

Министерство высшего образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное образовательное учреждение высшего
образования
«Казанский (Приволжский) федеральный университет»
Набережночелнинский институт (филиал)

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ
ЗУБЬЕВ В СТАНОЧНОМ ЗАЦЕПЛЕНИИ
НА ПРИБОРЕ ЛС-ТММ-2**

**Учебно-методическое пособие
для выполнения лабораторной работы
студентами очной и заочной форм обучения**

Набережные Челны 2024

УДК 531

Печатается по решению учебно-методической комиссии
автомобильного отделения Набережночелнинского института
(филиала) Казанского (Приволжского) федерального университета.

Протокол № 6 от 20.12.2023 г.

Рецензент: кандидат технических наук, доцент Гимадеев М.М.

Галимянов И.Д., Талипова И.П., Тазмеева Р.Н. Моделирование процесса формообразования зубьев в станочном зацеплении на приборе ЛС-ТММ-2. Учебно-методическое пособие для выполнения лабораторной работы студентами очной и заочной форм обучения. – Набережные Челны: ИПЦ НЧИ К(П)ФУ, 2024 – 12 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ЗУБЬЕВ В СТАНОЧНОМ ЗАЦЕПЛЕНИИ НА ПРИБОРЕ ЛС-ТММ-2

Цель работы: Изучить влияние смещения инструмента на форму профиля зубьев и выявить условия, обеспечивающие отсутствие подреза ножки зуба и заострения вершин зуба на приборе, имитирующем метод огибания, получить профили зубьев нарезаемого колеса при четырех различных смещениях и выполнить сравнительный анализ.

Общие сведения

В настоящее время зубчатые передачи являются самым распространённым видом передач. Цилиндрические зубчатые колёса используются в автомобилях, тракторах, металлорежущих станках, паровых турбинах и приборах. В современных механизмах и машинах используются зубчатые колеса диаметром от трёх миллиметров до девяти метров и модулем от 0,05 мм до 75 мм. Основной технологической операцией при изготовлении зубчатых колёс является обработка их зубьев, на которую затрачивается 50-60% общей трудоёмкости обработки зубчатого колеса

Нарезание эвольвентных профилей методом обкатки или огибания является наиболее производительным и распространённым способом производства зубчатых колёс. При обкатке режущий инструмент и заготовка получают относительное движение, которое они имели бы в случае нормального зацепления шестерни с колесом. Процесс нарезания зубчатого колеса рейкой складывается из поступательного движения заготовки А вдоль рейки Б и её вращения вокруг своей оси (движение подачи Δf заготовки) и возвратно-поступательного движения режущего инструмента вдоль оси заготовки (рабочий ход), во время которого происходит съём стружки (рис. 1,а).

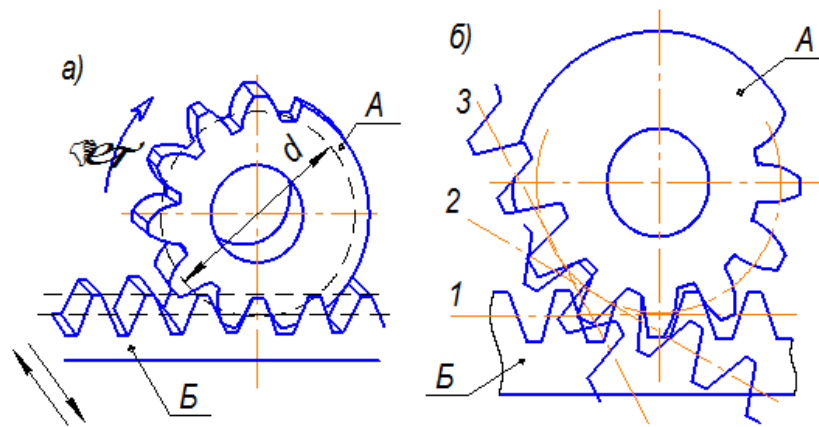


Рис. 1. Нарезание зубьев методом обкатки: а – схема процесса нарезания зубьев; б – схема образования профиля зуба

Эвольвентный профиль зуба получается как огибающая профиля рейки в нескольких последовательных её положениях, то есть рейка как бы обкатывается относительно заготовки (рис. 1,б). Цикл повторяется до окончания обработки всех зубьев. При использовании этого метода на одном станке одним и тем же инструментом можно нарезать эвольвентные профили с разными параметрами.

При выполнении данной лабораторной работы применяются следующие понятия теории зубчатых зацеплений (рис. 2).

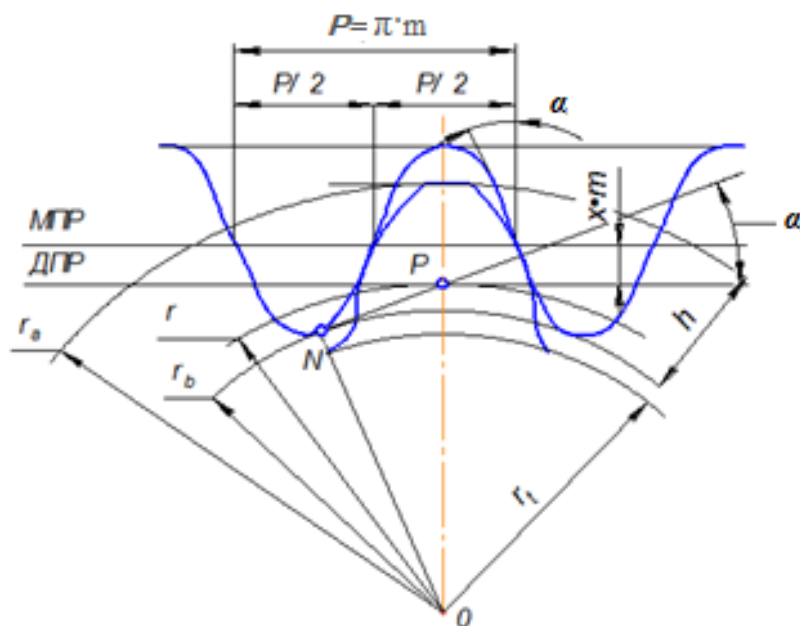


Рис. 2 - Зацепление зубчатого колеса с инструментальной рейкой

Модульная прямая рейки (МПР) – средняя прямая, на которой толщина зуба равна ширине впадины и составляет половину шага Р.

Делительная прямая рейки (ДПР) – прямая, касающаяся делительной окружности колеса.

Делительная окружность колеса – окружность, на которой шаг зацепления равен шагу инструментальной рейки $P=\pi \cdot m$.

Шаг рейки постоянен для любой прямой, параллельной модульной прямой в границах прямолинейного профиля зуба; поэтому заготовку можно устанавливать так, чтобы делительная окружность колеса касалась любой этой прямой, которая и будет делительной. При нарезании профиля зуба делительная прямая катится по делительной окружности без скольжения и, следовательно, обе линии являются центроидами в относительном движении рейки и колеса. Точки Р касания центроид будет полюсом зацепления при нарезании зубчатого колеса.

Если делительная окружность колеса касается модульной прямой рейки, то профиль зуба будет нормальным (“нулевым ” или “некорригированным”). У такого колеса высота головки зуба h_a равна модулю:

$$h_a = \frac{d_a - d}{2} = m,$$

а толщина зуба S по делительной окружности равна ширине впадины:

$$S = \frac{\pi m}{2}.$$

Уменьшение числа зубьев при нормальном зубчатом зацеплении может вызвать подрезание зубьев. Для устранения подрезания и улучшения работы зубчатых колес при их изготовлении применяется корригирование.

Корригирование зубчатых колес производится с целью уменьшения габаритов и улучшения качества (исправления) зацепления: устранения подреза ножки зуба, увеличения коэффициента перекрытия, уменьшения износа, повышения прочности зуба.

Другой дефект зуба при станочном зацеплении заключается в срезании зуба. Срезание зуба – это срезание части номинальной поверхности у вершины зуба обрабатываемого колеса при станочном зацеплении (рис.3).

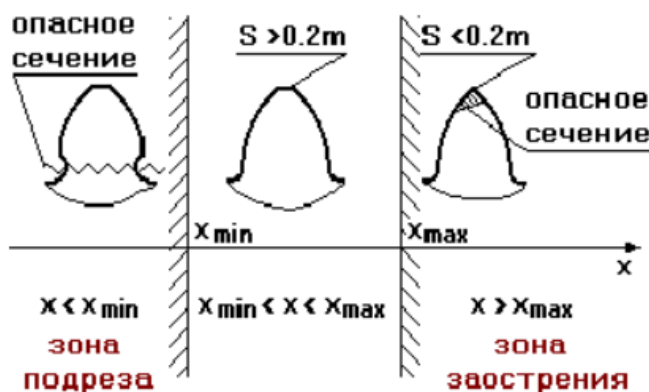


Рис.3 – Влияние смещения рейки на профиль зубчатого колеса

Корригирование (исправление) эвольвентных зубчатых колес осуществляется смещением стандартного режущего инструмента от оси заготовки, при этом по делительной окружности будет перекатываться не модульная прямая рейки, а любая другая, параллельно ей. Зубья колеса будут иметь при этом эвольвентный профиль, однако вид их будет иной, чем у зубьев нулевых колес. Расстояние между модульной и делительной прямой называется сдвигом рейки:

$$b = x \cdot m.$$

Смещение рейки относительно её положения для нормального колеса в направлении от центра колеса называется положительным сдвигом, а в направлении к центру колеса – отрицательным сдвигом.

Коэффициентом смещения (сдвига) называется отношение сдвига рейки к модулю зацепления m :

$$x = \frac{b}{m}.$$

В зависимости от видов корригирования комбинации смещений пары сопрягаемых зубчатых колес могут быть следующими:

1. Нулевое зацепление, когда сдвиги рейки для обоих колес равны нулю: $X_1 = X_2 = 0$

2. Равносмещенное зацепление, когда сумма коэффициентов смещения для обоих колес равна нулю: $X_1+X_2=0$.

3. Неравносмещенное зацепление, когда сумма коэффициентов смещения для обоих колес не равна нулю:

- положительное смещение $X_1+X_2>0$;

- отрицательное смещение $X_1+X_2<0$.

Величина относительного сдвига (коэффициента смещения) рейки, необходимая для устранения подрезания ножки зуба, определяется формулой:

$$X_{min} = h_a^* \frac{Z_{min} - Z}{Z_{min}}$$

где h_a^* - коэффициент высоты головки зуба, $h_a^* = 1$;

Z_{min} - наименьшее число зубьев, свободное от подрезания;

Z - число (количество) зубьев нарезаемого колеса;

$$Z_{min} = \frac{2h_a^*}{\sin^2 \alpha}$$

α - угол профиля рейки.

Для зубчатых колес с нормальным исходным контуром по ГОСТ 13755-81, для которых $h_a^* = 1$ и $\alpha=20^\circ$, $Z_{min} = 17$.

Формула определения коэффициента смещения будет иметь вид:

$$X_0 = \frac{17 - Z}{17} = \frac{b_0}{m}$$

Абсолютный сдвиг рейки, необходимый для устранения подрезания ножки зуба, определяется формулой

$$b_0 = X_0 \cdot m.$$

Максимальная величина смещения исходного контура инструмента ограничивается заострением вершин зубьев нарезаемого колеса. Считается, что имеет место заострение если $S_a < 0,2m$ (рис.3), для тяжело нагруженных передач - $S_a < 0,4m$.

Описание прибора

Прибор состоит из диска (Рис. 4), на который помещается заготовка колеса (в виде бумажного диска), и рейки, представляющей собой исходный производящий контур инструмента.

На подвижной каретке размещены две шкалы, по которым отсчитывается смещение X_m в мм.

Если исходный производящий контур расположить так, что риски на рейке совпадут с «0» на шкале, то на заготовке получим профили зубьев колеса, нарезанного без смещения. При смещении исходного производящего контура можно получить профили зубьев колес различного вида (положительные – при смещении исходного контура от центра заготовки; отрицательные – при смещении к центру заготовки). Прерывистое поступательное перемещение с шагом 5мм осуществляется при помощи встроенного фиксатора. Перемещение исходного производящего контура и поворот диска согласуется рабочей зубчатой парой рейка/колесо, причем элементарное перемещение рейки Δy связан с соответствующим поворотом диска на угол $\Delta \varphi$ следующей зависимостью:

$$\Delta y = z \cdot \Delta \varphi = m \frac{z}{2} \Delta \varphi$$



Рис. 4 - Внешний вид прибора ЛС-ТММ-2

Порядок выполнения работы

1. Выписываются исходные данные. На зубчатой рейке стенда указаны модуль m нарезаемого колеса, угол профиля зубьев исходного производящего контура α . На диске из органического стекла указаны модуль, число зубьев и делительный диаметр моделируемого зубчатого колеса

На одной заготовке будет имитироваться нарезание одного зубчатого колеса с различной величиной смещения инструмента. Для всех вариантов задаются следующие величины коэффициентов смещения инструмента:

$$x_1 = 0; \quad x_2 = x_{\min}; \quad x_3 = x_{\min} + 0,2; \quad x_4 = -0,4.$$

По известному модулю m и диаметру делительной окружности d определяется число зубьев нарезаемого колеса:

$$z = \frac{d}{m}.$$

3. Вычисляются:

- диаметр основной окружности

$$d_B = d \cos \alpha,$$

- диаметры окружности вершин по заданным коэффициентам смещения

$$d_a = mz + 2m(x_i + h_a^*)$$

- диаметры окружности ножек зубьев по заданным коэффициентам смещения

$$d_f = mz - 2m(x_i + c + h_a^*)$$

4. Коэффициент минимального смещения

$$x_{\min} = 1 - \frac{z \cdot \sin^2 \alpha}{2}$$

5. Вычерчивание зубьев.

Установите исходный производящий реечный профиль на стенде по шкале с учетом величины и знака смещения xm в мм. Сместите каретку до упора вправо. Профиль зубьев рейки обводится тонко отточенным каранда-

шом на бумажном диске. Плавно переместите каретку в левую сторону до щелчка (перемещение на 5мм), снова обведите инструментальную рейку. Повторяйте эту операцию до упора каретки в левом положении. Внимательно следите, чтобы бумажный диск не задирался за инструментальную рейку. Ослабив прижим, поверните бумажный диск на 180°, переведите каретку в правое положение и, установив новое смещение, постройте следующий профиль.

6. Разметка заготовки. На бумажный диск наносятся основная и делительная окружности. Линией, проходящей через цент диска, диск делится на 4 части. В каждой части диска отмечается заданный коэффициент смещения «X» и наносится соответствующая окружность вершин.

7. Ознакомиться по полученным профилям с влиянием смещения инструмента на форму профиля зуба, выявить подрезанную, заостренную и работоспособную форму зуба и результаты анализа ввести в таблицу.

8. На бумажной заготовке нанести в каждой четверти делительную и основную окружности, а также окружности головок и ножек зубьев, диаметры которых взять из таблицы 1. В каждой четверти измерить хордальную толщину одного из нанесенных зубьев по делительной окружности. Полученные результаты занести в таблицу 1.

Таблица 1- Результаты измерений и расчетов

№ п/п	Параметр и размеры зубьев колеса	Расчетная формула	Нормальное (нулевое) колесо	Исправленное (корригированное) колесо		
			X ₁ =0	X ₂ =X _{min}	X ₃ = X _{min} + 0,2	X ₄ = - 0,4
1	Число зубьев зубчатого колеса	$Z = \frac{d}{m}$				
2	Шаг зацепления (по делительной окружности), мм	P=π·m				

3	Диаметр основной окружности, мм	$d_B = d \cdot \cos \alpha_o$				
4	Диаметр окружности головок зубьев, мм	$d_a = mz + 2m(x_i + h_a^*)$				
5	Диаметр окружности ножек зубьев, мм	$d_f = mz - 2m(x_i + c + h_a^*)$				
6	Толщина зуба по делительной окружности, мм	$S = \frac{\pi m}{2}$				
7	Хордальная толщина зуба по делительной окружности, мм	$S_x = d \cdot \sin \frac{S}{d}$				
8	Измеренная хордальная толщина зуба по делительной окружности, мм	$S_{x \text{ изм}}$				

Контрольные вопросы

1. Как располагаются делительные линии инструмента и заготовки в станочном зацеплении без смещения? С положительным смещением? С отрицательным смещением?
2. Что такое коэффициент смещения (сдвига) исходного контура?
3. Какие параметры колеса изменяются при нарезании со смещением и какие не изменяются?

4. В чем состоит явление подрезания зубьев? Каково его негативное влияние на работоспособность передачи?

5. Какими способами можно устранить подрезание? Что такое минимальное число зубьев? Минимальный коэффициент смещения?

6. Что означает знак коэффициента смещения?

7. В чем сущность явления заострения вершин зубьев? По какому критерию оно оценивается? Каким образом избегают заострения?

8. Какими индексами снабжаются величины, относящиеся к делительной, начальной поверхности, поверхности вершин впадин зубчатого колеса?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артоболевский, И.И. Теория механизмов и машин / И.И. Артоболевский. - М.: Альянс, 2014. - 640 с.

2. Люминарский С. Е., Люминарский И. Е. Исследование механизмов с высшими кинематическими парами : метод. указания для подготовки к рубежному контролю знаний / Люминарский С. Е., Люминарский И. Е. ; ред. Тимофеева Г. А. ; МГТУ им. Н. Э. Баумана. - М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. - 51 с. : ил. - Библиогр.: с. 48. - ISBN 978-5-7038-4909-5..

3. Тимофеев Г. А. Теория механизмов и машин : учебник и практикум для прикладного бакалавриата / Тимофеев Г. А. ; МГТУ им. Н. Э. Баумана. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Юрайт, 2015. - 429 с.

4. Соболев, А.Н. Теория механизмов и машин: Лабораторный практикум / А.Н. Соболев, А.Г. Схиртладзе, А.Я. Некрасов. - М.: Инфра-М, 2016. - 383 с.

5. Чмиль, В.П. Теория механизмов и машин. Учебно-методическое пособие / В.П. Чмиль. - СПб.: Лань, 2012. - 288 с.