

УДК 621.833

***В.Д. ПЛАХТИН***, докт. техн. наук, МГОУ,  
***А.П. ДАВЫДОВ***, канд. техн. наук, РИ(ф) МГОУ,  
***А.Н. ПАРШИН***, асп., МГОУ

### **ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС С АРОЧНЫМИ ЗУБЬЯМИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПАЛЬЦЕВЫХ ФРЕЗ**

У статті представлена методика виготовлення зубчатих коліс з арочними зубами із застосуванням пальцевих фрез. У пропонованому способі виготовлення зубчатих коліс з арочними зубами, на відміну від відомих способів, чистове нарізування опуклою і увігнутою евольвентних поверхонь зубців виконується однією пальцевою фрезою при заданій кривизні лінії зсуву початкового контуру на розгортці ділильного циліндра. При зміні заданої кривизни подовжнього профілю арочних зубів потрібна тільки заміна стандартної фрези на фрезу другого діаметру. Це забезпечує широку універсальність пропонованої технології нарізування коліс з арочними зубами за пропонованим способом і його застосування для нарізування коліс різного призначення.

In the article the method of making of gear-wheels is presented with arched teeth with using of finger milling cutters. In the offered method of making of gear-wheels with arched teeth, unlike the known methods, clean cutting protuberant and concave evolvent of the surfaces teeth executed one finger milling cutter at the set curvature of line of displacement of initial contour on the involute of the pitch cylinder. At the change of the set curvature of longitudinal type of arched teeth substituting of standard milling cutter is required only by the milling cutter of other diameter. It provides wide universality of the offered technology of cutting of wheels with arched teeth on the offered method and his application for cutting of wheels of the different setting.

Применение зубчатых колес с арочными зубьями для наружного зацепления вместо прямозубых является эффективным направлением повышения нагрузочной способности, долговечности и снижения уровня шума при работе зубчатых передач [1].

В настоящее время для нарезания арочных зубьев зубчатых колёс применяются резцовые головки, резцы которых расположены по окружности и выполнены с нулевым профилем режущей кромки [2, 3, 4]. Общим недостатком нарезания арочных зубьев таким инструментом является необходимость применения индивидуальных резцовых головок для нарезания зубчатых колёс с различной формой линии смещения исходного контура, а также различных головок для нарезания выпуклой и вогнутой поверхностей арочных зубьев. Кроме того, при использовании таких резцовых головок невозможно нарезание бочкообразных арочных зубьев, обеспечивающих существенное повышение нагрузочной способности арочного зацепления.

Указанные недостатки ограничивают распространение арочных зубчатых передач.

С целью устранения указанных недостатков на кафедре «Теория механизмов и машин» Московского Государственного открытого университета совместно с ООО НПО «Зубчатые трансмиссии» разработан способ нарезания арочных зубчатых колёс на станках с ЧПУ с использованием стандартных цилиндрических пальцевых фрез с концевым сферическим участком. Диаметр концевой сферической части фрезы принимается равным диаметру ее цилиндрической части, который определяется в зависимости от продольного профиля нарезаемого арочного зуба – с постоянной шириной в поперечных сечениях или бочкообразного.

Для реализации способа на основе применения автоматизированного программного комплекса T-Flex разработана методика определения параметров пальцевой фрезы и станочного зацепления, обеспечивающих нарезание арочных зубьев требуемого профиля. К этим параметрам относятся диаметр пальцевой фрезы, координаты центра концевой режущей сферической части фрезы и положение её оси в пространстве при нарезании. При определении параметров нарезание зубьев моделировали перемещением пальцевой фрезы 1 по боковым поверхностям зубьев некоторой условной арочной инструментальной рейки 2, соответствующей продольному профилю выпуклой или вогнутой поверхностей зуба нарезаемого колеса, рис. 1.

С помощью полученных массивов параметров пальцевой фрезы и станочного зацепления колес по разработанной методике нарезание арочных зубьев выполняется в следующем порядке: черновое нарезание эвольвентных поверхностей впадин между зубьями; нарезание криволинейных переходных участков впадин от эвольвентных поверхностей к цилиндрической; цилиндрической поверхности впадины между смежными зубьями; чистовая обработка эвольвентных поверхностей.

Для сокращения времени обработки при черновом нарезании целесообразно последовательно использовать несколько пальцевых фрез разного диаметра. Диаметр фрез должен уменьшаться по мере приближения к центру заготовки при формировании впадин между зубьями с учётом припуска на черновое фрезерование.

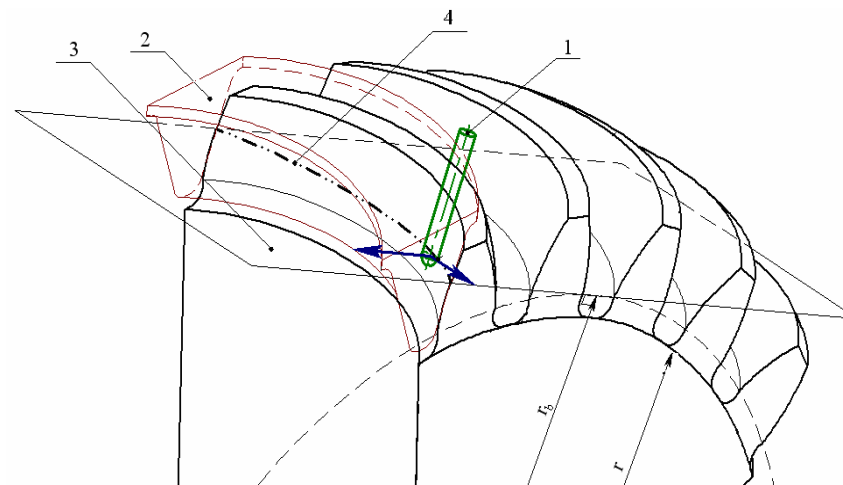


Рис. 1. Станочное зацепление пальцевой фрезы с арочным зубом

При чистовом нарезании после термической обработки колес с арочными зубьями целесообразно использовать фрезы с твердосплавным наконечником.

При нарезании эвольвентных поверхностей арочных зубьев профилирующая точка находится на окружности сопряжения цилиндрической части фрезы со сферической. При этом профилирующая точка фрезы 1 совершает сложное движение в плоскости 3 станочного зацепления – вдоль оси нарезаемого колеса и перпендикулярно этой оси (направления показаны стрелками) и находится на пространственной линии контакта 4 нарезаемой поверхности арочного зуба с зубом условной инструментальной рейки 2.

Нарезание криволинейных переходных участков впадин между зубьями от эвольвентных участков к цилиндрическим выполняется концевым сферическим участком фрезы. При этом ось пальцевой фрезы также расположена перпендикулярно плоскости станочного зацепления и совершает такое же сложное движение вдоль оси нарезаемого колеса и перпендикулярно этой оси. В процессе нарезания радиус-вектор профилирующей точки относительно оси колеса уменьшается, и эта точка располагается в плоскости параллельной плоскости станочного зацепления.

После обработки боковых арочных поверхностей смежных зубьев выполняется нарезание цилиндрической поверхности впадин радиуса  $r$  между зубьями. При этом ось фрезы расположена по нормали к цилиндрической поверхности и совершает движение вдоль оси нарезаемого колеса и перпендикулярно этой оси с подачей к центру колеса. При этом профилирующая точка находится на этой поверхности.

После нарезания вогнутой и выпуклой боковых поверхностей смежных зубьев и цилиндрической поверхности впадины между ними для нарезания следующей пары смежных зубьев производится поворот заготовки относительно своей оси на один или несколько угловых шагов, и процесс нарезания боковых и цилиндрической поверхностей между зубьями повторяется. Последовательность процесса деления, обработки поверхностей смежных зубьев и цилиндрических поверхностей впадин между ними может быть различной. Эта последовательность зависит от особенностей станка с ЧПУ, на котором нарезают цилиндрические колёса с арочными зубьями.

Для изготовления арочных зубчатых колёс с различными параметрами станочного зацепления в автоматизированном программном комплексе T-Flex созданы параметрические трехмерные модели процесса обработки колёс, необходимые для подготовки программ для станков с ЧПУ. С помощью трехмерных моделей определяются текущие координаты центра концевой сферической участка фрезы  $x_{fd}$ ,  $y_{fd}$ ,  $z_{fd}$ , рис. 2, угол  $\alpha$  между проекцией оси фрезы на центральное поперечное сечение зубчатого колеса и осью впадины между зубьями в этом сечении и угол поворота заготовки колеса.

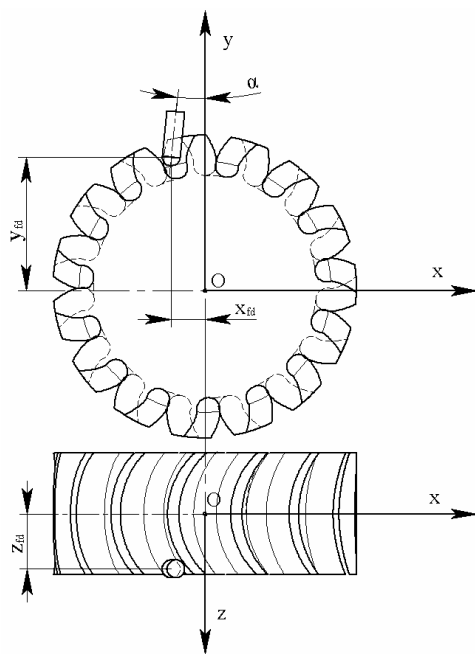


Рис. 2. Текущее положение пальцевой фрезы при нарезании арочного зуба на 5-ти координатном станке

Для нарезания арочных зубчатых колёс наиболее эффективно использование станков с ЧПУ с 5-ю координатами, однако возможно использование и 4-х координатных станков. В этом случае координата, характеризующая угол наклона фрезы  $\alpha$ , совмещается с координатой, выполняющей функцию деления при нарезании зубчатого колеса, и заготовка зубчатого колеса поворачивается на этот угол в процессе обработки. Координаты центра сферы концевой участка пальцевой фрезы  $x'_{fd}$ ,  $y'_{fd}$ ,  $z'_{fd}$ , рис. 3, для 4-х координатного станка определяются из выражений:

$$\begin{aligned} x'_{fd} &= x_{fd} \cdot \cos(\alpha) + y_{fd} \cdot \sin(\alpha); \\ y'_{fd} &= -x_{fd} \cdot \sin(\alpha) + y_{fd} \cdot \cos(\alpha); \\ z'_{fd} &= z_{fd}. \end{aligned}$$

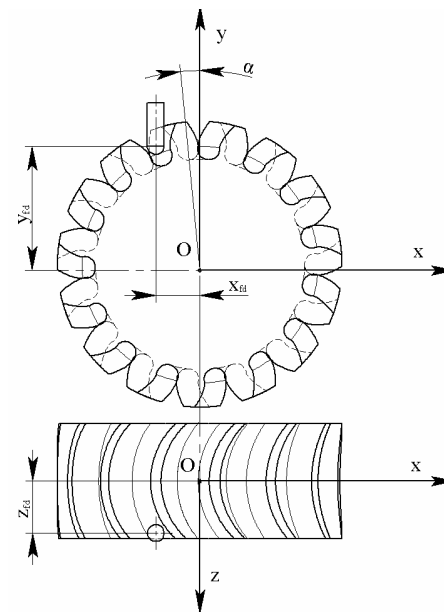


Рис. 3. Текущее положение пальцевой фрезы при нарезании арочного зуба на 4-х координатном станке

В автоматизированном программном комплексе T-Flex модели впадины между зубьями после обработки эвольвентных участков выпуклой и вогнутой боковых поверхностей фрезой одного диаметра принимали вид, показанный на рис. 4, а, б. После обработки криволинейных переходных участков впадины между зубьями от эвольвентных участков к цилиндрическим фрезой одного диаметра модели впадины принимали вид, как на рис. 5, а, б.

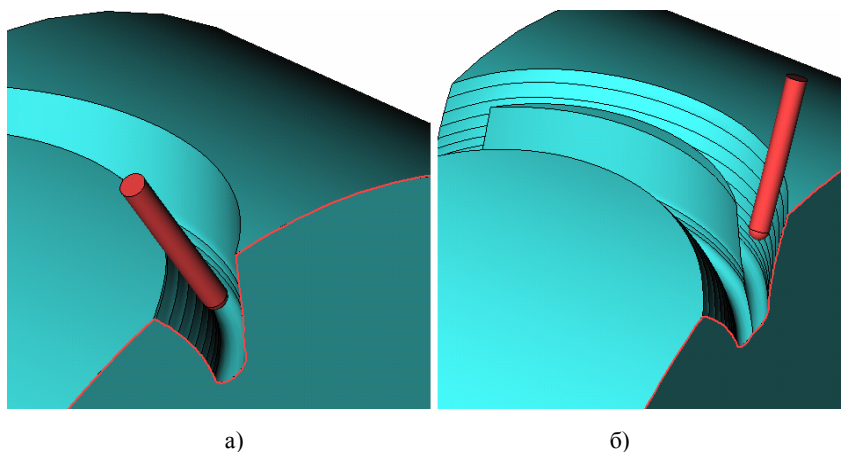


Рис. 4. Трехмерные модели впадин между зубьями после обработки эвольвентных участков боковых поверхностей арочных зубьев при нарезании выпуклой (а) и вогнутой (б) поверхностей

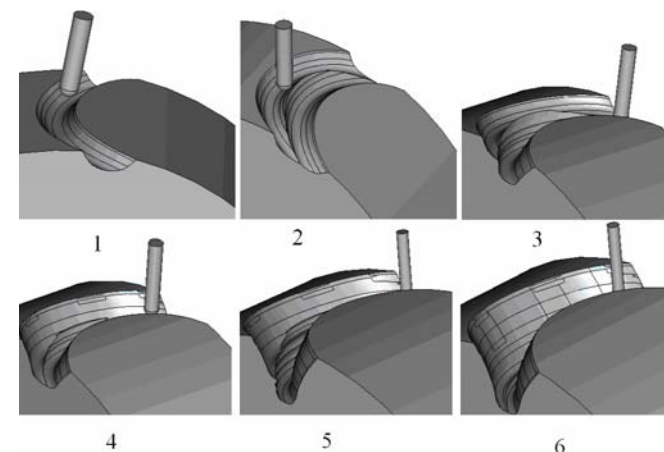


Рис. 6. Трехмерные модели впадин между зубьями при нарезании фрезами разного диаметра после черновой обработки эвольвентных участков боковых поверхностей

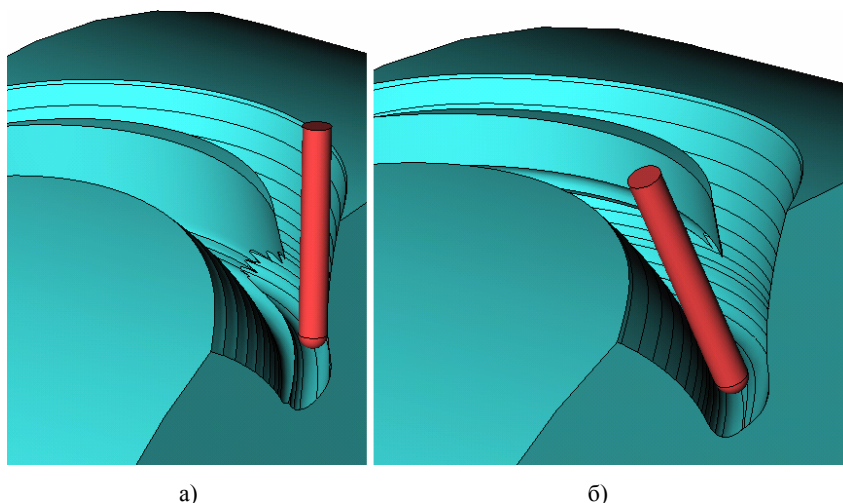


Рис. 5. Трехмерные модели впадин между зубьями после обработки переходных криволинейных участков фрезой одного диаметра

После черновой обработки эвольвентных участков выпуклой и вогнутой боковых поверхностей несколькими фрезами модели принимали вид в последовательности от 1 до 6 см, рис. 6.

В автоматизированном программном комплексе T-flex созданы параметрические трехмерные модели расчета траектории движения центра сферического концевой участка пальцевой фрезы при нарезании. Возможные траектории движения сферического концевой участка фрезы при обработке эвольвентного участка выпуклой боковой поверхности арочного зуба, смоделированные в автоматизированном программном комплексе T-flex, представлены на рис. 7, а, б; при обработке переходного криволинейного участка впадины между зубьями на рис. 7, в, г.

На рис. 8 показаны цилиндрические колеса с арочными зубьями с модулем 4, числами зубьев 18 и 32 и радиусом развертки линии смещения исходного контура на делительном цилиндре 45мм. Колеса нарезаны на обрабатывающем центре 1П730 «Рязанского станкостроительного завода» по заказу металлургического комбината ОАО «Северсталь».

В предлагаемом способе изготовления зубчатых колёс с арочными зубьями, в отличие от известных способов, чистовое нарезание выпуклой и вогнутой эвольвентных поверхностей зубьев выполняется одной пальцевой фрезой при заданной кривизне линии смещения исходного контура на развертке делительного цилиндра. При изменении заданной кривизны продольного профиля арочных зубьев требуется только замена стандартной фрезы на фрезу другого диаметра. Это обеспечивает широкую универсальность предлагаемой технологии нарезания колёс с арочными зубьями по предлагаемому способу и его применения для нарезания колёс различного назначения.

Предлагаемый способ позволяет изготавливать также цилиндрические колёса с бочкообразными [5, 6] арочными зубьями, обеспечивающими оптимальное распределение контактных напряжений по всей их длине. Благодаря

этому повышается износостойкость и нагрузочная способность арочного зацепления.

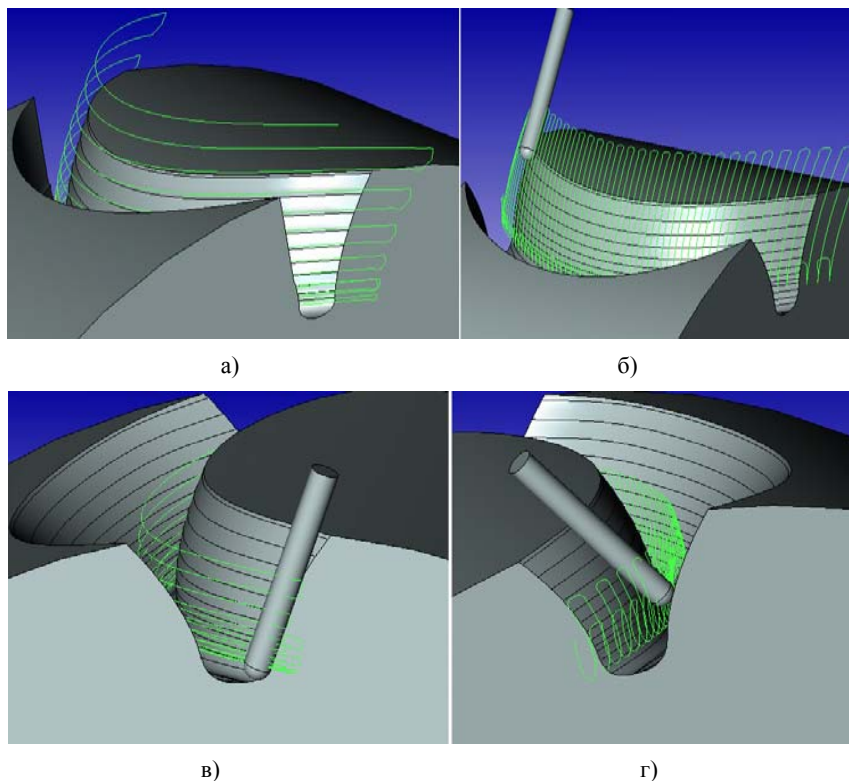


Рис. 7. Возможные траектории движения пальцевой фрезы при нарезании арочных зубьев:

а, б – эвольвентного участка выпуклой боковой поверхности арочного зуба;  
в, г – переходных криволинейных участков впадины между зубьями

Предлагаемым способом можно также нарезать цилиндрические колёса с обычными или криволинейными зубьями, у которых заданная линия смещения исходного контура на развёртке делительного цилиндра отлична от дуги окружности, а также эвольвентные колёса с различным смещением условной инструментальной рейки, различным углом её исходного профиля и дробным торцевым модулем. Это приводит к расширению универсальности применения предлагаемого способа.

Таким образом, предлагаемый способ изготовления зубчатых колёс с арочными зубьями позволяет повысить универсальность технологии изготовления, износостойкость и нагрузочную способность арочного зацепления.



Рис. 8. Арочные зубчатые колеса

**Список литературы:** 1. Плахтин В.Д., Давыдов А.П., Паришин А.Н. Анализ зацепления цилиндрических колёс с арочными зубьями – Вестник машиностроения. – 2006. – №11. – С.3–7. 2. Беляев А.И., Сирицин А.И., Сирицин Д.А. Обеспечение теоретически точной геометрии зубьев цилиндрических арочных передач // Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. Качество и долговечность зубчатых передач и редукторов. – Харьков, 1995. – С.69. 3. Беляев А.И., Сирицин А.И., Сирицин Д.А. Особенности изготовления и применения высокоточных арочных тяговых зубчатых передач – Вестник машиностроения. – 1997. – №1. – С.3–6. 4. Беляев А.И., Сирицин А.И., Сирицин Д.А. Геометрический расчёт и технология нарезания колёс с арочными зубьями – Вестник машиностроения. – 1999. – №1. – С.3–8. 5. Плахтин В.Д., Паришин А.Н. Синтез цилиндрических зубчатых передач с арочными бочкообразными зубьями // Тез. докл. междунар. конф. по теории механизмов и механике машин. – Краснодар, 2006. – С.79–80. 6. Плахтин В.Д., Паришин А.Н. Синтез зацепления цилиндрических зубчатых колёс с арочными бочкообразными зубьями – Технология машиностроения. – 2007. – №2 – С.46–53.

Поступила в редколлегию 17.05.08