

С. С. ДОБРОТВОРСКИЙ, д-р техн. наук, проф. ;
Л. Г. ДОБРОВОЛЬСКАЯ, канд. техн. наук, доц. ;
Е. В. ИВАЩЕНКО, асп., НТУ «ХПИ», г. Харьков

ПРОБЛЕМА ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ЗУБЬЕВ С ЭВОЛЬВЕНТНЫМ ПРОФИЛЕМ

Виробництво зубчастих коліс, особливо крупного модуля, є однією з найбільш складних і трудомістких областей металообробки. У циклі їх виготовлення до 70% часу доводиться на операції, пов'язані з обробкою зубів. Тому актуальним завданням є вдосконалення процесів зубонарізання у напрямі підвищення їх продуктивності при забезпеченні необхідної якості зубчастих коліс.

A production of gear-wheels, especially large module, is one of the most difficult and labour intensive areas of metal-workingness. In the loop of their making to 70% time is on operations, related to treatment of points. Therefore an actual task is perfection of processes of point cutting in the direction of increase of their productivity at providing of the required quality of gear-wheels.

Введение

В современном машиностроении всё большее применение находят зубчатые передачи и соединения усложнённой формы и структуры, такие как двухпараметрические, а также с различными, в том числе модифицированными профилями, такие как синусоидальные, эволютные, профили типа Новикова-Вильдгабера, шлицевые соединения с полигонными поверхностями.

Многообразие различных классов, видов и типов зубчатых передач и соединений, усложнения их структуры и модификация поверхностей зубьев, повышение требований к их точностным параметрам, состоянию поверхностного слоя и эксплуатационным показателям требуют разработки более совершенных методик их задания, математического описания, формообразования, а также совершенствования известных и разработки новых способов их обработки.

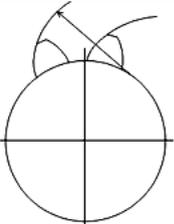
Задача описания эвольвентного профиля зуба

Одними из наиболее распространённых на сегодняшний день являются эвольвентные зубчатые зацепления. Теория эвольвентных зубчатых зацеплений к настоящему моменту достаточно полно разработана, в особенности благодаря работам В.А.Гавриленко [1], Э.Б.Вулгакова [2, 3], И.А.Болотовского [4] и их многочисленных учеников.

Однако, в условиях современного машиностроения, с появлением новейшего оборудования, возникло множество задач, которые требуют оптимального решения. На наш взгляд одной из главных нерешенных задач является возможность изготовления эвольвентного профиля зуба на горизонталь-

ном обрабатываемом центре с получением высокого качества поверхности зуба после окончательной обработки.

Зубчатые колёса не являются теми конструкционными элементами, которые традиционно обрабатываются на токарных станках. Однако проведённый нами анализ кинематических возможности современных токарных обрабатывающих центров дал возможность сделать вывод, что оснащение и кинематика современного оборудования позволяют решить такую задачу и опровергнуть устоявшиеся представления. То, что зубчатые колеса до сих пор не изготавливались на обрабатывающих центрах обусловлено сложностью параметрического описания эвольвенты через традиционные параметры зубчатого зацепления, такие как: модуль, число зубьев, радиус (диаметр) делительной окружности и др. (рис. 1).



Если линия L задана уравнением $\vec{r} = \vec{r}(s)$ (s — натуральный параметр), то уравнение свойства её эвольвенты имеет вид

$$\vec{\psi} = \vec{r} + (\alpha - s)\vec{t},$$

где s — произвольный параметр.

Для параметрически заданной кривой уравнение эвольвенты

$$X = x - \frac{x' \int \sqrt{x'^2 + y'^2} dt}{\sqrt{x'^2 + y'^2}}$$

$$Y = y - \frac{y' \int \sqrt{x'^2 + y'^2} dt}{\sqrt{x'^2 + y'^2}}$$

Эвольвентой окружности является спиралевидная кривая. Её уравнения имеют следующий вид:

$$x = r(\cos(t) + t \sin(t))$$

$$y = r(\sin(t) - t \cos(t))$$

где t — угол, а r — радиус

Нет связи

z — число зубьев;
m — модуль;
r/d — радиус/диаметр делительной окружности

Рис. 1 – Проблема параметрического описания эвольвенты для обеспечения механической обработки

Из-за отсутствия параметрического представление эвольвенты отсутствует и возможность автоматизированного описания профиля и соответственно автоматизированного составления программ для обрабатывающего центра.

Задача написания управляющей программы может быть реализована с применением систем PEPS-2 и PRO/Engineer, что потребует больших материальных затрат.

Решая поставленную задачу, необходимо предварительно получить массив точек, принадлежащий эвольвенте профиля зуба, который впоследствии может быть обработан сплайнами для формирования траектории перемещения инструмента.

Мы разработали методику автоматизированного расчёта массива точек, принадлежащих эвольвенте. Исходными данными для расчёта служат следующие параметры (табл. 1): модуль (m), число зубьев (z), угол профиля исходного контура (α).

Таблица 1 – Исходные данные

Модуль	Число зубьев	Угол профиля исходного контура	1 радиана
m	z	α (градус)	градус
3	168	20	57,3

Расчётными данными служат (табл. 2): делительный диаметр (D), диаметр вершин зубьев (D_a), радиальный зазор пары исходных контуров (c), диаметр впадин зубьев (D_f), диаметр основной окружности (D_b).

Таблица 2 – Расчётные данные

Делительный диаметр	Диаметр вершин зубьев	Радиальный зазор пары исходных контуров	Диаметр впадин зубьев	Диаметр основной окружности
D (мм)	D_a (мм)	c	D_f (мм)	D_b (мм)
504	510	0,75	496,5	473,610

В результате автоматизированного расчёта получили данные для построения эвольвенты в полярных координатах (табл. 3), другими словами - координаты точек, принадлежащие эвольвенте профиля контура зуба.

Следующим шагом является построение по массиву точек кривых второго и третьего порядка, которые будут аппроксимироваться сплайнами с задаваемой степенью точности, что позволит заведомо определять и контролировать качество обрабатываемой поверхности посредством обеспечения высокой точности траектории перемещения инструмента.

Разработка математических моделей прогнозирования остаточной шероховатости стала актуальной с переходом на высокие скорости резания, так как с увеличением скорости резания фактическая высота неровностей приближается к расчетной, что обусловлено рядом факторов. Актуальными становятся вопросы разработки методик прогнозирования качества поверхности 3-го – n -го порядка.

Таблица 3 – Данные для построения эвольвенты в полярных координатах

Угол профиля зуба αt (градус)	Эвольвентный угол $\text{Inv } \alpha t$ (градус)	Текущий радиус вектор R (мм)
1	0,00010	236,841
2	0,00081	236,949
3	0,00274	237,130
4	0,00651	237,383
5	0,01273	237,709
6	0,02203	238,109
7	0,03503	238,583
8	0,05239	239,132
9	0,07475	239,756
...
46	13,32887	340,873
47	14,43928	347,199
48	15,63020	353,875
49	16,90772	360,924
50	18,27857	368,375

Выводы

В современных условиях развития машиностроения к конечному качеству изделия выдвигают повышенные требования.

С появлением нового оборудования стало возможным обеспечение полной обработки детали, содержащей и зубчатые поверхности, с незначительными затратами на переоснащение станка, без применения дополнительных приспособлений, что принципиально меняет технологический процесс изготовления детали, так как упрощается выбор баз, отсутствуют частые переустановки, что ведёт к улучшению качества обрабатываемого изделия.

Однако технология обработки эвольвентной поверхности на оборудовании типа токарный обрабатывающий центр требует глубокого исследования трудоемкого процесса обработки зубчатых колёс, разработки и обоснования нового метода обработки зуба с обеспечением высокого качества обработанной поверхности.

Список литературы: 1. *Гавриленко В.А.* Основы теории эвольвентной зубчатой передачи. / В.А. Гавриленко. – М.: Машиностроение, 1969. – 531 с. 2. *Вулгаков Э.Б.* Зубчатые передачи с улучшенными свойствами. Обобщенная теория и проектирование. / Э.Б. Вулгаков. – М.: Машиностроение, 1974. – 264 с. 3. *Вулгаков Э.Б.* Теория эвольвентных зубчатых передач. / Э.Б. Вулгаков. – М.: Машиностроение, 1995. – 320 с. 4. *Болотовский И.А.* Расчет коррекции зубчатых колес с помощью блокирующих контуров. / И.А. Болотовский, Т.П. Болотовская, В.Э. Смирнов. – Уфа.: УГАТУ, 1958. – 190 с. 5. *Шевелева Г.И.* Теория формообразования и контакта движущихся тел. Монография. / Г.И. Шевелева. – М.: МГТУ, 1999. – 494 с. 6. *Кривошея А.В.* Совершенствование обобщенной унифицированной математической модели формообразования и обработки зубчатых колёс. / А.В. Кривошея, Ю.М. Данильченко, М.Г. Сторчак и др. // Оборудование и инструмент для профессионалов. – 2010. – №4. – с. 46-51.

Поступила в редколлегию 21.09.10