

УДК 621.833.389; 621.914.5

Е. С. Трубачев, доктор технических наук, профессор;

С. Е. Логинов, аспирант

Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

## ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ НАРЕЗАНИЯ ЗУБЬЕВ СПИРОИДНЫХ КОЛЕС ПЛОСКОЙ РЕЗЦОВОЙ ГОЛОВКОЙ

Рассмотрены основные закономерности в модификации геометрии зубьев спироидных колес, нарезанных плоской резцовой головкой, в зависимости от изменения параметров формообразования. На основе полученных результатов даются рекомендации по выбору параметров и предлагается усовершенствование метода.

**Ключевые слова:** спироидная передача, нарезание зубьев

### Введение

Традиционный метод обработки зубьев спироидных колес с помощью червячной спироидной фрезы обладает рядом недостатков: невысокая производительность, обусловленная малыми размерами инструмента, плохими условиями резания и теплоотвода; необходимость применения для затылования и переточки инструмента сравнительно сложного оборудования; трудность или невозможность применения твердых сплавов для изготовления инструмента. Эти недостатки могут быть преодолены с помощью впервые предложенного в статье Е. С. Трубачева, П. А. Злобиной, С. Е. Логинова (Новая схема формообразования зубьев спироидных колес // Интеллектуал. системы в пр-ве. 2011. № 2. С. 178–184) принципиально отличного метода зубообработки спироидных колес – с помощью плоской резцовой головки. В настоящей статье рассмотрены возможности модификации зубьев спироидных колес, нарезанных по этому новому методу. В частности, рассмотрено влияние на модификацию зубьев таких геометрических и кинематических параметров станочной наладки для зубообработки колеса, как станочный межосевой угол, станочное передаточное отношение, диаметр резцовой головки и величина ее подачи.

### Применяемые методы расчета

Схема станочного зацепления показана на рис. 1. Резцовая головка и нарезаемое колесо находятся в двух относительных движениях:

- вращении резцовой головки, согласованном с вращением колеса;
- подаче резцовой головки в направлении станочной межосевой линии, согласованной с дополнительным поворотом колеса.

Эти два движения являются независимыми, поэтому боковые поверхности зубьев являются результатом двухпараметрического огибания производящих линий – режущих кромок резцов головки. При этом первое из указанных движений, имеющее значительно большую скорость, следует считать главным движением резания, а второе, таким образом, – движением подачи.

Параметрами схемы формообразования (станочной наладки) являются:

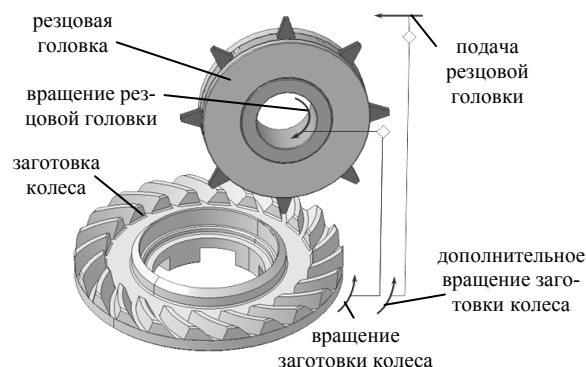


Рис. 1. Схема нового метода нарезания

- станочное передаточное отношение –  $i_{02} = z_{(2)} / z_{(0)}$ , где  $z_{(2)}$  – число зубьев колеса,  $z_{(0)}$  – условное число резцов резцовой головки (фактически реализуемое может быть другим);
- станочный межосевой угол –  $\Sigma_0$ ;
- смещение резцовой головки от станочной межосевой линии –  $B_0$ ;
- делительный диаметр резцовой головки –  $d_0$ ;
- углы и делительная ширина резцов –  $\alpha_{0R,L}$  и  $S_0$  соответственно;
- отношение величины подачи к скорости доворота колеса –  $p_0$ .

Расчет станочной наладки производится в ходе синтеза локализованного контакта, следующего за проектированием сопряженной спироидной передачи, и осуществляется в два этапа:

- выбор параметров формообразования по условиям касания известных сопряженных и будущих формируемых поверхностей в заданных расчетных точках;
- проверка правильности выбора по величинам отклонений (модификаций) формируемой поверхности от сопряженной.

При выборе параметров на первом этапе исходят из того, что в расчетных точках нормали  $\mathbf{n}$  к известным сопряженным поверхностям должны быть ортогональны векторам  $\mathbf{v}_{02}^{(1)}$  и  $\mathbf{v}_{02}^{(2)}$  независимых относительных движений и векторам  $\mathbf{f}_0$ , касательным к производящим линиям – режущим кромкам резца:

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

$$\begin{aligned} n\mathbf{v}_{02}^{(2)} &= 0, \\ n\mathbf{f}_0 &= 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Вид полученных алгебраических уравнений таков, что положение расчетных точек на зубе и часть параметров –  $p_0, \Sigma_0, z_0, d_0$  – удобно задавать (их проектировщик может варьировать), а оставшуюся часть параметров – рассчитывать из условий (1). В описанном ниже исследовании показано, как изменяется геометрия зубьев в зависимости от изменения задаваемых параметров.

На втором этапе рассчитываются координаты точек формируемой (модифицированной) поверхности. Расчет ведется по условию компланарности трех векторов –  $\mathbf{v}_{02}^{(1)}, \mathbf{v}_{02}^{(2)}$  и  $\mathbf{f}_0$ , – выполняемому в искомым точках:

$$[\mathbf{f}_0, \mathbf{v}_{02}^{(1)}, \mathbf{v}_{02}^{(2)}] = 0. \quad (2)$$

Расстояния между найденными точками модифицированной поверхности и известными к началу расчета точками сопряженной поверхности зуба – модификации – удобно представить в виде линий уровня на плоской развертке зуба – рис. 2. По их величинам на границах активной поверхности зуба судят о степени продольной и профильной модификации.

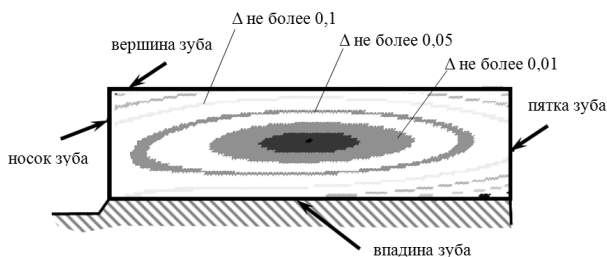


Рис. 2. Поле модификации на плоской развертке зуба

### Численное исследование модификаций зубьев

Численное исследование проведено для колеса передачи с параметрами:

- межосевое расстояние  $a_{w1} - 40$  мм;
- внутренний/внешний диаметр  $d_{e2} / d_{i2}$  колеса – 120/155;
- наружный диаметр червяка  $d_{a1} - 48$  мм;
- передаточное отношение  $i - 11,67$ ;
- осевой модуль червяка  $m_{x0} - 2,75$ ;
- нормальные углы  $\alpha_n$  профиля червяка SZK1 (левый/правый) –  $28^\circ/12^\circ$ .

#### Важные особенности расчета

Первые расчеты показали, что в новой схеме практически невозможно достичь благоприятной продольной модификации зубьев, когда режцы, формирующие противоположные боковые поверхности зубьев, находясь в одной торцевой плоскости (рис. 3) – плоскости резов необходимо несколько разводить вдоль оси режцовой головки. Таким образом, на режцовой головке должны быть две группы резов – одна из них должна окончательно формиро-

вать, например, левую боковую поверхность зуба, другая – правую, и вместо одного параметра  $B_0$  появляется два –  $B_{0L}$  и  $B_{0R}$ .

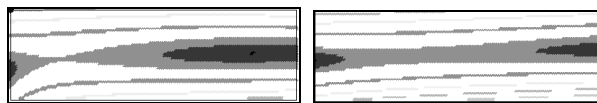


Рис. 3. Модификации разноименных поверхностей при одном параметре  $B_0$  (здесь и далее слева – модификации левых поверхностей зубьев, справа – правых)

Аналогичная сложность связана с выбором единого для обеих формируемых поверхностей параметра подачи  $p_0$ : подбором параметров можно обеспечить либо правильную модификацию одной из боковых поверхностей, либо в равной степени неправильную (рис. 4) – для обеих. Последнее на практике ведет к мостовому контакту. Чтобы избежать этого, необходимо задавать разные параметры для разноименных боковых поверхностей ( $p_{0L}$  и  $p_{0R}$ ), т. е. выполнять отдельный рабочий ход инструмента для формирования каждой из последних.

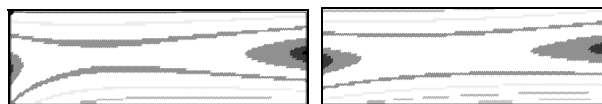


Рис. 4. Модификации разноименных поверхностей при одном параметре  $p_0$

Обнаруженные две особенности означают, что у каждого из резов головки одна из двух боковых режущих кромок является рабочей (формирует соответствующую боковую поверхность зуба окончательно), вторая – вспомогательной, причем рабочая кромка является таковой лишь на одном из двух ходов инструмента. Все это требует, кроме основного расчета геометрии модифицированного зуба, выполнения трех дополнительных проверок на срезание сформированной поверхности:

- рабочей кромкой на вспомогательном для нее ходу инструмента;
- вспомогательной кромкой на рабочем ходу;
- вспомогательной кромкой на вспомогательном ходу.

Обычно с помощью выбора некоторого заужения реза по сравнению с витком червяка удается избежать и указанного срезания, и заострения резов.

#### Выбор диаметра $d_0$ режцовой головки

Основное влияние этот параметр оказывает на степень профильной модификации зубьев (рис. 5). Это, на наш взгляд, является положительной стороной разрабатываемого метода: в отличие от методов-аналогов имеется возможность сохранить технологичный прямоугольный профиль для инструментов, обрабатывающих и витки червяков, и зубья колес и сравнительно просто и надежно обеспечивать локализацию контакта по высоте зубьев.

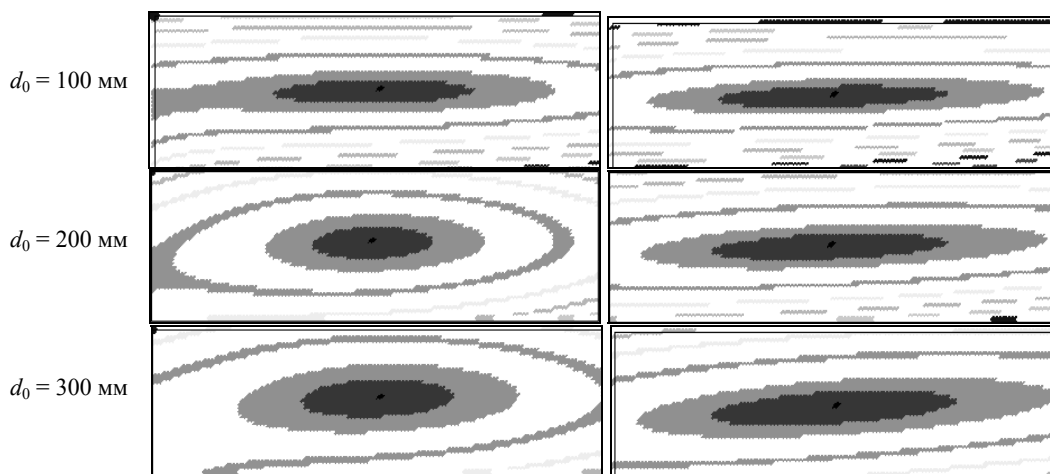


Рис. 5. Влияние выбора диаметра резцовой головки

*Выбор параметра подачи  $p_0$*

Удобно отсчетное значение этого параметра выбирать по формуле

$$p_0 = 0,5 m_{x1} z_{(1)},$$

где  $z_{(1)}$  – число заходов червяка. Для рассмотренной передачи отсчетное значение  $p_0$  составило 4,125. Как

видно на рис. 6, параметр  $p_{0L}$  для левой поверхности зуба следует выбирать несколько меньшим отсчетного значения, для правой ( $p_{0R}$ ) – несколько большим. Этот параметр, таким образом, является основным в регулировании степени продольной модификации зубьев.

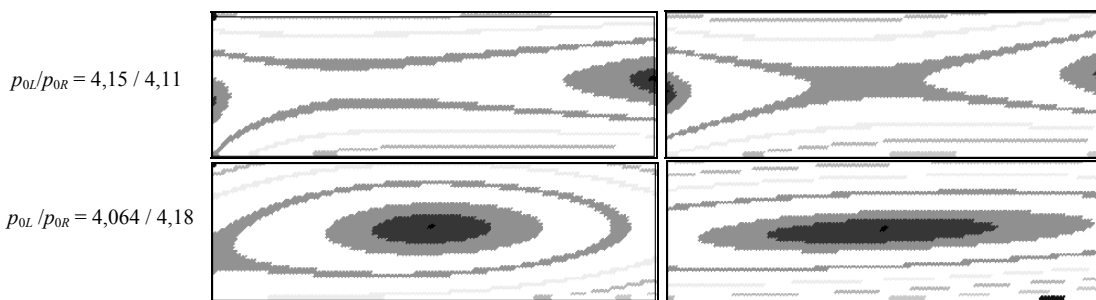


Рис. 6. Влияние выбора параметра подачи

*Выбор условного числа резцов  $z_{(0)}$*

Параметр имеет во многом аналогичное влияние с параметром  $d_0$  (см. рис. 5 и 7). Для выбора числа резцов также удобно пользоваться отсчетным значением

$z_{(0)} = d_0 / m_{x1}$ . На рис. 7 показаны поля модификаций для разных чисел резцов при  $d_0 = 200$  мм (отсчетное значение  $z_{(0)} = 72,7$ ).

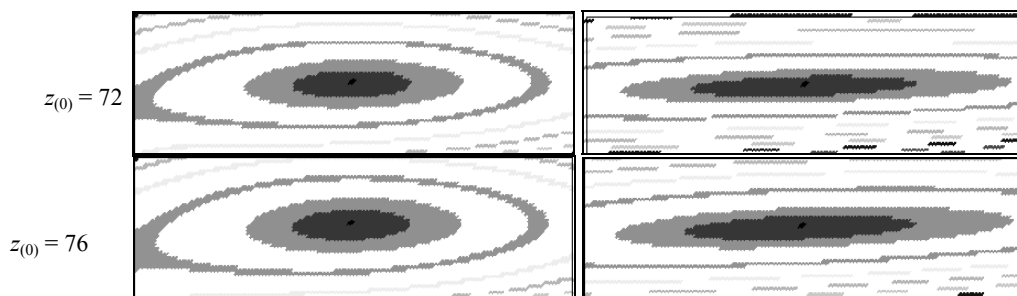


Рис. 7. Влияние выбора условного числа резцов

*Выбор межосевого угла  $\Sigma_0$*

Как видно на рис. 8, для любых исследованных значений  $\Sigma_0$  можно подобрать величины остальных параметров наладки, чтобы добиться нужной продольной модификации. Ортогональное расположение

осей благодаря исключительной простоте наладки (простоте выставления общей плоскости резцов головки относительно оси заготовки колеса) имеет большое предпочтение.

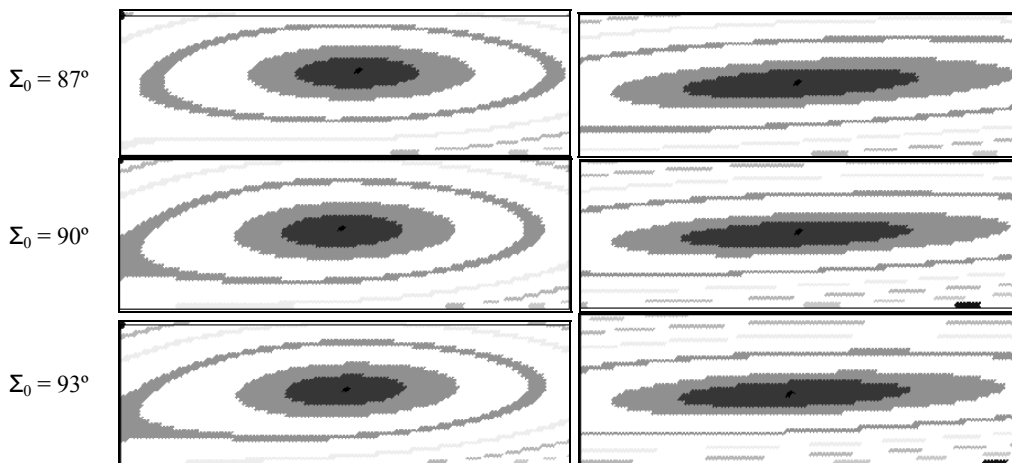


Рис. 8. Влияние выбора станочного межосевого угла

**Аспекты практической реализации и улучшение метода**

На наш взгляд, наиболее рациональной является реализация нового метода на широко распространенном токарно-винторезном станке с ЧПУ при некоторой его модернизации, принципиально заключающейся в следующем (рис. 9):

- на суппорте станка устанавливается кронштейн (стойка), несущий на себе резцовую головку с приводом;
- УЧПУ станка должно иметь входы для трех управляемых координат: углов поворота нарезаемого колеса и резцовой головки и поперечной подачи.

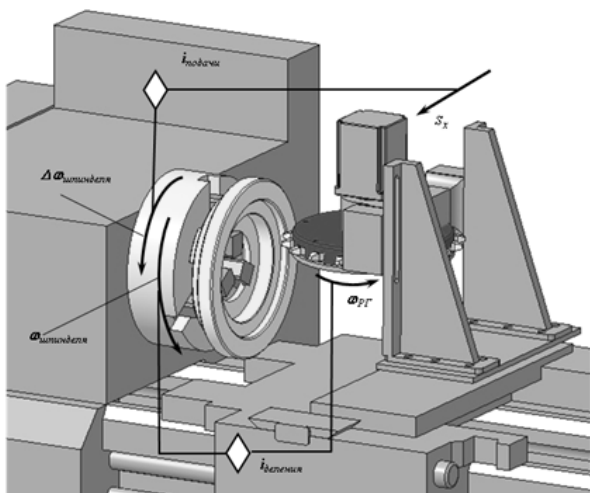


Рис. 9. Реализация нового метода на токарно-винторезном станке с ЧПУ

Полученные и описанные выше первые результаты расчетов дают основания для некоторого изменения схемы формообразования, а именно: взамен прямолинейного поперечного движения суппорта использовать круговую подачу (рис. 10) с тем расчетом, чтобы резцовая головка в большей степени углублялась в заготовку при формировании торцовых участков зубьев.

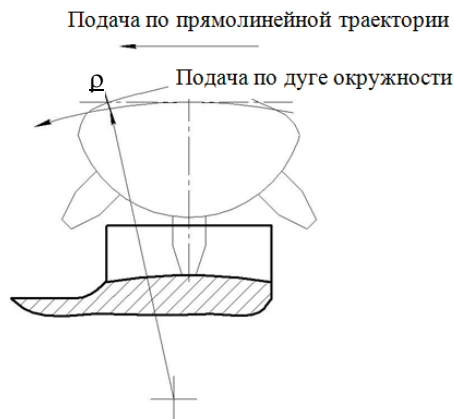


Рис. 10. Круговая подача резцовой головки

Это обеспечит большую степень продольной модификации и, что особенно важно, возможность формирования нужной модификации зуба на едином ходу (с единым параметром  $\rho_0$ ) инструмента для различных боковых поверхностей. Такое усовершенствование схемы требует одновременного управления четырьмя координатами. Однако это вполне обычная задача для современных УЧПУ.

\*\*\*

E. S. Trubachev, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University  
 S. E. Loginov, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

**Choosing the parameters of spiroid gearwheel tooth machining by a plane cutting head**

The main relations in geometrical tooth modifications of spiroid gearwheels cut by a plane cutting head are considered with account of generating parameters. Recommendations on the choice of parameters and on further development of the tooth cutting method are given on the base of the research results.

**Keywords:** spiroid gear, tooth cutting