

Червячные передачи

1. Общие сведения, устройство передачи

Червячная передача – механизм для передачи вращения между валами посредством винта – червяка 1 и сопряженного с ним червячного колеса 2.

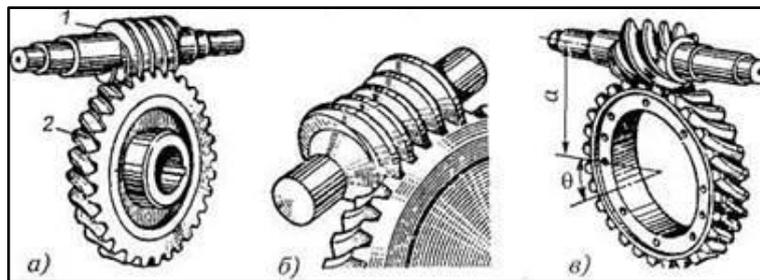


Рис. 1. Червячные передачи: 1 – червяк; 2 – червячное колесо

Геометрические оси валов скрещиваются под углом 90° .

Возможны и другие углы, отличные от 90° , но такие передачи встречаются редко.

Ведущим элементом обычно является червяк – винт с трапецидальной резьбой, ведомым – червячное колесо с зубьями особой формы, получаемыми в результате взаимного огибания с витками червяка.

При вращении червяка вокруг своей оси его витки перемещаются вдоль образующей своей цилиндрической поверхности и приводит во вращательное движение червячное колесо.

Червячные передачи относят к передачам зацеплением. Червячная передача – это зубчато-винтовая передача, движение в которой осуществляют по принципу винтовой пары, которой, при-суще повышенное скольжение.

Направление витков червяка и зубьев колеса одинаковое.

Ведущим является червяк. Вращение определяется по типу завинчивания винта и гайки. При этом направление вращения колеса зависит от расположения червяка (верхний, нижний).

2. Классификация червячных передач

2.1. Различают два вида червячных передач:

- цилиндрические (с цилиндрическими червяками, рис. 1, а, в);
- глобоидные (с глобоидными червяками, рис.1, б).

Червячную передачу, у червяка и колеса которой делительные и начальные поверхности цилиндрические, называют цилиндрической червячной передачей.

Червячную передачу, показанную на рис. 2, называют глобоидной.

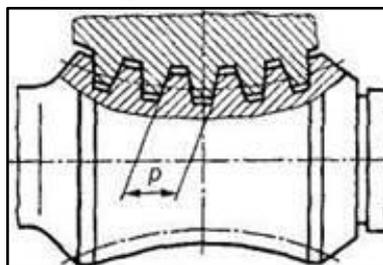


Рис. 2. Глобоидная червячная передача

Витки ее червяка расположены на глобоидной (торовой) поверхности. Эта передача имеет повышенную нагрузочную способность (в 1,5-2 раза больше, чем у обычных червячных передач), так как линия контакта в глобоидных передачах располагается благоприятно, что улучшает условия для образования масляных клиньев, и в зацеплении находится большее число зубьев колеса и витков червяка.

2.2. В зависимости от направления линии витка червяка червячные передачи бывают:

- с правым (предпочтительнее для применения);
- левым направлением линии витка.

2.3. В зависимости от расположения червяка относительно колеса передачи бывают

- с нижним, верхним;
- боковым червяками (рис.3).

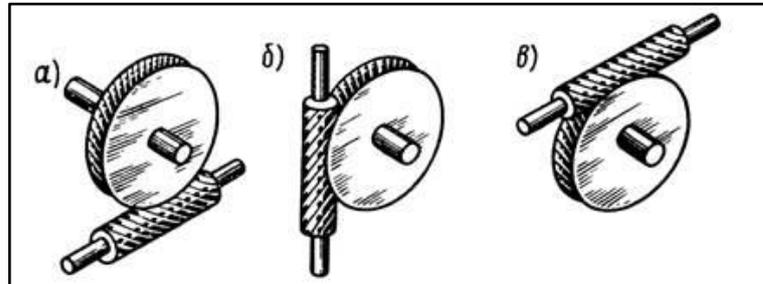


Рис.3. Расположение червяка относительно колеса:

а – верхнее, б – боковое, в – нижнее

2.4. По пространственному положению вала колеса:

- с горизонтальным валом червячного колеса;
- с вертикальным валом червячного колеса.

2.5. В зависимости от способов нарезания винтовой поверхности червяка различают

- линейчатые (винтовые поверхности могут быть образованы прямой линией);
- нелинейчатые червяки.

Нарезание линейчатых червяков осуществляют прямолинейной кромкой резца на токарно-винторезных станках:

- архимедов (его обозначают ZА);
- конволютный (ZN);
- эвольвентный червяки (ZI).

Нелинейчатые червяки нарезают дисковыми фрезами конусной (червяки ZК) или тороидальной (червяки ZТ) формы. Витки нелинейчатых червяков во всех сечениях имеют криволинейный профиль: в нормальном к витку сечении выпуклый, в осевом сечении - вогнутый.

Зубья на червячном колесе чаще всего нарезают червячной фрезой, которая представляет собой копию червяка, с которым будет зацепляться червячное колесо. При нарезании заготовка колеса и фреза совершают такое же взаимное движение, какое имеют червяк и червячное колесо при работе.

Форма боковой поверхности червяка мало влияет на работоспособность червячной передачи и, связана с выбранной технологией изготовления червяка (рис. 4).

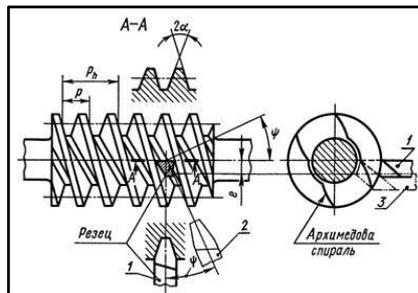


Рис. 4. Установка резца при нарезании архимедовых (1), конволютных (2) и эвольвентных (3) червяков

2.5.1. По направлению линии витка червяка:

- правые (при наблюдении с торца червяка и его вращении по часовой стрелке червяк вкручивается в пространство – уходит от наблюдателя);
- левые (при наблюдении с торца червяка и его вращении по часовой стрелке червяк выкручивается из пространства – идёт на наблюдателя).

2.5.2. По числу заходов червяка делат:

- с однозаходным червяком, имеющим один гребень, расположенный по винтовой линии, наложенной на делительный цилиндр червяка;
- с двух-, трёх-, четырёх-, многозаходным червяком, имеющим соответственно 2, 3, 4 или более одинаковых гребней, расположенных по винтовой линии, наложенной на делительный цилиндр червяка;

Наиболее распространено правое направление с числом витков червяка z_1 , зависящим от передаточного числа u ; z_1 выбирают так, чтобы обеспечить число зубьев колеса z_2 : $z_{1u} > z_{2\min}$.

Однозаходный червяк даёт наибольшее передаточное отношение. Но с увеличением числа заходов (витков) червяка угол подъема винтовой линии возрастает, что повышает КПД передачи, что связано с уменьшением трения за счёт роста угла трения. Поэтому однозаходные (одновитковые) червяки не всегда рекомендуется применять.

По степени точности изготовления червячные передачи имеют 12 степеней точности.

2.6. По назначению червячные передачи:

- силовые с нерегулируемым взаимным расположением червяка и колеса.
- кинематические с регулируемым взаимным расположением червяка и колеса.

В большинстве случаев червяки изготавливают за одно целое с валом, реже - отдельно от вала, а затем закрепляют на нем.

3. Материалы червячной передачи

Материалы в червячной передаче должны составлять антифрикционную пару и иметь в сочетании низкий коэффициент трения, обладать повышенной износостойкостью и пониженной склонностью к заеданию в условиях больших скоростей скольжения при значительных нормальных силах между контактирующими поверхностями.

Обычно это разнородные материалы. Выбор материала для изготовления червяка и червячного колеса определяется скоростью скольжения зубьев и витков.

Червяки при работе испытывают большие напряжения изгиба и кручения, а также напряжения растяжения (сжатия). Вследствие этого, а также из-за высоких требований к жесткости их обычно изготавливают из углеродистых или легированных сталей.

Для изготовления червяков применяют все три типа сталей, распространенных в машиностроении:

1. Качественные среднеуглеродистые стали марок 40, 45, 50.
2. Среднеуглеродистые легированные стали марок 40X, 45X, 40XH, 40XHMA, 35XГСА.
3. Мало- и среднеуглеродистые легированные стали марок 20X, 12ХН3А, 25ХГТ, 38ХМЮА.

В связи с тем, что для изготовления венцов червячных колес используют дефицитный цветной металл, лишь колеса малых диаметров (до 100 мм) изготавливают цельными.

Материалы венцов червячных колес по мере убывания антизадирных и антифрикционных свойств и рекомендуемым для применения скоростям скольжения можно условно свести к трем группам.

Группа I. Оловянные бронзы (марок БрО10Ф1, БрО10Н1Ф1 и др.), применяют при высоких скоростях скольжения ($v_s = 5...25$ м/с). Обладают хорошими антизадириными свойствами, но имеют невысокую прочность.

Группа II. Безоловянные бронзы и латуни применяют при средних скоростях скольжения (v_s до 3...5 м/с) и закрытых передачах.

Группа III. Серые чугуны СЧ15, СЧ20 или ковкие чугуны КЧ15, КЧ20 применяют при малых скоростях скольжения ($v_s < 2...3$ м/с) и в открытых передачах.

При выборе материала колеса предварительно определяют ожидаемую скорость v_s скольжения, м/с:

$$v_s = 0,45 \cdot 10^{-3} \cdot n_1^3 \sqrt{T_2} \quad (1)$$

где v_s – скорость скольжения, м/с; n_1 – частота вращения червяка, мин⁻¹; T_2 – вращающий момент на червячном колесе, Н·м.

После этого определяют циклическую долговечность передачи

$$N_H = N_F = N_\Sigma = 60 \cdot n_2 \cdot L_h \quad (2)$$

где n_2 – частота вращения червячного колеса, мин⁻¹, L_h – ресурс работы передачи, час (например, при 300 рабочих днях в году и односменной восьмичасовой работе годовой ресурс составит $300 \times 8 = 2400$ часов).

Конструктивные элементы червячной передачи: в большинстве случаев червяк изготавливают как одно целое с валом, с целью экономии бронзы зубчатый венец червячного колеса изготавливают отдельно от чугунного или стального центра.

4. Достоинства и недостатки червячных передач

4.1. Достоинства червячных передач:

– возможность осуществления передачи (одноступенчатой) с большими передаточными числами: в кинематических передачах $i = 500$ и более, а в силовых передачах $i = 8...80$, в виде исключения до 120;

– плавность и бесшумность работы;

– возможность выполнения самотормозящей передачи (ручные грузоподъемные тали) (у такой передачи КПД меньше 50%);

– демпфирующие свойства снижают уровень вибрации машин;

– возможность получения точных и малых перемещений;

– компактность и сравнительно небольшая масса конструкции передачи.

4.2. Недостатки червячных передач:

– в отличие от эвольвентных зацеплений, где преобладает контактное качение, виток червяка скользит по зубу колеса, следовательно, червячные передачи один фундаментальный недостаток: высокое трение в зацеплении;

– сравнительно невысокий КПД (0,7 – 0,92), в самотормозящих передачах – до 0,5 вследствие больших потерь мощности на трение в зацеплении;

– сильный нагрев передачи при длительной работе вследствие потерь мощности на трение, который вызывает значительное выделение тепла, которое необходимо отводить от стенок корпуса;

– необходимость применения для колеса дорогих антифрикционных материалов (бронзы) и инструмента для нарезания зубьев червячных колес (червячные фрезы), а также шлифовки червяка;

- повышенное изнашивание и заедание;
- необходимость регулировки зацепления.

Кроме того, помимо достоинств и недостатков, червячные передачи имеют важное свойство: движение передаётся только от червяка к колесу, а не наоборот. Никакой вращающий момент, приложенный к колесу, не заставит вращаться червяк.

Именно поэтому червячные передачи находят применение в подъёмных механизмах, например в лифтах. Там электродвигатель соединён с червяком, а трос пассажирской кабины намотан на вал червячного колеса во избежание самопроизвольного опускания или падения.

Червячные передачи применяют в механизмах деления и подачи зуборезных станков, продольно-фрезерных станков, глубоко расточных станков, грузоподъемных и тяговых лебедках, таллях, механизмах подъема грузов, стрел и поворота автомобильных и железнодорожных кранов, экскаваторах, лифтах, троллейбусах и других машинах.

Червячные передачи во избежание их перегрева предпочтительно использовать в приводах периодического, а не непрерывного действия.

5. Передаточное число червячной передачи

В осевом сечении витки червяка представляют собой рейку.

За один оборот червяк смещает колесо на величину хода нарезки p_z .

Окружная скорость на начальной (делительной) окружности червячного колеса равна линейной скорости v_1 движения витков червяка в осевом направлении.

Поэтому за каждый оборот червяка червячное колесо поворачивается на число зубьев, равное числу витков червяка, т.е. $v_1 = p_1 \pi t z_1$ и $v_2 = p_2 \pi t z_2$. При $v_1 = v_2$ получаем $n_1 z_1 = n_2 z_2$ или $\omega_1 z_1 = \omega_2 z_2$.

Тогда передаточное число червячной передачи

$$u = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{Z_2}{Z_1}$$

где n_1 – частота вращения червяка (об/мин),

n_2 – частота вращения червячного колеса (об/мин),

Z_2 – число зубьев колеса червячной передачи,

Z_1 – число заходов червяка,

ω_1 – угловая скорость червяка (рад/с),

ω_2 – угловая скорость червячного колеса (рад/с).

Передаточное число червячной передачи равно отношению числа зубьев червячного колеса к числу заходов червяка, т.е. за каждый оборот червяка колесо поворачивается на число зубьев, равное числу заходов червяка. Таким образом, передаточное число не зависит от соотношения диаметров.

По ГОСТ 2144-76 (передачи червячные цилиндрические) предусмотрено два ряда передаточных чисел и в пределах 8-80, осуществляемых при $z_1 = 1, 2$ или 4 (червяки с $z_1 = 3$ в ГОСТ не включены) и $z_2 = 30 \div 80$:

1-й ряд: 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80:

2-й ряд: 9; 11,2; 14; 18; 22,4; 28; 35,5; 45; 56; 71.

Первый ряд следует предпочитать второму. Отклонение фактического и от стандартного допускаются не более 4%. Для получения больших и применяют двухступенчатые передачи.

Число витков (заходов) червяка определяется количеством винтовых линий (витков) нарезки, идущих друг от друга на расстоянии шага и имеющих свое начало на торцах нарезанной части червяка. Направление витков может быть правым или левым.

Число заходов червяка выбирается в зависимости от передаточного числа. Обычно $z_1 = 1$; $z_1 = 2$; $z_1 = 4$. Более 4-х заходов изготовить червяк сложно. ГОСТ установил: $z_1 = 1$; 2; 4. Применение однозаходных червяков без крайней необходимости не рекомендуется. Рекомендуют назначать: $z_1 = 4$ при $u = 8 \div 15$; $z_1 = 2$ при $u = 15 \div 30$ и $z_1 = 1$ при $u > 30$.

Во избежание подреза ножки зуба при нарезании число зубьев z_2 принимают больше 28; максимально 80. Оптимальным является $z_2 = 32 \dots 71$.

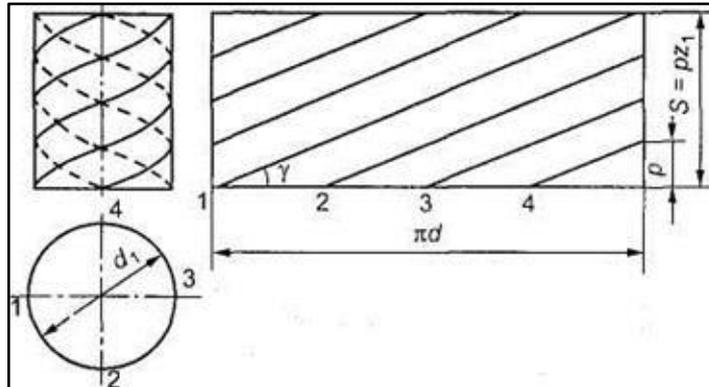


Рис.5. Схема образования винтовой линии червяка

6. Силы, действующие в червячном зацеплении

В червячной передаче сила F_n , действующая со стороны червяка, воспринимается, как правило, не одним, а несколькими зубьями. Однако, также как и в зубчатых передачах, при выполнении расчетов эту силу принято располагать в полюсе зацепления (рис. 6, а). Эту силу не трудно разложить по правилу параллелограмма на три взаимно перпендикулярных составляющих F_{t1} , F_{r1} и F_{a1} . Далее, согласно третьему закону Ньютона, устанавливаем, что (рис. 6, б) $F_{t2} = F_{a1}$, $F_{a2} = F_{t1}$ и $F_{r2} = F_{r1}$.

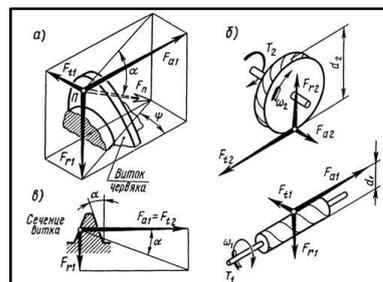


Рис.6. Силы, действующие в червячном зацеплении

7. Основные критерии работоспособности червячных передач и расчет их на прочность

В червячной передаче имеет место молекулярно-механическое изнашивание. При больших контактных напряжениях или удельных давлениях происходит разрушение защитных плёнок и пластическое деформирование, в результате силы молекулярного сцепления приводят к схватыванию.

Процесс возникновения и развития повреждений поверхностей трения вследствие схватывания в технике называется заеданием.

Ускоренное повышение температуры во время схватывания прямо пропорционально скорости скольжения, коэффициенту трения, контактному напряжению, а также обратно пропорционально суммарной скорости контактирующих точек относительно зоны контакта и приведённому радиусу кривизны.

7.1. Работоспособность червячной передачи ограничивается:

- 1) стойкостью рабочих поверхностей зубьев;
- 2) изгибной прочностью зубьев;

- 3) предельной допустимой температурой масла или корпуса;
- 4) прочностью и жесткостью червяка.

В червячной паре менее прочным элементом является зуб колеса, для которого возможны все виды разрушений и повреждений, встречающиеся в зубчатых передачах.

8. Виды разрушений зубьев:

– Заедание; особо опасно при колесах из твердых безоловянистых бронз и чугуна. Слабой формой заедания является намазывание витков червяка бронзой (сечение зуба постепенно уменьшается, но передача продолжает работать еще длительное время), а опасной формой – задир контактирующихся поверхностей в виде борозд параллельно скорости скольжения с последующим катастрофическим изнашиванием и повреждением зубьев колеса частицами, приварившимися к виткам червяка. Этот вид разрушения зубьев встречается наиболее часто в передачах с колесами из безоловянных бронз (алюминиевых) и серых чугунов. Для предупреждения заедания рекомендуют тщательно обрабатывать поверхности витков и зубьев, применять материалы с высокими антифрикционными свойствами, применять масла с противоизносными и противозадирными присадками (И-Г-С-220, И-Т-С-320, И-Т-Д-100).

– Усталостное выкрашивание; в передачах с колесами из оловянных бронз (мягкие материалы) наиболее опасно усталостное выкрашивание рабочих поверхностей зубьев колеса.

– Изнашивание зубьев; происходит по той же причине, что и заедание, а также при ухудшении условий смазывания (загрязнении смазочного материала), точности монтажа, длительной работе с частыми пусками и остановками передачи, а также от значений контактных напряжений;

– Изломы зубьев колеса; наблюдаются после их изнашивания, чаще при наличии динамических нагрузок.

Наиболее часто наблюдается изнашивание и заедание, однако, достоверных методов расчета этих явлений до сих пор нет, поэтому расчеты производят на усталостное выкрашивание и изломы зубьев колеса по напряжениям изгиба и контактными напряжениям.

8.1. К эксплуатационным требованиям червячной пары можно отнести:

показатели надёжности, износостойкости, сопротивление усталости, контактную жёсткость, виброустойчивость, коррозионную стойкость и прочность сцепления покрытий.

9. КПД червячной передачи

КПД закрытой червячной передачи должен учитывать потери в зацеплении и подшипниках, а также потери на разбрызгивание, перемешивание масла.

Роль смазывания в червячной передаче еще важнее, чем в зубчатой, так как в зацеплении происходит скольжение витков червяка вдоль контактных линий зубьев червячного колеса. В случае несовершенства смазывания резко возрастают потери, возможно повреждение зубьев.

Червячная передача является зубчато-винтовой и имеет потери, свойственные как зубчатой передаче, так и передаче винт-гайка.

9.1. Для увеличения КПД передачи:

1) червяк должен иметь твердую, очень чисто обработанную поверхность зубьев (желательна полировка). Материалом для червяков служат высокоуглеродистые – калимые или малоуглеродистые цементированные стали, например, Ст.У-7, У-8, Ст.50 или Ст.20Х, Ст.18ХГТ, Ст.20ХНЗА;

2) венец червячного колеса должен быть изготовлен из антифрикционного материала – бронзы;

3) смазка должна быть обильной в закрытом пыленепроницаемом корпусе.