах винт - гайка обычно используют резьбу трапецеидального профиля, а при больших односторонних нагрузках - упорную. Прямоугольная резьба, трение в которой значительно меньше, чем в трапецеидальной, не находит широкого применения, так как обработка ее профиля технологически затруднена.

В винтовой передаче винт должен обладать не только достаточной прочностью, но и высокой износостойкостью. В связи с этим их изготавливают из конструкционных легированных сталей (сталь 45, 40Х, 50 и др.). Гайки обычно делают из антифрикционных материалов - оловянистых или безоловянистых бронз, а также антифрикционных чугунов.

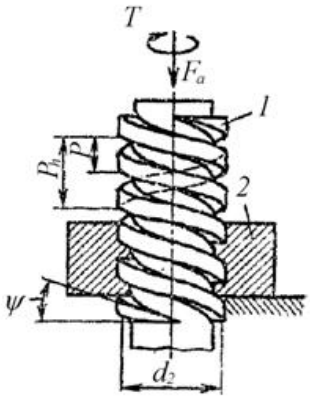

Рисунок 25.1 – Передача винт-гайка

Передаточное отношение. В рассматриваемых передачах винт или гайка приводится в движение с помощью маховичка, шестерни и др. Передаточное отношение для этих передач можно условно выразить соотношением

$$i = s_M / s_Г = \pi \cdot d_M / P_h , \qquad (1)$$

где s_M - окружное перемещение маховичка; $s_Г$ - перемещение гайки 2 (винта); d_M - диаметр маховичка; P_h - ход винта (гайки).

Связь между окружной силой F_t на маховичке и осевой силой F_a на гайке определяется зависимостью $F_t = F_a \cdot i \cdot \eta_p$, где $\eta_р$ - коэффициент полезного действия винтовой пары.

Передачи винт-гайка предназначены для преобразования вращательного движения в поступательное. Эти передачи нашли широкое применение в разных механизмах, а именно в домкратах, винтовых прессах, испытательных машинах, измерительных приборах и т.п..

Преимущества передач винт-гайка: простота конструкции, компактность, технологичность, плавность и бесшумность работы, большая нагрузочная способность и надежность и т.п.. Ведущим звеном, которое осуществляет вращательное движение, может быть как винт, так и гайка.

Недостатки этих передач: повышенная интенсивность срабатывания вследствие значительного трения в винтовой пары и низкий КПД передачи.

Работа передачи винт-гайка базируется на теории винтовой пары. Геометрической основой резьб является винтовая линия, которая образуется гипотенузой *AB* прямоугольного треугольника *ABC* при огибании его вокруг прямого кругового цилиндра (рисунок 25.2). При этом один из катетов *ACC* треугольника совпадает с плоскостью основы цилиндра и равняется длине круга основы izd_r Резьба — это поверхность, которая образуется перемещением некоторой плоской фигуры (треугольника, трапеции и т.п.) по винтовой линии (рисунок 25.3). Один оборот резьбы (винтовой линии) вокруг боковой поверхности цилиндра называется *витком,* который характеризуется шагом *P*. Различают левую и правую винтовые линии (левую и правую резьбы). Угол подъема резьбы γ равняется углу подъема винтовой линии на среднем цилиндре резьбы d_2 (рисунок 25.2). Контур сечения резьбы в плоскости, которая проходит через ось цилиндра (винта), называется профилем резьбы. Различают пять основных типов резьбы в зависимости от профиля (рисунок 25.4):

В зависимости от числа заходов винтовых линий различают однозаходные и многозаходные резьбы. Многозаходная резьба образуется при перемещении по параллельным равномерно размещенным по кругу винта винтовым линиям нескольких *(z)* профилей. Количество заходов резьбы определяют по количеству сбегающих витков на торце винта.

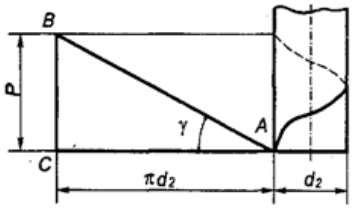

Рисунок 25.2. Схема образования винтовой линии

В этом случае общий шаг многозаходной резьбы $P_г$ определяют по зависимости $P_z = zP$.

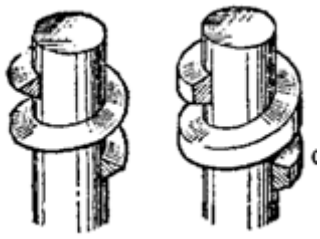

Рисунок 25.3 - Треугольная и трапецеидальные резьбы

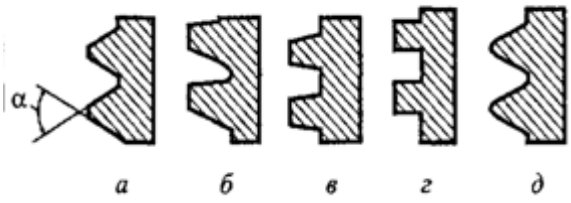

Рисунок 25.4 - Основные типы резьбы

В передачах винт-гайка преимущественно используют многозаходные резьбы.

Основные параметры резьбы рассмотрим на примере трапецеидальной резьбы (рисунок 25.5): d — внешний диаметр резьбы, d_l — внутренний диаметр, d_2 — средний диаметр, P — шаг резьбы, α — угол профиля, H_1 — рабочая высота профиля. Указанные геометрические параметры резьбы приведены в соответствующих стандартах.

В процессе расчетов передач винт-гайка очень часто используют такой параметр, как угол в подъеме винтовой линии на среднем диаметре резьбы d_2

$$\mathrm{tg}\gamma = \frac{P_z}{\pi d_2} = \frac{zP}{\pi d_2}. \qquad (2)$$

По назначению передачи винт-гайка разделяют на три вида: а) грузовые, которые используют для получения значительных осевых сил; б) ходовые, которые используют в разных механизмах для осуществления необходимых перемещений (подач); в) установочные, которые используют для точных перемещений и регулирования.

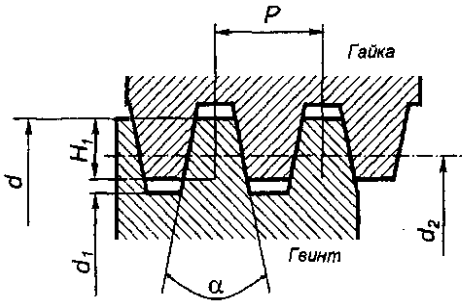

Рисунок. 25.5 - Геометрические параметры трапецеидальной резьбы

По виду трения передачи винт-гайка разделяют на: а) передачи с трением скольжения (например, рис. 25.6,а); б) передачи с трением качения (рисунок 25.6), которые позволяют компенсировать погрешности срабатывания, обеспечивают большие передаточные и высокий КПД

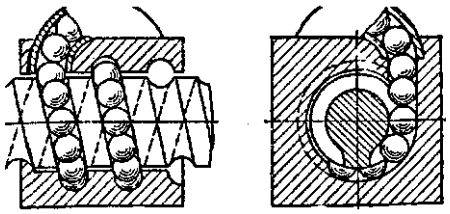

Рисунок 25.6 - Передача винт-гайка с трением качения (шарико-винтовая передача)

2 КПД и передаточное число. Силовые соотношения в передаче винт-гайка

Коэффициент ***полезного действия винтовой пары.*** Для определения КПД в процессе движения ползуна (гайки) вверх по плоскости, которая наклонена под углом γ, будем использовать соотношение работы сил полезного сопротивления к работе подвижных сил. Тогда

$$\eta = \frac{F_a \mathrm{tg}\gamma}{F_a \mathrm{tg}(\gamma + \rho')} = \frac{\mathrm{tg}\gamma}{\mathrm{tg}(\gamma + \rho')}. \qquad (3)$$

Эту зхависимость используют в процессе действия осевой нагрузки F_a противоположно к действию скорости поступательного движения. КПД передачи винт-гайка может колебаться в пределах 0,6...0,8. В случае использования самотормозной передачи $\eta < 0{,}5$.

Передаточное число передачи винт-гайка — это отношение длины кругового перемещения плеча рычага передачи длиной *D/2* (за один его оборот вокруг оси винта в процессе вращения) к перемещению гайки или винта за один оборот

$$u = \frac{\pi D}{P_z} = \frac{\pi D}{zP}. \qquad (4)$$

Силовые соотношения в передаче винт-гайка

Рассмотрим усилие, которые возникают в винтовой паре с прямоугольной резьбой. Считаем, что гайка нагружена осевой силой F_a и равномерно поворачивается под действием круговой силы F_f, которая приложенная по касательной к окружности среднего диаметра резьбы d_r При этом гайка перемещается вверх. Развернем виток резьбы на плоскость, которая размещена под углом γ (угол подъема винтовой линии на среднем диаметре резьбы), а всю гайку представим в виде ползуна (рис. 25.7).

В процессе равномерного перемещения вверх по плоскости, которая наклонена под углом γ, ползун находится в состоянии равновесия под действием системы сил F_a ,F_t,F_n и F_r , из которых

F_n — нормальная реакция на ползун от плоскости, по которой он перемещается,

а. $F_s = f F_n$ — сила трения. Равнодействующей от сил F_n и F_s является - сила *R.* Угол р между векторами сил F_n *и R* называется углом трения, т.е. tg р = *f,* где *f*— коэффициент трения.

Исходя из равновесия системы составим уравнение сил в проекциях на оси *X* и *Y*

$$\Sigma X = F_t - R\sin(\gamma + \rho) = 0, \tag{5}$$

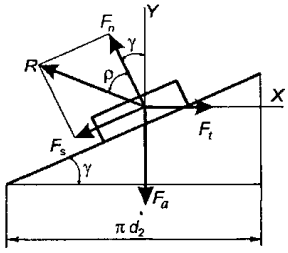

Рисунок 25.7- Силовые соотношения в передаче винт-гайка

откуда

$$F_t = R\sin(\gamma + \rho); \tag{6}$$

проекция сил на ось *Y*

$$\Sigma Y = -F_a + R\cos(\gamma + \rho) = 0, \tag{7}$$

откуда

$$F_a = R\cos(\gamma + \rho). \tag{8}$$

Значение круговой силы в зависимости от осевой нагрузки передачи винт-гайка силой F_{rt}

$$F_t = F_a \mathrm{tg}(\gamma + \rho). \tag{9}$$

Полученная зависимость может быть использована только для прямоугольной резьбы. Для треугольной и трапецеидальной резьб необходимо учесть их угол профиля α и в связи с этим соответственно измененное значение силы трения

$$F_s = fF_n = \frac{fF_a}{\cos(\alpha/2)} = f'F_a, \tag{10}$$

где f′ - приведенный коэффициент трения, которому соответствует приведенный угол трения

$$\rho' = \mathrm{arctg} f' = \mathrm{arctg}\left[\frac{f}{\cos(\alpha/2)}\right]. \quad (11)$$

Тогда круговую силу для треугольной и трапецеидальной резьб можно определить по зависимости

$$F_t = F_a \mathrm{tg}(\gamma + \rho'). \quad (12)$$

Для осуществления самоторможения в передаче винт-гайка необходимое условие $\gamma < \rho$ (для прямоугольной резьбы) или $\gamma < \rho$ (для треугольной и трапецеидальной резьб).

На основании зависимости определяют момент для преодоления силы трения в резьбе

$$T_s = 0{,}5 F_a d_2 \mathrm{tg}(\gamma + \rho'). \quad (13)$$

Кроме этого, в процессе завинчивания гайки возникает сила трения между ее опорным торцом и поверхностью детали, с которой она сопряжена. Тогда момент сил трения на опорной поверхности гайки будет

$$T_{so} = 0{,}5 f_0 F_a D_{cep}, \quad (14)$$

где f — коэффициент трения между торцом гайки и поверхностью сопряженной детали; D_{cp} — средний диаметр опорного торца гайки; D_{cp}— = $0{,}5(D_1 + d)$; D_1 — внешний диаметр опорного торца гайки; d_0 — диаметр отверстия под винт.

Суммарный вращающий момент, который надо приложить к винту (или гайке) для создания осевой силы F_a в процессе подъема груза

$$T = T_s + T_{so} = 0{,}5 F_a \left[f_o D_{cep} + d_2 \mathrm{tg}(\gamma + \rho')\right]. \quad (15)$$

Когда выполняется опускание груза, считается, что ползун опускается вниз по плоскости, которая наклонена под углом в (рис. 1). Тогда сила трения F направлена в направлении, которое противоположное изображенному на рис. 1. Движущей силой будет осевая сила F , а горизонтальная сила F_f — силой сопротивления. В этом случае момент сил трения в резьбе будет иметь вид

$$T_s = 0{,}5 F_a d_2 \mathrm{tg}(\rho' - \gamma), \quad (16)$$

т.е. при больших углах подъема винтовой линии на среднем диаметре резьбы ($\gamma > \rho'$) T_s будет отрицательным и передача станет несамотормозной. Такой вывод указывает на то, что при действии осевой силы на гайке будет вращаться винт.

3 Материалы винтовой пары

Винты передач винт-гайка изготовляют со сталей Ст5, 45, 50, 40Х, 40ХН или из сталей, которые содержат свинец 0,15...0,50% (А45, А50). Такие винты изготовляют без закалки. Кроме этого, винты изготовляют со сталей 65Г, 45Х, которые проходят операцию термической обработки (закалку).

Гайки для передач винт-гайка изготовляют в большинстве случаев из антифрикционного чугуна АЧВ-1, АЧС-3 и серого чугуна СЧ15, СЧ20. Эти материалы используют при незначительных скоростях и нагрузках. В случае скорости скольжения больше 6 м/с гайки изготовляют из оловянных бронз Бро10ФI, Бро6Ц6С3 и т.п..

4 Расчет передачи винт-гайка

Проектный расчет винтовых передач

Выход из строя винтовых передач с трением скольжения в основном связан с интенсивным изнашиванием витков резьбы. Так как скорость относительного скольжения в резьбе обычно в 10… 40 раз больше, чем скорость осевого перемещения. В связи с этим диаметр винта и высоту гайки определяют расчетом их на износостойкость.

При проектном расчете винтовых передач принимают, что все витки резьбы нагружены равномерно. Средний диаметр резьбы, мм

$$d_2 = \sqrt{\frac{F_a}{\pi \cdot \psi_H \psi_h [\sigma_{CM}]}}, \qquad (17)$$

где ψ_H - коэффициент высоты гайки: $\psi_H = H / d_2$; ψ_h - коэффициент высоты резьбы, $\psi_h = h / p$; $[\sigma_{см}]$ - допускаемое напряжение при смятии, МПа.

Полученное из расчета значение d_2 должно быть согласовано со стандартным его значением.

После определения диаметра d_2 его значения согласовывают со стандартом. Кроме этого, проверяют прочность витков гайки по ***напряжениям среза***

$$\tau_{зр} = \frac{F_a}{A_{зр}} = \frac{F_a}{\pi d k H} \le [\tau]_{зр}, \qquad (18)$$

где d — внешний диаметр резьбы; k — коэффициент полноты резьбы (k = 0,87 — для треугольной резьбы; k = 0,65 — для трапецеидальной; k = 0,5 — для прямоугольной); H — высота гайки, $H = \varepsilon_H d_2$; [τ] = 25...30 МПа — для гайки из бронзы и [τ] = = 45...50 МПа — для гайки из чугуна.

Расчет на прочность.

Расчет винта на прочность выполняют только при действии значительных осевых нагрузок.

Тело винта подвергается одновременному действию осевой силы F_a , растягивающей или сжимающей винт, и скручивающему моменту T_P . Для сильно нагруженных винтов выполняется *проверочный* расчет на прочность по эквивалентному напряжению.

$$\sigma_{ЭКВ} = \sqrt{\sigma_p^2 + 4 \cdot \tau_к^2} \le [\sigma_p], \tag{19}$$

$$\sigma_p = 4F_a / (\pi \cdot d_1^2), \ \tau_K = T_P / W_P = T_P / (0{,}2 \cdot d_1^3). \tag{20}$$

Длинные тяжелонагруженные винты обязательно проверяют на устойчивость.

Контрольные вопросы:

1 Каковы достоинства и недостатки передачи винт-гайка и где ее применяют?
2 Какие резьбы и почему применяют для передачи винт-гайка?
3 Из каких материалов изготовляют винты и гайки?
4 Что является основной причиной выхода из строя гаек и винтов передач?
5 От чего зависит диаметр резьбы в передаче?
6 Для чего используют передачу винт-гайка?
7 Каковы преимущества и недостатки передачи винт-гайка?
8 Какие усилия возникают в винтовой паре с прямоугольной резьбой?
9 По какой формуле можно определить усилие в паре с треугольной и трапецеидальной резьбой?
10 Каково условие самоторможения резьбы?
11 Как определить коэффициент полезного действия винтовой пары?
12 По каким напряжением проверяют винт на прочность?
13 Какие усилия возникают в винтовой паре с прямоугольной резьбой?
14 По каким напряжением проверяют винт на прочность?