Лабораторная работа № 4
ПОСТРОЕНИЕ ЭВОЛЬВЕНТНЫХ ПРОФИЛЕЙ ЗУБЬЕВ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС МЕТОДОМ ОБКАТКИ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомиться с основными положениями теории зубчатого зацепления и способом изготовления зубчатых колес с эвольвентным профилем зубьев методом обкатки.

МАТЕРИАЛЬНОЕ ОСНАЩЕНИЕ

Прибор ТММ-42, круг-заготовка из чертежной бумаги, циркуль, металлическая линейка с миллиметровыми делениями.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

В различных машинах и приборах широко используются зубчатые механизмы. Они применяются преимущественно для передачи вращательного движения с постоянным отношением угловых скоростей, реже – для преобразования вращательного движения в прямолинейно-поступательное и наоборот (реечное зацепление).

Движение зубчатых колес, представляющее собой вращение двух параллельных валов с постоянным передаточным отношением, можно рассмотреть как качение без проскальзывания двух цилиндрических поверхностей, называемых **начальными цилиндрами**. Проекции этих цилиндров на плоскость, перпендикулярную к осям колес, называются **начальными окружностями**. Точка касания начальных окружностей – **полюсом зацепления**.

Проекции боковых поверхностей зубьев на плоскость, перпендикулярную осям колес, носят название **профилей зубьев**. Последние должны удовлетворять условию, вытекающему из основной теоремы зацепления: общая нормаль в точке касания профилей в любой момент зацепления должна проходить через полюс зацепления. Иными словами, профили зубьев должны быть взаимно огибаемыми в относительном движении зубчатых колес. Профили, удовлетворяющие указанному условию, называют **сопряженными**. Почти для любого заданного профиля можно найти сопряженный. Однако практическое применение получили только некоторые, технологически удобные сопряженные профили: эвольвентный, циклоидальный и цевочный. Последние два профиля применяются в приборостроении и точной механике, поэтому в данной работе не рассматриваются.

В эвольвентном зацеплении профилями зубьев служат эвольвенты окружностей. Они описываются точками производящей прямой при ее перекатывании без скольжения по основной окружности, концентричной начальной окружности колеса.

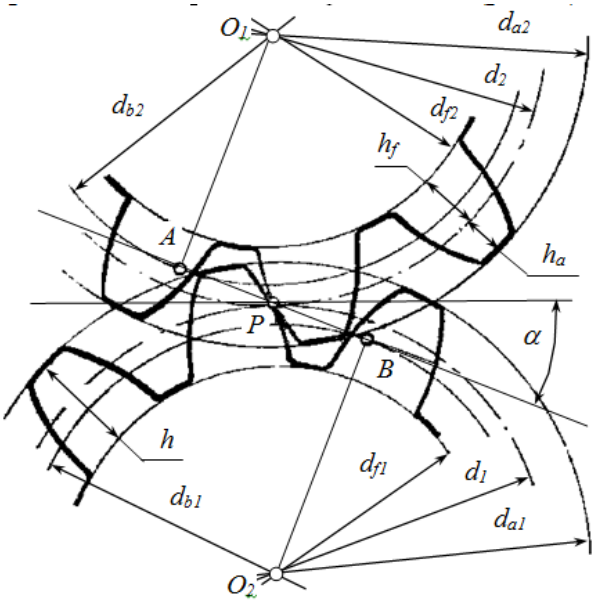

Рис. 1. Схема эвольвентного зубчатого зацепления

Касательная к основным окружностям двух колес является траекторией точек касания двух профилей зубьев и называется **линией зацепления**, а отрезок АВ ее **рабочим участком** (рис. 1).

Угол между линией зацепления и перпендикуляром к прямой, соединяющей центры колес, называется углом **зацепления** α. Он стандартизирован и составляет по ГОСТ 13755-81 $\alpha = 20°$.

Шаг зацепления – расстояние между двумя одноименными точками двух соседних зубьев, взятое по дуге какой-либо окружности (по начальной, делительной или основной).

Дуга зацепления – дуга какой-либо окружности, на которую поворачивается колесо одной парой сцепляющихся зубьев.

Модуль зацепления *m* – отношение шага зацепления к числу π. Величины модуля по делительной окружности регламентируются стандартом СТ СЭВ 310-76.

Делительной называется окружность, диаметр которой равняется произведению стандартной величины модуля на число зубьев колеса.

Делительная головка зуба h_a – часть зуба, выступающая за пределы делительной окружности.

$$h_a = h_a^* m,$$

где h_a^* – коэффициент высоты головки зуба исходного контура. Для колеса без смещения $h_a^* = 1$. Таким образом, у колес без смещения высота делительной головки зуба равно модулю.

Делительная ножка зуба h_f – часть зуба, расположенная ниже делительной окружности. Высота делительной ножки у колеса без смещения

$$h_f = m(h_a + C^*),$$

где C^* – коэффициент радиального зазора, $C^* = 0{,}25$. Следовательно, у колеса без смещения высота делительной ножки составит

$$h_f = m(1 + 0{,}25) = 1{,}25m.$$

Из определения делительной окружности следует равенство

$$\pi d = ZP. \qquad (1)$$

Из равенства (1) получается

$$d = Z\frac{P}{\pi},$$

или с учетом $\frac{P}{\pi} = m$

$$d = mZ.$$

Зубчатое колесо называется **колесом без смещения**, если по делительной окружности толщина зуба S равна ширине впадины, то есть имеет место равенство

$$S = \frac{P}{2} = \frac{\pi \cdot m}{2}. \qquad (3)$$

Если условие (3) не выполняется, то колесо называется **колесом со смещением (корригированным)**. Толщина зуба по делительной окружности этого колеса может быть как больше, так и меньше половины шага зацепления.

Нарезание зубьев методом обкатки

Нарезание эвольвентных профилей зубьев методом обкатки является наиболее распространенным способом изготовления зубчатых колес. Его преимущества заключаются в простоте инструмента. При бесконечно большом радиусе основной окружности эвольвента обращается в прямую линию, в связи с чем зуб инструментальной рейки эвольвентного профиля очерчивается прямыми линиями. Это позволяет пользоваться сравнительно простым в изготовлении, точным и легко контролируемым инструментом – инструментальной рейкой (гребенкой), червячной фрезой или долбяком, имеющим форму зубчатого колеса. Нарезание колес производится соответственно на зубострогальном, зубофрезерном или зубодолбежном станках.

Преимуществом зуборезных станков, работающих по методу обкатки, является то, что одним и тем же инструментом можно нарезать эвольвентные профили с разными параметрами.

Инструментальные рейки изготавливают по ГОСТ 13755-81: углом профиля исходного контура $\alpha = 20^0$; коэффициентом высоты головки $h_a^* = 1$; коэффициентом радиального зазора $c^* = 0{,}25$.

Средняя прямая, на которой толщина зуба равна ширине впадины и составляет половину шага зацепления, называется **делительной прямой рейки**. Если при нарезке делительная прямая рейки касается делительной окружности колеса, то нарезается колесо без смещения с толщиной зуба по делительной окружности, равной ширине впадины.

На практике иногда требуется нарезать зубчатые колеса, смещая рейку относительно заготовки (приближая или удаляя от оси колеса). В этом случае нарезаются колеса со смещением, что устраняет подрезания зубьев, уменьшает габариты передачи, улучшает качество зацепления и износ зубьев и повышает их прочность.

Необходимая величина смещения рейки определяется из следующих соображений. При реечном зацеплении линия зацепления ограничивается точкой *A* (рис. 2). Предельное положением рейки при отсутствии подрезания достигается, когда линия вершин зубьев рейки проходит через точку *A*, т. е. делительная линия отодвигается от оси колеса на величину *xm*, где *x* – коэффициент смещения, выраженный в долях модуля. Тогда из треугольника АТО получим

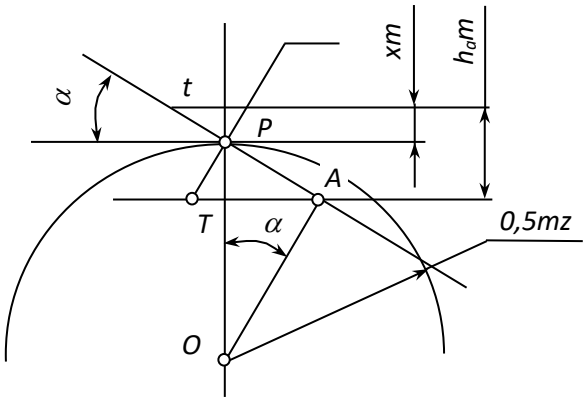

Рис. 2. Смещение инструментальной рейки

$$0{,}5mZ + xm - h_a^* m = 0{,}5mZ\cos^2\alpha .$$

Отсюда $x = h_a^* - 0{,}5Z\sin^2\alpha$.

При $\alpha = 20^0$ и $h_a^* = 1$

$$x = 1 - 0{,}5Z(0{,}342)^2 = \frac{17 - Z}{17}. \qquad (4)$$

Соотношение (4) позволяет определить минимальное число зубьев колеса, при котором зубья подрезаться не будут. Приняв в соотношении (4) $Z = 17$, получим $x = 0$. По формуле (4) можно также вычислить коэффициент смещения для нарезания зубчатого колеса с заданным числом зубьев. Например, надо нарезать колесо с числом зубьев $Z = 12$. Чтобы избежать их подрезания, следует нарезать колесо со смещением. При этом коэффициент смещения по (4):

$$x = \frac{17 - 12}{17} = 0{,}3,$$

а смещение выразится так:

$$xm = 0{,}3m. \qquad (5)$$

Устройство прибора ТММ-42

На основании 4 подвижно установлены диск 9 и рейка 5 (рис. 3). Верхняя часть диска из оргстекла имеет диаметр, равный диаметру заготовки зубчатого колеса, нижняя часть диска 8 имеет диаметр, равный диаметру делительной окружности колеса. Диск может вращаться вокруг оси, закрепленной в основании 4. Рейка 5 передвигается поступательно в направляющих 14. Вращение диска 8 и перемещение рейки кинематически связаны между собой: в относительном движении диск 8 перекатывается без скольжения по ребру планки 10, с которым совпадает делительная прямая рейки. Обкатывание без скольжения достигается при помощи стальной струны 11, которая прикреплена к захватам 3 и 12 и огибает диск 8.

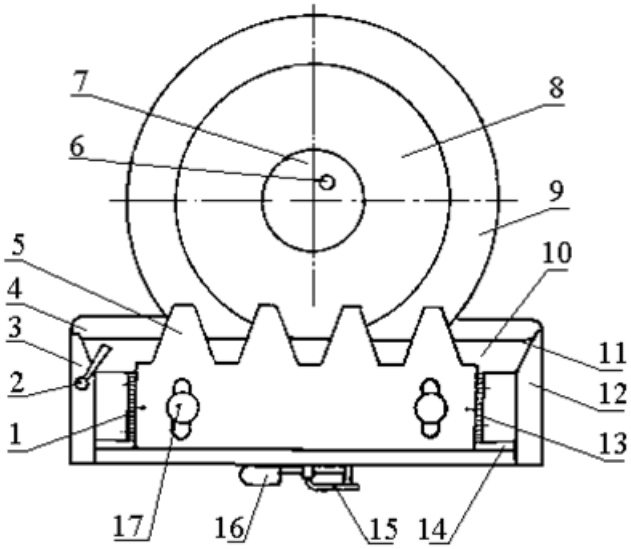

Рис. 3. Общий вид прибора ТММ-42

Совместное движение рейки и диска осуществляется при помощи шагового храпового механизма, приводящегося в действие от рычага 16. При нажатии на рычаг рейка перемещается влево на 4...5 мм.

По направляющим 1 и 13 рейка может перемещаться также к центру заготовки и от центра. При этом ее положение фиксируется винтами 17.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с устройством прибора (см. рис. 3).
2. Записать в отчет номер прибора и исходные данные.
3. На диск 9 на три иглы наложить круг-заготовку из чертежной бумаги, прижать его крышкой 7, завернуть винт 6.
4. Установить рейку так, чтобы риски совпали с нулевыми делениями шкал 1 и 13, закрепить ее в этом положении винтами 17. Натянуть струну винтом 2.
5. Нажатием на рычаг 15 выключить храповой механизм и переместить рейку в крайнее правое положение. Поворотом рычага 15 включить храповой механизм.
6. Очертить карандашом контур зубьев рейки. Острие карандаша ставить как можно ближе к граням зубьев.

7. Нажатием на рычаг 16 передвинуть рейку влево на один шаг храпового устройства и вновь очертить контур зубьев. Повторять эту операцию до тех пор, пока на диске окажутся вычерченными три полных зуба.

8. По формуле (2) вычислить число зубьев колеса, пользуясь величинами модулями и делительной окружности, выгравированными на лицевой стороне рейки.

9. Вычислить по формулам (4) и (5) коэффициент смещения и величину смещения рейки. Округлить последние до целого числа и вычислить новое значение коэффициента смещения, используя формулу (5).

10. Отодвинуть рейку от оси колеса на округленную величину смещения и описанным способом вычертить профили трех зубьев колеса со смещением. Чтобы под зубьями рейки оказалась чистая часть круга, надо повернуть рычаг 2, ослабить натяжение струны 11 и повернуть диск на 180^0. Затем снова натянуть струну.

11. Снять круг-заготовку, очертить на нем делительную и основную окружности, а также окружность вершин зубьев.

12. Измерить линейкой толщину зубьев по основной и делительной окружностям.

13. Составить отчет, сделав необходимые расчеты.

ОТЧЕТ
о лабораторной работе № 4
«Построение эвольвентных профилей зубьев зубчатых колес методом обкатки»

Исходные данные: модуль рейки m = ;
диаметр делительной окружности d = ;
угол профиля рейки $\alpha = 20^0$.

1. Параметры колеса без смещения

Параметр	Формула для расчета	Результат
Число зубьев колеса	$Z = d/m$	
Диаметр основной окружности	$d_в = d\cos\alpha$	
Шаг зацепления	$P = \pi \cdot m$	
Толщина зуба по делительной окружности:		
а) вычисленная	$S = \pi \cdot m/2$	
б) измеренная		
Толщина зуба по основной окружности:		
а) вычисленная	$S = d_в(s/d + inv\alpha)$	
б) измеренная		

2. Параметры колеса со смещением

Параметр	Формула для расчета	Результат
Коэффициент смещения инструментальной рейки	$x = \frac{17 - Z}{17}$	
Смещение рейки	xm	
Толщина зуба по делительной окружности:		
а) вычисленная	$S = m(\pi/2 + tg\alpha)$	
б) измеренная		
Толщина зуба по основной окружности:		
а) вычисленная	$S = m(2xtg\alpha + \pi/2 + Z\,inv\alpha)cos\,\alpha$	
б) измеренная		

Справочные данные: $tg\alpha$ = 0,36; $inv\alpha$ = 0,0149; $cos\alpha$ = 0,94.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое шаг и модуль зубчатого зацепления? В каких единицах они измеряются?
2. Дайте понятие делительной окружности. Чему равен ее диаметр?
3. Дайте понятие основной окружности колеса, ее величины и поясните физический смысл.
4. Каким технологическим приемом устраняется подрезание зубьев?
5. Изменяется ли угол зацепления при сцеплении колес, изготовленных со смещением?
6. Что называется делительной головкой зуба и делительной ножкой зуба?