# *14.04. Червячные передачи.*

## *Общие сведения, устройство передачи*

*Червячная передача (или зубчато-винтовая передача)* (рис. 1) — механизм для передачи вращения ме­жду валами посредством винта (червяка 1) и сопряженного с ним червячного колеса 2. Червяк и червячное колесо, образуют совместно высшую зубчато-винтовую кинематическую пару, а с третьим, неподвижным звеном, низшие вращательные кинематические пары. Отсюда следует, что червячная передача обладает свойствами как зубчатой (червячное колесо на своем ободе несет зубчатый венец), так и винтовой (червяк имеет форму винта) передач. На рис.1.1 показан привод от электродвигателя 3, соединенного муфтой 2 с ведущим валом червячного редуктора.



**Рис. 1. Червячные передачи:** ***1*** **— червяк;** ***2—*****червячное колесо**



**Рис.1.1. Привод червячного редуктора**

Геометрические оси валов при этом скрещиваются под углом 90°. Возможны и другие углы, отличные от 90°, но такие передачи встречаются редко. Веду­щим элементом здесь обычно является червяк (как правило, это винт с трапецеидальной 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. Для увеличения длины контактных линий в зацеплении с червяком зубья червячного колеса имеют дугообразную форму.

Червячные передачи относят к передачам зацеплением. Червячная передача — это зубча­то-винтовая передача, движение в ко­торой осуществляют по принципу вин­товой пары, которой, как известно, присуще 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).

## *Классификация червячных передач*

Различают два вида червячных передач: цилиндрические (с цилиндри­ческими червяками, см. рис. 1, *а, в);*глобоидные (с глобоидными червя­ками, см. 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**

Витки ее червяка расположены на глобоидной (торовой) поверхности. Эта передача появилась сравнительно недавно, 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.

Глобоидные передачи требуют повышенной точности изготовления и монтажа, искусственного охлаждения. Эти передачи применяют реже, чем цилиндрические.

В зависимости от направления линии витка червяка червячные пе­редачи бывают с правым (предпочтительнее для применения) и левым направлением линии витка.

В зависимости от расположения червяка относительно колеса передачи бывают с ***нижним, верхним и боковым червя­ками*** (рис.2.1). Расположение червяка определяет общая компоновка изделия и принятый способ смазывания зацепления. При картерном способе сма­зывания и окружной скорости червяка *v*1<5 м/с обычно применяют нижнее расположение червяка. При больших скоростях во избежание повышенных потерь на перемешивание и разбрызгивание масла приме­няют верхнее расположение червяка.



**Рис.2.1. Расположение червяка относительно колеса:** ***а*** **– верхнее,** ***б*** **– боковое,** ***в*** **- нижнее**

По пространственному положению вала колеса:

- ***с горизонтальным валом*** червячного колеса;

- ***с вертикальным валом*** червячного колеса.

В зависимости от способов нарезания винтовой поверхности червяка различают ***линейчатые*** (*винтовые поверхности могут быть образованы прямой линией*) и ***нелинейчатые******червяки****.*

Нарезание линейчатых червяков осуществляют прямолинейной кромкой резца на токарно-винторезных станках.Это **архимедов** (его обозначают *ZA*), **конволютный** (*ZN*) и **эвольвентный** **червяки** (*ZI*).

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

- Архимедов червяк (ZA) (рис. 3, *а)*— образуется при нарезании его витков резцом, вершина которого установлена по оси заготовки. В поперечном сечении такого червяка получим Архимедову спираль. В сечении осевой плоскостью – прямые образующие боковых сторон профиля витка (трапецеидальный профиль в осевом сечении). Боковая поверхность витков такого червяка представляет собой Архимедову винтовую поверхность. Архимедовы червяки широко распространены, т.к. наиболее просты в изготовлении и обеспечивают достаточно высокую точность червячной передачи.

- Эвольвентный червяк (ZI) (рис. 3, *6);*можно рассматривать как косозубое цилиндрическое колесо с очень большим углом наклона зуба к образующей цилиндра и с малым числом зубьев. Профиль витков - зубьев очерчен эвольвентой.



*а)                                                                            б)*

**Рис. 3. Конструкции цилиндрических червяков:** ***а*****—** **архимедов;** ***б*****—** **эвольвентный**



**Рис. 4. Основные разновидности червяков и принцип образования профиля:**

***а*****—** **архимедов;** ***б*****—** **конволютный;** ***в —*****эвольвентный**

- Конволютный червяк (ZN1 или ZN2) - образуется при нарезании его витков резцом, главная режущая кромка которого устанавливается перпендикулярно направлению впадины или витков червяка (рис.4, б).Это удобно при массовом производстве червяков, так как позволяет производить одновременную шлифовку  двух сторон профиля зубьев. В поперечном сечении червяка получим конволюту (удлиненная, или укороченная эвольвента), а в сечении плоскостью, номинальной к направлению впадины или витков – прямые линии, которые являются образующими боковых сторон профиля витков в этом сечении. Боковая поверхность витков такого червяка – представляет собой конволютную винтовую поверхность.

Нелинейчатые цилиндрические червяки, образо­ванные конусом и шлифуемые конусными кругами:

ZK – червяк, у которого главная поверхность витка является огибающей производящего конуса при его винтовом движении относительно червяка с осью винтового движения, совпадающей с осью червяка.

ZK1 червяк, ось которого скрещивается с осью производящего конуса под углом, равным делительному углу подъёма линии витка червяка.

ZK2 червяк, образованный производящим конусом, выполненным в виде пальцевого инструмента, где ось червяка пересекается с осью производящего конуса под прямым углом.

ZK3 червяк, образованный производящим конусом, выполненным в виде чашечного инструмента, где ось червяка пересекается с осью производящего конуса под прямым углом.

ZK4 червяк, образованный производящим конусом, выполненным в виде кольцевого инструмента, где ось червяка пересекается с осью производящего конуса под углом, равным делительному углу подъёма линии  витка червяка.

В машиностроении из цилиндрических червяков наиболее распростра­нены *архимедовы*червяки, как наиболее близкий к обычному винту с трапецеидальной резьбой. Их можно нарезать на обычных токарных или резьбофрезерных станках. Однако шлифование его витков затруднено, что снижает точность изготовления и нагрузочную способность червячной передачи. Поэтому их используют при твердости материала червяка не превышающей 350 HB. Эвольвентные червяки можно шлифовать, что повышает точность изготовления, обеспечивает более полный контакт витков червяка с зубьями колеса, более высокую нагрузочную способность передачи. Но для изготовления эвольвентных червяков требуются специальные шлифовальные станки. Эвольвентные червяки применяются сравнительно редко при необходимости высокой твёрдости (*HRС*>45) и малой шероховатости поверхности. Конволютные червяки шлифуют плоским торцом шлифовального круга на обычных резьбошлифовальных станках. Конволютные червяки обладают некоторыми технологическими преимуществами перед архимедовыми. При точении резьбы двусторонним резцом и при нарезании зубьев колеса летучим резцом по обеим боковым граням получаются одинаковые углы резания.

Глобоидные червяки появились сравнительно недавно и вследствие повышенной нагрузочной способности получают все большее распространение, но в изготовлении и монтаже значительно сложнее и сильно нагреваются. Поэтому по-прежнему преимущественное распространение имеют цилиндрические червяки с прямолинейным профилем в осевом сечении.

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, в основном, связана с выбранной технологией изготовления червяка (рис. 4.1).



**Рис. 4.1. Установка резца при нарезании архимедовых (1),** **конволютных** **(2) и** **эвольвентных** **(3) червяков.**

Если резец, имеющий в сечении форму трапеции, установить на станке так, чтобы верхняя плоскость резца А-А проходила через ось червяка (положение 1 на рис. 4.1), то при нарезании получится винтовая поверхность, которая в сечении, перпендикулярном оси червяка, даст кривую — архимедову спираль. Червяк с такой винтовой поверхностью называют архимедовым. Архимедов червяк в осевом сечении имеетпрямолинейный профиль витка, аналогичный инструментальной рейке. Угол между боковыми  сторонами профиля витка у стандартных червяков 2α = 40°.

Если тот же резец повернуть на угол подъема винтовой линии червяка ψ (положение 2 на рис. 4.1) так, чтобы верхняя плоскость резца А-А была перпендикулярна винтовой линии, то при нарезании получится винтовая поверхность, которая в сечении, перпендикулярном оси червяка, даст кривую — конволюту, а червяк соответственно будет называться конволютным.

Если резец установить так, чтобы верхняя плоскость резца А-А (положение 3 на рис. 4.1), смещенная на некоторую величину е, была параллельна оси червяка, то при нарезании получится винтовая поверхность, которая в сечении, перпендикулярном оси червяка, даст кривую - эвольвенту окружности, а червяк будет называться эвольвентным. Эвольвентный червяк представляет собой цилиндрическое косозубое колесо с эвольвентным профилем и с числом зубьев, равным числу витков червяка.

Практика показала, что при одинаковом качестве изготовления форма профиля нарезки червяка мало влияет на работоспособность передачи. Выбор профиля нарезки червяка зависит от способа изготовления и связан также с формой инструмента для нарезания червячного колеса.

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);

По числу заходов червяка делят:

- ***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 z1, зависящим от передаточного чис­ла u; z1 выбирают так, чтобы обеспечить число зубьев колеса z2:  z1u>z2min.

Очевидно, что однозаходный червяк даёт наибольшее передаточное отношение. Однако, 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.**

По назначению:

- ***силовые***с нерегулируемым взаимным расположением червяка и колеса.

- ***кинематические*** с регулируемым взаимным расположением червяка и колеса.

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

*Червячное колесо 2*(см. рис. 1, а) *в отличие от косозубых зубча­тых колес имеет вогнутую форму зуба, способствующую облеганию витков червяка.*

Направление и угол подъема зубьев червячного колеса соответствуют направлению и углу подъема витков червяка.

Червячные колеса нарезают червячными фрезами и в редких случаях резцами, укрепленными на вращающейся оправке (летучими резцами).

Червячные колеса изготовляют цельными (см. рис. 1, *а, б)*или сбор­ными (на рис. 1, *в*показан венец червячного колеса). Минимальное чис­ло зубьев колеса z2min определяют из условия отсутствия подрезания и обес­печения достаточной поверхности зацепления. Для силовых передач реко­мендуется принимать z2min=28, во вспомогательных кинематических передачах z2min=1718. Максимальное число зубьев не ограничено, но в силовых передачах чаще принимают 50—60 (до 80). В кинематических пе­редачах *z2*может доходить до 600—1000.

*Червячные передачи, как и зубчатые, могут быть корригированными.*

Корригирование червячных передач осуществляется так же, как и зуб­чатых, т. е. радиальным смещением инструмента относительно оси заго­товки при нарезании.

Корригирование передачи осуществляют только за счет колеса. Корри­гированные колеса нарезают на тех же станках и тем же инструментом, что и некорригированные. Корригирование в основном применяют для вписы­вания передачи в заданное межосевое расстояние.

В машиностроении преимущественно применяют некорригированные червячные передачи.

## *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, в основном, 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 изготовляют из углеродистых или легированных сталей.

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

1. Качественные среднеуглеродистые стали марок 40, 45, 50. Из них изготавливают малоответственные червяки. Заготовку перед механической обработкой подвергают улучшающей термической обработке (HRCэ≤36). Червяк точат на токарном станке с последующей ручной или механической шлифовкой и полировкой рабочих поверхностей витков.

2. Среднеуглеродистые легированные стали марок 40Х, 45Х, 40ХН, 40ХНМА, 35ХГСА. Из этих сталей изготавливают червяки ответственных передач. Улучшающей термообработке (HRCэ≤ 45) подвергают деталь после предварительной обработки на токарном станке. После термообработки рабочие поверхности витков шлифуют на специальных червячно-шлифовальных станках или на токарном станке с применением специальной шлифовальной головки.

3. Мало- и среднеуглеродистые легированные стали марок 20Х, 12ХН3А, 25ХГТ, 38ХМЮА. Из этих сталей изготавливают червяки высоконагруженных передач, работающие в реверсивном режиме. Деталь, изготовленная с минимальным припуском под окончательную обработку, подвергается поверхностной химико-термической обработке (цементация, азотирование и т.п.) глубиной до 0,8 мм, после чего закаливается до высокой поверхностной твердости (HRCэ 55…65). Рабочая поверхность витков червяка шлифуется и полируется (иногда шевингуется).

Для получения высоких качественных показателей передачи применяют закалку до твердости  HRCЭ, шлифование и полирование витков червяка. Это обеспечивает наибольшую стойкость зубьев червячных колес против изнашивания и усталостного разрушения, а также способствует повышению КПД передачи.

В старых редукторах нашли применение эвольвентные червяки типа *ZI*, а перспективными  являются нелинейчатые: образованные конусом типа *ZK* или тором типа *ZT* (по изобретению проф. Г. Ниманна). Рабочие поверхности витков нелинейчатых червяков шлифуют с высокой точностью конусным или тороидным кругом. Передачи с нелинейчатыми червяками характиризует повышенная нагрузочная способность.

Термообработку – улучшение применяют для передачи малой мощности до 1,1 кВт. После термообработки рабочие поверхности червяка шлифуют и полируют.

Таким образом, для силовых передач следует применять эвольвентные нелинейчатые червяки.

В связи с тем, что для изготовления венцов червячных колес используют дефицитный цветной металл, лишь колеса малых диаметров (до 100 мм) изготовляют цельными. Колеса большого диаметра – преимущественно бандажированные(с венцом). Червяки бандажированными делают очень редко.

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 антизадирными 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. Чаще других применяют алюминиевую бронзу марки БрА9ЖЗЛ. Эта бронза имеет высокую механическую прочность, но обладает пониженными антизадирными свойствами, поэтому ее применяют в паре с закаленными (Н > 45 HRCэ) шлифованными и полированными червяками.

**Группа Ш.** Серые чугуны СЧ15, СЧ20 или ковкие чугуны КЧ15, КЧ20 применяют при малых скоростях скольжения (*v*s < 2...3 м/с) и в открытых передачах. Чугунный венец может отливаться за одно целое с ободом червячного колеса при отливке последнего.

Бронзовые венцы червячных колёс обычно изготавливают отливкой в землю, в кокиль (металлическую форму) или центробежным литьём. При этом отливки, полученные центробежным литьём, имеют наилучшие прочностные характеристики.

Заготовка для зубчатого венца может быть отлита непосредственно на ободе червячного колеса, либо отливаться в виде отдельной детали, тогда венец выполняется насадным с закреплением его как от возможности проворота, так и от продольного смещения с помощью болтов и заклепок.

## *Конструктивные элементы червячной передачи*

В большинстве случаев червяк изготовляют как одно целое с валом. При конструировании червяка желательно иметь свободный выход инструмента при нарезании и шлифовании витков (шероховатость рабочих поверхностей витков *Rа* < 0,63 мкм).

С целью экономии бронзы зубчатый венец червячного колеса изготовляют отдельно от чугунного или стального центра. В зависимости от способа соединения венца с центром различают следующие конструкции червячных колес:

1. С напрессованным венцом — бронзовый венец насажен на стальной центр с натягом. Такую конструкцию применяют при небольших диаметрах колес в мелкосерийном производстве.

2. С привернутым венцом — бронзовый венец с фланцем крепят болтами к центру. Фланец выполняют симметрично относительно венца для уменьшения деформаций зубьев. Эту конструкцию применяют при больших диаметрах колес (  мм).

3. С венцом, отлитым на стальном центре — стальной центр вставляют в металлическую форму (кокиль), в которую заливают бронзу для получения венца. Эту конструкцию применяют в серийном и массовом производстве.

Крепление венца к ступице должно обеспечивать фиксацию как от проворота (осевая сила червяка = окружной силе колеса), так и от осевого "снятия" венца (окружная сила червяка = осевой силе колеса).

Во всех рассмотренных конструкциях чистовое обтачивание заготовки колеса и нарезание зубьев производят после закрепления венца на центре. Центр может состоять из диска и ступицы, размеры их элементов определяют по соотношениям, рекомендуемым для цилиндрических зубчатых колес.

Червячное зацепление чувствительно к осевому смешению колеса. Поэтому в червячных передачах предусматривают регулирование положения средней плоскости венца колеса относительно оси червяка. Регулирование выполняют осевым перемещением вала с закрепленным на нем колесом. Перемещение вала осуществляют постановкой под фланцы привертных крышек подшипников набора тонких (≈0,1 мм) металлических прокладок или применением винтов, воздействующих на подшипники через нажимные шайбы.

## *Достоинства и  недостатки червячных передач*

***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.

***Недостатки:***

- в отличие от эвольвентных зацеплений, где преобладает контактное качение, виток червяка скользит по зубу колеса. Следовательно, червячные передачи имеют "по определению" 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. Это обстоятельство ограничивает мощность практически применяемых передач пределом 10-20 кВт, зато для малых мощностей эти передачи нашли самое широкое применение;

- 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. Это свойство не надо путать с реверсивностью механизма. Ведь направление вращения червяка может быть любым, приводя либо к подъёму, либо к спуску той же лифтовой кабины.

Червячные передачи применяют в механизмах деления и подачи зуборезных станков, продольно-фрезерных станков, глубоко расточных станков, грузоподъемных и тяговых лебедках, талях, 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.

## *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.

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.

***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 контактным напряжениям.

К эксплутационным требованиям червячной пары можно отнести: показатели надёжности, износостойкости, сопротивление усталости, контактную жёсткость, виброустойчивость, коррозионную стойкость и прочность сцепления покрытий. Например, хромирование витков червяка существенно повышает стойкость к заеданию и износу червячной пары. В этих кинематических парах отношение скорости скольжения к суммарной скорости больше единицы, поэтому наилучшие результаты достигаются сочетанием высокотвёрдой поверхности витка с антифрикционным венцом колеса. Обеспечение этих свойств и качеств технологическими методами связано с показателями геометрического и физико-термического характера. Качество деталей по прочности размеров, шероховатость и микронеровность соприкасающихся поверхностей влияют на износостойкость. Например, важно среднее арифметическое отклонение профиля, средний шаг неровностей профиля по средней линии, относительная опорная длина профиля. Поверхностный слой любой детали отличается от основного материала и представляет собой своеобразный композит. Поверхностной твёрдости добиваются созданием защитных оксидных плёнок, легированием, ионной имплантацией.

Одной из причин повышенного изнашивания зубьев червячного колеса (и заедания) является ***скольжение витков червяка по зубьям червячного колеса***при отсутствии разделяющей их масляной пленки. В червячной передаче, в отличие от зубчатой, окружные скорости витков червяка *v1* и зубьев червячного колеса *v2* (рис. 7) различны как по величине, так и по направлению

***Способы предотвращения перегрева***

1. изменение корпуса (ребра жесткости, которые выбирают из условия лучшего обтекания воздухом). При естественном охлаждении в соответствии с тем, что нагретый воздух идет вверх, ребра располагают вертикально;

2. установка вентилятора на валу червяка (ребра располагают вдоль направления потока) (рис.9);

3. установка масляного радиатора;

4. установка в масляную ванну змеевика, по которому пропускают проточную воду.

Глубина погружения колес в масло не должна превышать высоты зуба или витка червяка для быстроходных колес и 1/3радиуса тихоходных колес. Рекомендуемое количество масла, заливаемого в корпус, 0,5...0,7 л на 1 кВт передаваемой мощности. Сорт масла выбирают по справочникам в зависимости от окружной скорости и нагруженности передачи.



**Рис. 9. Червячный редуктор с нижним расположением червяка:**

***1 —*****вентилятор;** ***2*****— ведущий вал редуктора**

## *Вопросы для самопроверки*

- Назовите область применения червячных передач.

- Какие различают виды червяков?

- Каковы достоинства и недостатки червячных передач?

- Какое свойство червячной передачи отличает её от других передач?

- Почему червячные передачи не рекомендуют применять при больших мощностях?

- Что вызывает нагрев червячной передачи?

- Как осуществляются охлаждение и смазка червячных передач?

- В чём заключается принцип конструкции червячной передачи?

**Задание: Ознакомиться с материалом и ответить на вопросы.**