

9. Goldfarb V. I., Tkachev A. A. New Approach to Computerized Design of Spur and Helical Gears. Gear Technology, January/February 2005. – P. 27–32.

10. Ткачев А. А. Разработка системы диалогового проектирования эвольвентных цилиндрических зубчатых передач.

11. Гольдфарб В. И., Ткачев А. А. Проектирование эвольвентных цилиндрических передач. Новый подход.

A. A. Tkachev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Izhevsk State Technical University

Predictive Design of Involute Spur and Helical Gears

An approach to computerized design of involute spur and helical gears (ISHG) which allows forecasting their properties at the early stages of design procedure associated with the choice of shift coefficients of a pinion and gearwheel is considered. CAD system is briefly described which was developed on the base of this approach and some examples of gear design are considered.

Key words: shift coefficients of a pinion and gearwheel, gear predictive design, dynamic blocking contour

Получено: 15.11.11

УДК 621.833.389;621.914.5

Е. С. Трубачев, доктор технических наук

П. А. Злобина, магистрант; С. Е. Логинов, магистрант

Ижевский государственный технический университет

НОВАЯ СХЕМА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ЗУБЬЕВ СПИРОИДНЫХ КОЛЕС

Предложена новая схема формообразования зубьев спироидных колес с помощью плоской резцовой головки, обеспечивающая повышенные технологические показатели в сравнении с традиционной схемой на основе червячной спироидной фрезы. Даны основы расчета станочного зацепления, показаны возможности реализации схемы.

Ключевые слова: спироидная передача, формообразование зубьев

Введение

Традиционная зубообработка спироидных колес с помощью спироидных фрез имеет сравнительно низкую производительность по следующим причинам:

- невысокая жесткость инструмента;
- плохие условия для теплоотвода из зоны резания;
- сравнительно плохие условия для схода стружки;
- возможность переточки фрез лишь по передней поверхности.

В настоящей статье с целью преодоления этих недостатков предлагается новая схема нарезания – с помощью плоской резцовой головки. В работе даны принципиальные положения методики расчета параметров наладки и расчета геометрии зуба колеса и предложены варианты реализации новой схемы.

Новая схема нарезания спиралевидных зубьев

Известное свойство поля спироидного зацепления – вытянутость его вдоль оси червяка (рис. 1, а). Это, с учетом постоянства осевого шага червяка, означает, что

хорошее приближение к сопряженной поверхности зубьев колеса можно получить при равномерном движении производящей линии (например, режущей кромки резца, совпадающей с линией сопряженного контакта) вдоль оси червяка и пропорциональном вращении нарезаемого колеса (рис. 1, б). Для реализации этой схемы нужно организовать возвратно-поступательное движение инструмента и единичное деление на зубья, что неминуемо ухудшит и динамику, и производительность, и точность нарезания. Выходом здесь может быть замена поступательного движения одного резца вращательным движением нескольких, установленных в резцовой головке, сменяющих друг друга и осуществляющих тем самым непрерывное деление зубьев. Распространение резания на всю длину зуба может быть осуществлено при помощи подачи инструмента вдоль плоскости вращения при согласованном дополнительном повороте (довороте) нарезаемого колеса (рис. 1, в).

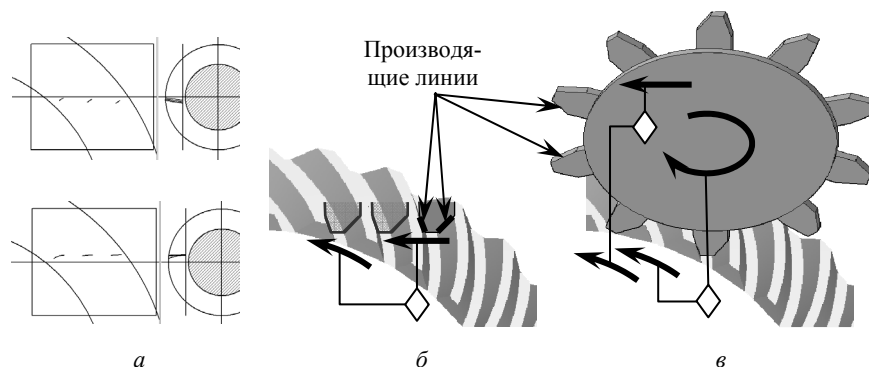


Рис. 1. Применение производящей линии для образования зубьев спироидного колеса: линии контакта в спироидной передаче (а); образование спиральных зубьев при поступательном движении (б) и сочетании вращательного и поступательного движений (в) производящей линии

Боковые поверхности зубьев, сформированные по последней схеме, есть результат двухпараметрического огибания семейства производящих линий. Первый из параметров огибания есть угол φ_{01} поворота резцовой головки, второй – изменяющееся в ходе формообразования станочное межосевое расстояние $a_{н0}$.

Преимущества и возможности новой схемы формообразования

Новая схема может быть реализована с помощью плоской резцовой головки (рис. 2) и дает в сравнении с традиционной следующие преимущества:

- бóльшая жесткость инструмента;
- более эффективный теплоотвод от зоны резания;
- лучшие условия для схода стружки и ее удаления из зоны резания;
- лучшие возможности для применения твердосплавных резцов;
- бóльшее удобство в изготовлении и переточке резцов;

• бóльшая универсальность: одна и та же резцовая головка может быть использована для нарезания колес, различающихся по размеру и модулям сопряженных червяков; кроме того, все или некоторые (вплоть до единственного) пазы можно оснастить резцами, что даст экономию времени обработки в серийном производстве или подготовки производства – в единичном.

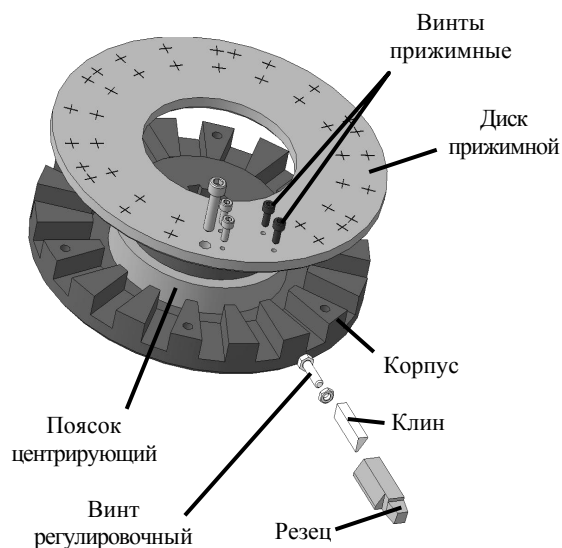


Рис. 2. Резцовая головка

Основы расчета параметров наладки зубообработки

Основные параметры новой схемы формообразования следующие (рис. 3):

- расчетное число $z_{(0)}$ резцов в резцовой головке (передаточное отношение в движении деления $i_{02} = z_{(2)}/z_{(0)}$, где $z_{(2)}$ – число зубьев колеса);
- отношение $p/\Delta\omega_2$ скоростей подачи p и доворота колеса $\Delta\omega_2$;
- угол Σ_0 между осями колеса и резцовой головки;
- диаметр d_0 резцовой головки;
- смещение B_0 резцовой головки от станочной межосевой линии;
- углы α_0 и ширина s_0 профиля резца.

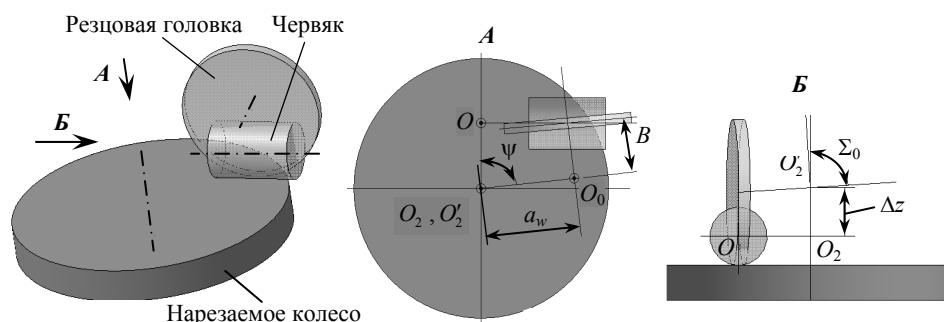


Рис. 3. Воображаемое общее зацепление червяка, колеса и резцовой головки

Расчет этих параметров можно выполнять исходя из следующих условий, поставленных в расчетных точках, которые выбираются в известном сопряженном зацеплении для каждой из разноименных боковых поверхностей зубьев:

- ортогональность общей нормали $\mathbf{n}$ к главным поверхностям зубьев и векторов скоростей $\mathbf{v}_{02}^{(1)}$ и $\mathbf{v}_{02}^{(2)}$ в двух независимых относительных движениях:

$$\mathbf{n}\mathbf{v}_{02}^{(1)} = 0, \quad (1)$$

$$\mathbf{n}\mathbf{v}_{02}^{(2)} = 0; \quad (2)$$

- ортогональность нормали $\mathbf{n}$ и вектора $\mathbf{f}$, касательного к режущей кромке резца:

$$\mathbf{n}\mathbf{f} = 0. \quad (3)$$

В развернутом виде эти формулы удобно получать, рассматривая воображаемое зацепление трех колес – червяка, колеса и резцовой головки – в расчетной точке (рис. 3). Дополнительно к перечисленным параметрам станочной наладки при решении уравнений (1)–(3) определяются следующие параметры расположения элементов такого зацепления: станочное межосевое расстояние a_{w0} , при котором происходит формирование зуба в расчетной точке, угловое ψ и линейное Δz_2 смещения межосевых линий OO_2 и $O_0O'_2$ рабочего и станочного зацеплений вокруг и вдоль оси колеса (рис. 3).

Расчет координат точек модифицированной поверхности зуба

Правильность и степень локализации контакта в передаче можно оценить, рассчитав поле модификаций – расстояний между точками двух поверхностей зуба, сопряженной с червяком и сформированной в станочном зацеплении. Координаты точек последней однозначно определяются после задания набора параметров схемы формообразования (параметров наладки) исходя из условия компланарности трех векторов: $\mathbf{f}$, $\mathbf{v}_{02}^{(1)}$ и $\mathbf{v}_{02}^{(2)}$:

$$[\mathbf{f}, \mathbf{v}_{02}^{(1)}, \mathbf{v}_{02}^{(2)}] = 0. \quad (4)$$

Вспомогательные расчеты

К числу вспомогательных необходимо отнести следующие расчеты:

- определение начальной и конечной величин a_{w0} – значений $a_{w0\max}$ и $a_{w0\min}$, найденных в результате решения уравнения (4) для всех точек зуба;
- проверка условия непересечения траектории (на нерабочем участке) движения вершин резцовой головки и вершин зубьев траектории движения (рис. 4);
- оценка минимального кинематического заднего угла резцов – по максимальному углу между нормалью к передней поверхности и вектором $\mathbf{v}_{02}^{(1)}$.

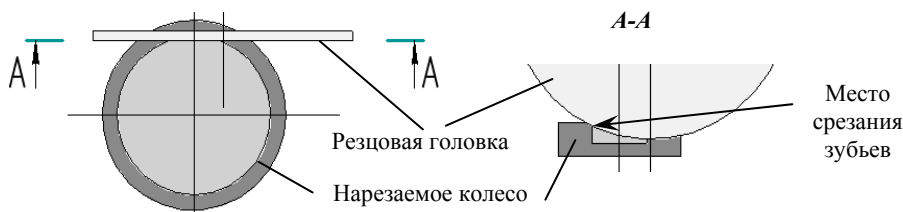
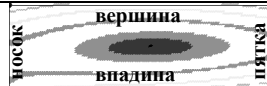
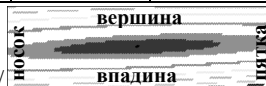


Рис. 4. Срезание зубьев на нерабочей части траектории резцов

Пример расчета параметров зубообработки (параметров наладки)

Действенность и эффективность указанных методов продемонстрируем на примере расчета параметров зубообработки колеса спироидной передачи, выполненного с помощью программного комплекса «SPDIAL+» исследования и проектирования спироидных передач [1]. Основные результаты расчета сведены в таблицу. Как видно, предложенная схема вполне может обеспечить локализацию контакта как по длине, так и по высоте зуба.

№ п/п	Параметр	Передача		Станочная наладка	
		левая поверхность	правая поверхность	левая поверхность	правая поверхность
1	Межосевое расстояние a_{w2} , мм	40		—	
2	Межосевой угол Σ	90			
3	Передаточное число $z_{(2)}/z_{(1)}(z_{(2)}/z_{(0)})$	35/3		35/76	
4	Внутренний/внешний диа- метр колеса, мм	120/155			
5	Делительный диаметр червяка (резцовой головки), мм	42,5		200	
6	Осевой модуль червяка m_{x1} , мм	2,75		—	
7	Отношение подачи к скоро- сти доворота	—		0,2375	0,2457
8	Углы профиля червяка (рез- ца)	28	12	22,7	4,2
9	Монтажное расстояние резцо- вой головки B_0 , мм	—		36,7	44,3
10	Поле модификаций (ле- вой/правой поверхностей)				

Аспекты практической реализации метода новой схемы нарезания

Требуемая комбинация согласованных движений имеется на универсальном зубофрезерном станке. При этом заготовка, как и обычно, устанавливается на столе станка, а резцовая головка связана со шпинделем суппорта. Эту связь рационально осуществлять не непосредственно, а через дополнительный редуктор (рис. 5), что обусловлено двумя причинами:

- резцовая головка имеет значительно больший диаметр, чем обычно устанавливаемые в выемке суппорта червячные фрезы;
- частоты вращения инструмента и заготовки (соответственно их диаметрам и числам зубьев) оказываются практически одного порядка – в противоположность традиционному нарезанию, которое может реализовываться на зубофрезерных станках, когда заготовка вращается на порядок медленнее фрезы.

Более перспективным является использование токарно-винторезного станка с ЧПУ, который обеспечит большую производительность. Предлагаемое решение схематично показано на рис. 6. Заготовка колеса закрепляется в патроне шпинделя, а резцовая головка с приводом установлена на кронштейне, монтируемом на суппорте взамен верхней каретки. Для врезания резцовой головки применяется продольная подача станка, а для подачи – поперечная.

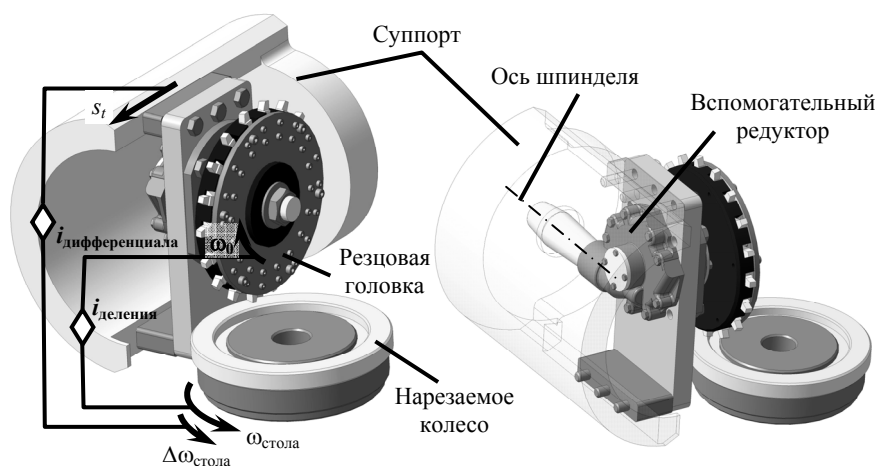


Рис. 5. Реализация новой схемы формообразования на зубофрезерном станке

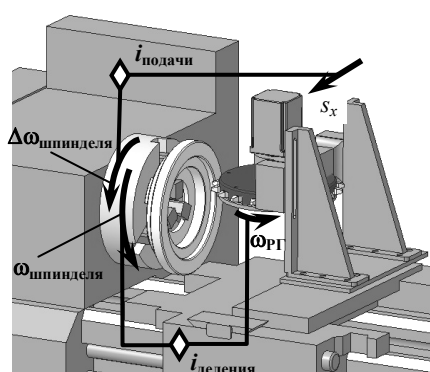


Рис. 6. Реализация новой схемы формообразования на токарном станке

В традиционных токарно-винторезных станках система управления обеспечивает согласование вращения шпинделя и подачи (или вращения ходового винта). Для реализации предложенной схемы формообразования вращение шпинделя требуется согласовать с двумя движениями – вращением резцовой головки и ее подачей. Для этого требуется некоторая модернизация системы управления станка. Заметим, что сравнительно недавно появились токарные обрабатывающие центры, имеющие обе необходимые связи движений.

Основная деталь резцовой головки (см. рис. 2) – корпус, имеющий набор пазов-слотов для резцов и центрирующий пояс для их радиального базирования. Расчетное количество зубьев-резцов на резцовой головке $z_{(0)} \approx d_0/m_{x1}$. Практически удастся разместить не более чем в 2-3 раза меньшее количество. Прижатие резцов к базовым плоскостям слотов осуществляется с помощью клиньев, прижимного диска и прижимных винтов, а регулировка вылета – с помощью регулировочных винтов, опирающихся на центрирующий пояс.

Некоторые дополнительные перспективы

Спиральная (спиралевидная) форма зубьев применяется в конических и гипоидных передачах с равновысокими зубьями формы (форма III по ГОСТ 19325–73). Метод обработки спиралевидных зубьев, основанный на предложенной схеме, на наш взгляд, имеет перспективы стать альтернативой для известных и весьма производительных способов зубообработки колес таких передач – обработки при непрерывном делении с помощью торцовых резцовых головок (способы *Oerlicon* [2] и *Face hobbing* [3]) или спирально-дискового инструмента [4]. Новый метод может дать, по меньшей мере, следующие преимущества:

- более простую настройку осевого положения резцовой головки и резцов, монтируемых в ней, выверкой соответствующей плоскости;
- возможность реализации на существующих широко распространенных и сравнительно дешевых токарно-винторезных станках с ЧПУ.

Библиографические ссылки

1. Goldfarb V. I, Trubachev E. S. // Development and Application of Computer-Aided Design and Tooth Contact Analysis of Spiral-Type Gears With Cylindrical Worms // Technical Paper for AGMA FTM, 2002, USA, p. 17–21.
2. Тайц Б. А. Производство зубчатых колес : справочник / под общ. ред. Б. А. Тайца. – М. : Машиностроение, 1990. – 463 с.
3. Stadtfeld H. J. Gleason Bevel Gear Technology. Manufacturing, Inspections and Optimization: Collected Publications 1994/95. The Gleason Works, Rochester, – New York (USA), 1995. – 202 p.
4. Сызранцев В. Н. Анализ зацепления конических колес, образованных спиральным инструментом // Теория и расчет передаточных механизмов : сб. науч. тр. / Хабар. политехн. ин-т. – Хабаровск, 1975. – С. 32–41.

E. S. Trubachev, Doctor of Technical Sciences, Izhevsk State Technical University
P. A. Zlobina, Candidate for a Master's Degree, Izhevsk State Technical University
S. E. Loginov, Candidate for a Master's Degree, Izhevsk State Technical University

A New Scheme of Generating Spiroid Teeth

A new method of generating spiroid teeth with a plane cutting head which ensures an improvement of the manufacturing performance in comparison with the conventional method using spiroid hob is suggested. The principles of machine engagement calculation and the ways of implementing this method are given.

Key words: spiroid gear, tooth generation

Получено: 23.11.11