

КОМПЬЮТЕРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗУБОНАРЕЗАНИЯ ЧЕРВЯЧНО-МОДУЛЬНЫМИ ФРЕЗАМИ

© 2009 Ю. В. Полянсков, А. Р. Гисметулин, А. В. Николаев, К. В. Грибовская

Ульяновский государственный университет

Статья посвящена новому методу разработки технологического процесса получения червячных колес с использованием моделей, полученных в CAD – системе. Для разработки технологического процесса используются три 3-D модели: 3-D модель исходного производящего червяка, модель процесса обработки и результирующая 3-D модель червячного колеса.

CAD – системы, червячно-модульная фреза, червячное колесо, исходный производящий червяк, моделирование

Введение

В настоящее время одной из главных концепций модернизации отечественного производства стала идея внедрения компьютерных систем во все сферы жизнедеятельности предприятия. В зарубежной литературе эта концепция носит название Computer Integrated Manufacturing (СІМ). Области применения компьютерных технологий на производстве включают в себя самые разнообразные сферы: от автоматизированного проектирования и планирования производств до страхования качества продукции. Однако, как показывают современные исследования, наибольшего экономического эффекта можно достичь, внедряя компьютерные технологии на этапе проектирования изделий и моделирования самого производства.

Внедрение систем автоматизированного проектирования на машиностроительных предприятиях позволяет принципиально изменить процессы технологической подготовки производства. Современные компьютерные системы, такие как, CATIA v5, являются комплексными системами автоматизированного проектирования, технологической подготовки производства и инженерного анализа. В данной работе показано применение этой компьютерной системы при подготовке производства червячной пары для электроусилителя руля автомобиля.

Постановка задачи

Первоначальное внедрение в производство червячной пары для электроусилителя руля автомобиля выполнялось «традиционным» для наших предприятий методом, то

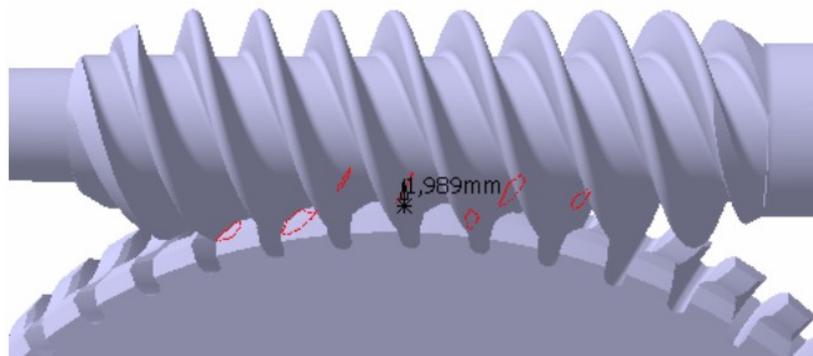


Рис. 1. Червячная передача (красным цветом отмечены места пересечения зубьев червяка и червячного колеса)

есть без применения средств моделирования, но с использованием экспериментальных методов. Эксперименты с применением краски для выявления пятен контакта показали пересечение зубьев червяка и червячного колеса в зонах, показанных на рис. 1.

Очевидно, что для устранения дефектов необходимо провести анализ геометрии червяка и червячного колеса. Геометрия червячного зацепления носит весьма сложный характер, который невозможно анализировать, имея лишь чертежи. Достаточно сказать, что форма зуба червячного колеса на чертеже задается при помощи так называемого исходного производящего червяка [1], то есть фактически инструмента, которым выполняется обработка колеса. Поэтому для построения модели червячного колеса и всего червячного механизма необходима модель процесса обработки, то есть технологии производства (рис. 2).

Так как причина пересечения зубьев червячной пары технологическая, то необходимо произвести анализ инструмента (червячно-модульной фрезы), которым осуществ-

ляется обработка, и самого процесса нарезания. Натурные эксперименты в этом случае приводят к очень большим затратам ресурсов, а самое главное - к потере времени на освоение. Поэтому после серии неудачных производственных экспериментов было принято решение применить подход, связанный с математическим моделированием процесса зубофрезования. В данной работе в отличие от известных подходов применено компьютерное трёхмерное моделирование технологического процесса изготовления червячного колеса, выполненное в системе CATIA v5.

Кроме того, в CATIA v5 моделировался также технологический процесс изготовления червяка, который в данной статье не приводится.

Создание электронной трёхмерной модели инструмента

Для создания электронной трёхмерной модели инструмента использовался чертёж инструмента (червячно-модульной фрезы), которым производилась обработка червячного колеса (рис. 3).

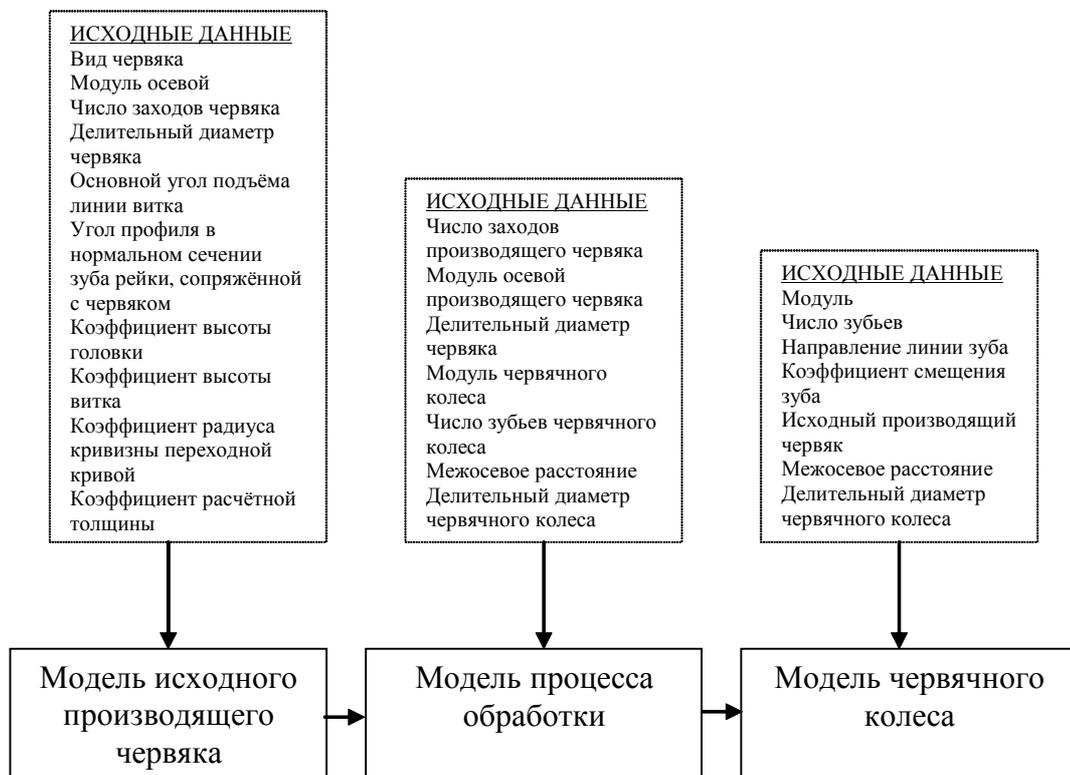


Рис. 2. Схема моделирования червячного колеса

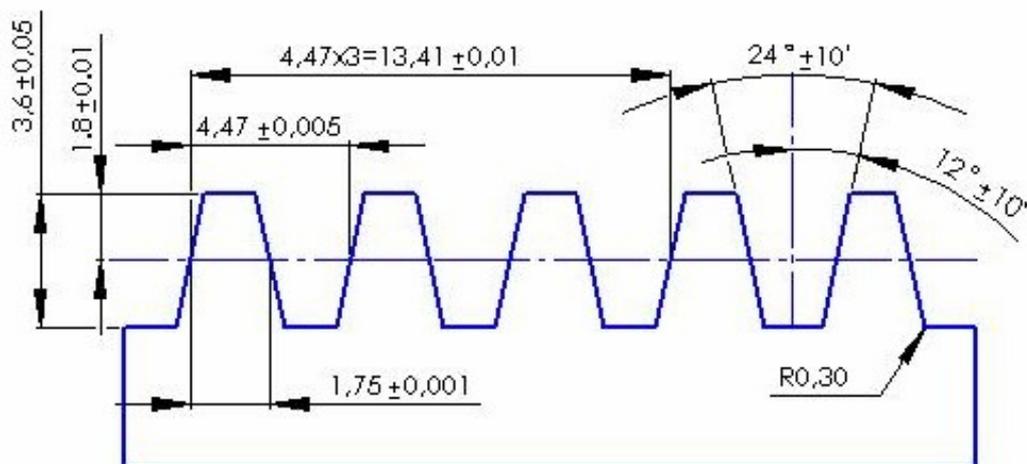


Рис. 3. Фрагмент чертежа фрезы для обработки червячного колеса

Исходные данные:

Модуль нормального колеса	$m_n = 1,5$
Число зубьев	$z = 5$
Угол профиля нарезаемого колеса	$a = 12^\circ \pm 10'$
Угол наклона линии зуба колеса	$b = 18^\circ$
Точность нарезаемого колеса	кл. "В"
Назначение фрезы	чистовая
Материал	P18
Твёрдость режущей части	63...66 HRC
Твёрдость направляющих частей	40...50 HRC
Твёрдость хвостовой части	37...46.5 HRC

Моделирование инструмента проводилось методом вычитания материала, чтобы обеспечить наиболее близкое совпадение с технологическим процессом производства инструмента. Первоначальная модель заготовки

из стали P18 представлена на рис. 4. Здесь же следует отметить, что в системе САТИА можно изначально задавать материал изделия и его свойства (модуль Юнга, коэффициент Пуассона, плотность), как это и сделано в рассматриваемом случае.

Затем на заготовке фрезы были сформированы стружечные канавки.

Нарезание зубьев червячной фрезы в системе САТИА V5 R15 сводилось к протягиванию замкнутого контура (рис. 6), соответствующего впадине между зубьями червячной фрезы в нормальном сечении вдоль винтовой линии (рис. 5).

В итоге получается модель производящего червяка со стружечными канавками (рис. 7). Эту модель уже можно использовать для компьютерного моделирования образования профиля зуба червячного колеса, но для

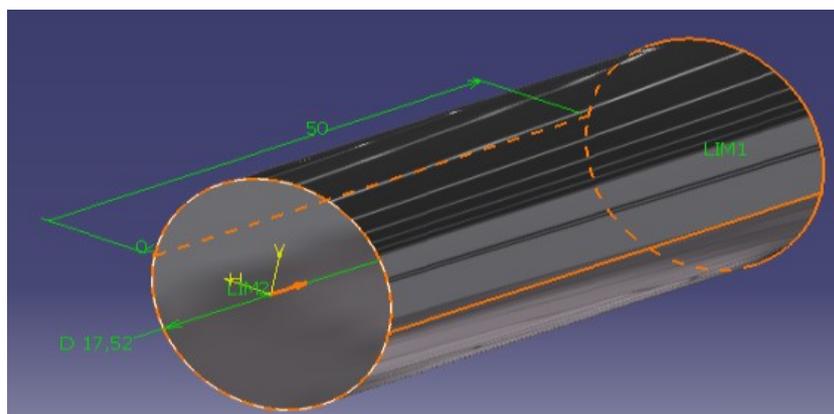


Рис. 4. Модель заготовки

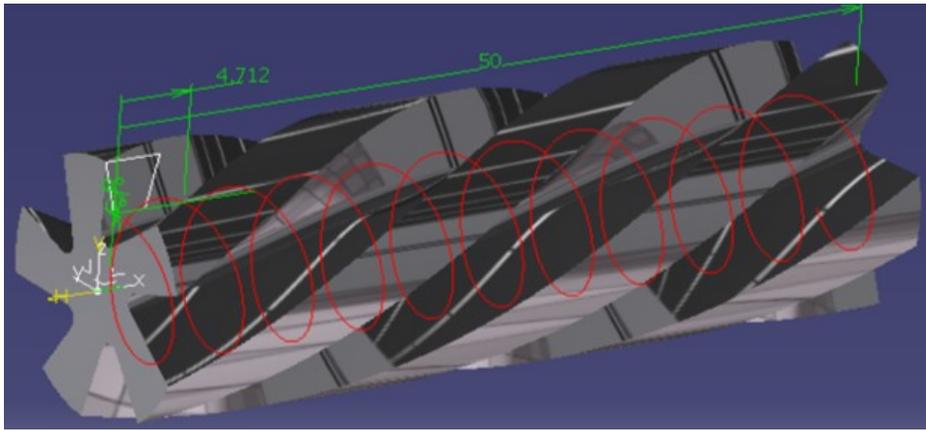


Рис. 5. Модель инструмента с винтовыми стружечными канавками

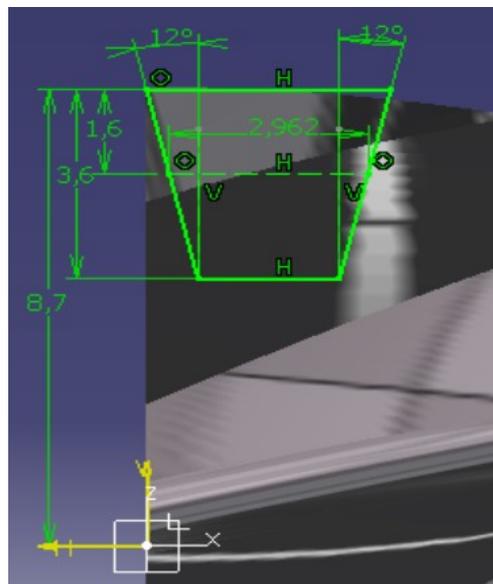


Рис. 6. Профиль впадины между зубьями

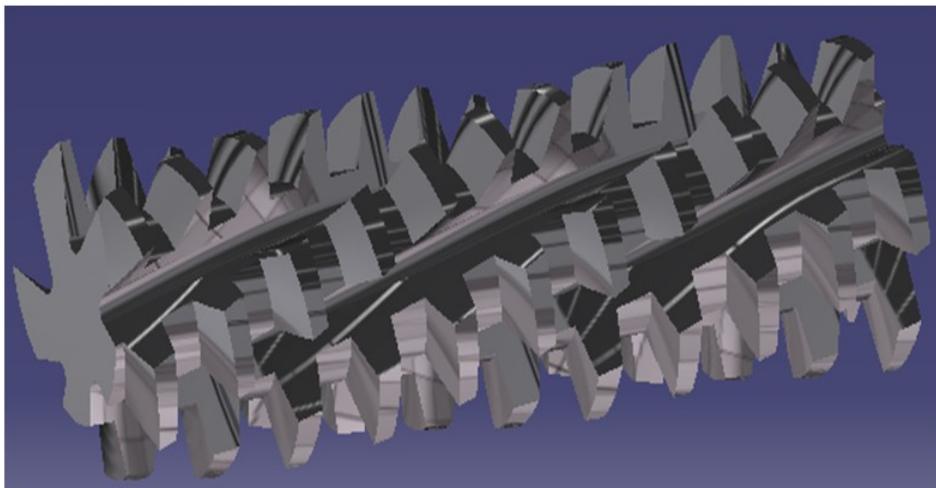


Рис. 7. Формирование зубьев фрезы

анализа износа инструмента – червячной фрезы, необходимо сформировать задние углы.

Для создания задних углов на боковых режущих лезвиях проводятся четыре винтовые линии (рис. 8, а), шаг которых отличен от шага основного винта на величину, рассчитанную с учётом заднего угла на боковых режущих лезвиях. Затем строятся 3 основные поверхности и 2 вспомогательные (рис. 8, б), которые в “сумме” создают своего рода шаблон зуба с задними углами на боковых режу-

щих лезвиях.

Построение главного заднего угла периферийного режущего лезвия (затылование) в системе САПР сводится к удалению материала заготовки путем протягивания замкнутого контура (рис. 8, а) вдоль основной винтовой линии (рис. 9, б).

Завершающей операцией является создание скруглений при вершине и у основания зуба. На рис. 10 представлена окончательная модель червячно-модульной фрезы.

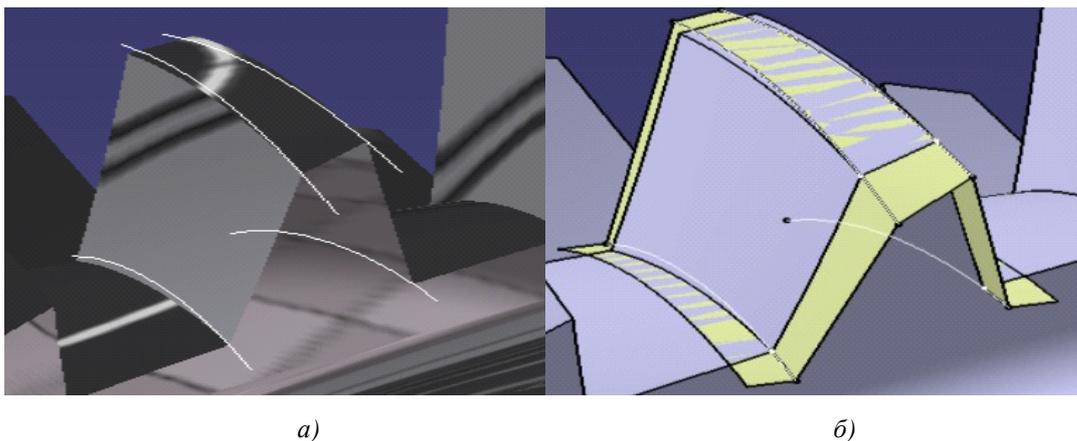


Рис. 8. Формирование задних углов

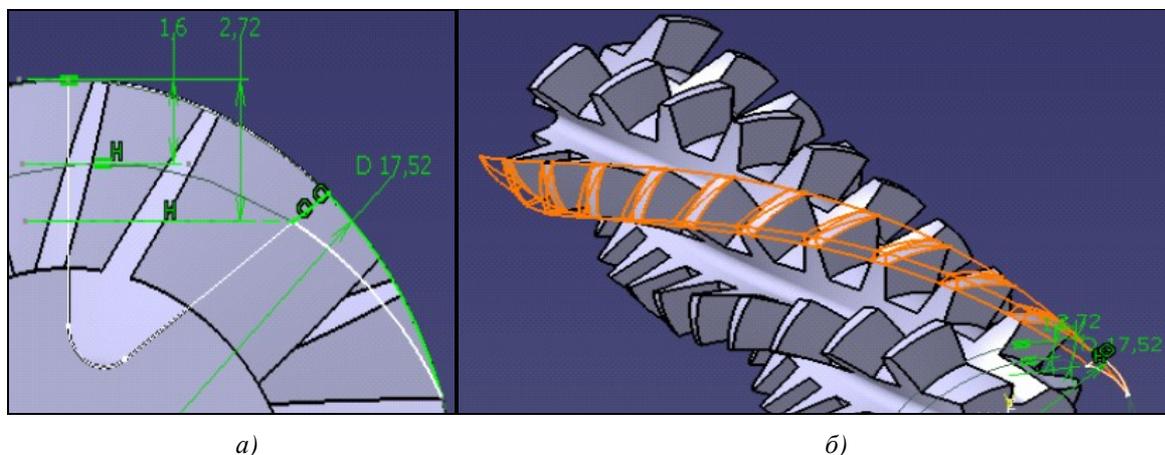


Рис. 9. Процесс затылования фрезы

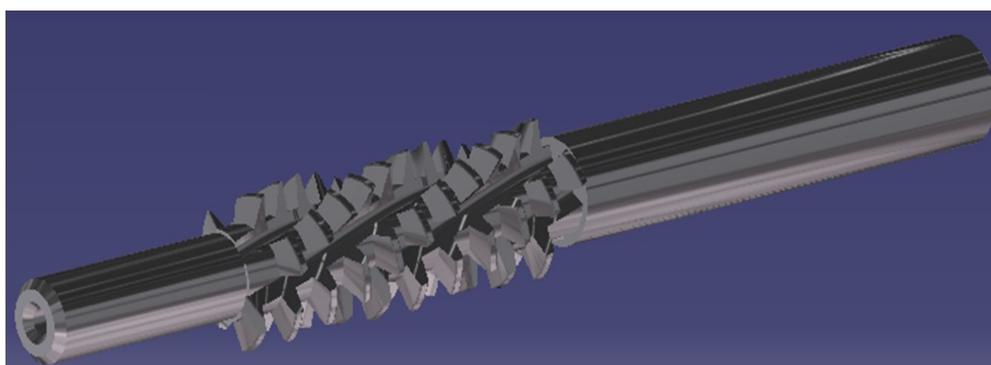


Рис. 10. Модель червячно-модульной фрезы

Моделирование профиля нарезаемой впадины червячного колеса

Следующим этапом была оценка точности профиля нарезаемой впадины между зубьями червячного колеса. Исходными данными для моделирования процесса зубонарезания червячно-модульной фрезой являются геометрические и конструктивные пара-

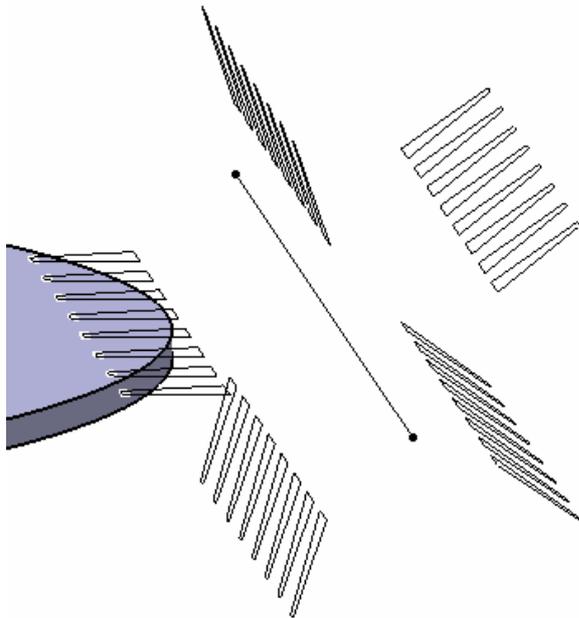


Рис. 11. Моделирование зубонарезания червячно-модульной фрезой

метры модели фрезы, а также геометрические параметры червячного колеса, взятые из рабочих чертежей детали (рис. 11).

Процесс зубонарезания представляет собой согласованное и непрерывное вращение заготовки и фрезы. При обработке однозаходной фрезой её поворот на один зуб приводит к повороту заготовки на угол $\alpha = 2p / z \cdot z_o$, где z, z_o - число зубьев нарезаемого колеса и стружечных канавок фрезы, соответственно. Удаление материала зубом фрезы производится с помощью функции Groove.

В данном примере червячное колесо нарезалось червячно-модульной фрезой, у которой передний угол был равен нулю. Далее рассматривается нарезание впадины червячного колеса фрезой, у которой передний угол равен 15° . Последовательность шагов моделирования остаётся та же самая, за исключением того, что каждый профиль зуба должен быть повернут на угол 15° относительно вершинной кромки профиля зуба (рис. 13).

Завершающим этапом моделирования процесса зубонарезания является построение сплайна, сглаживающего шероховатость по-

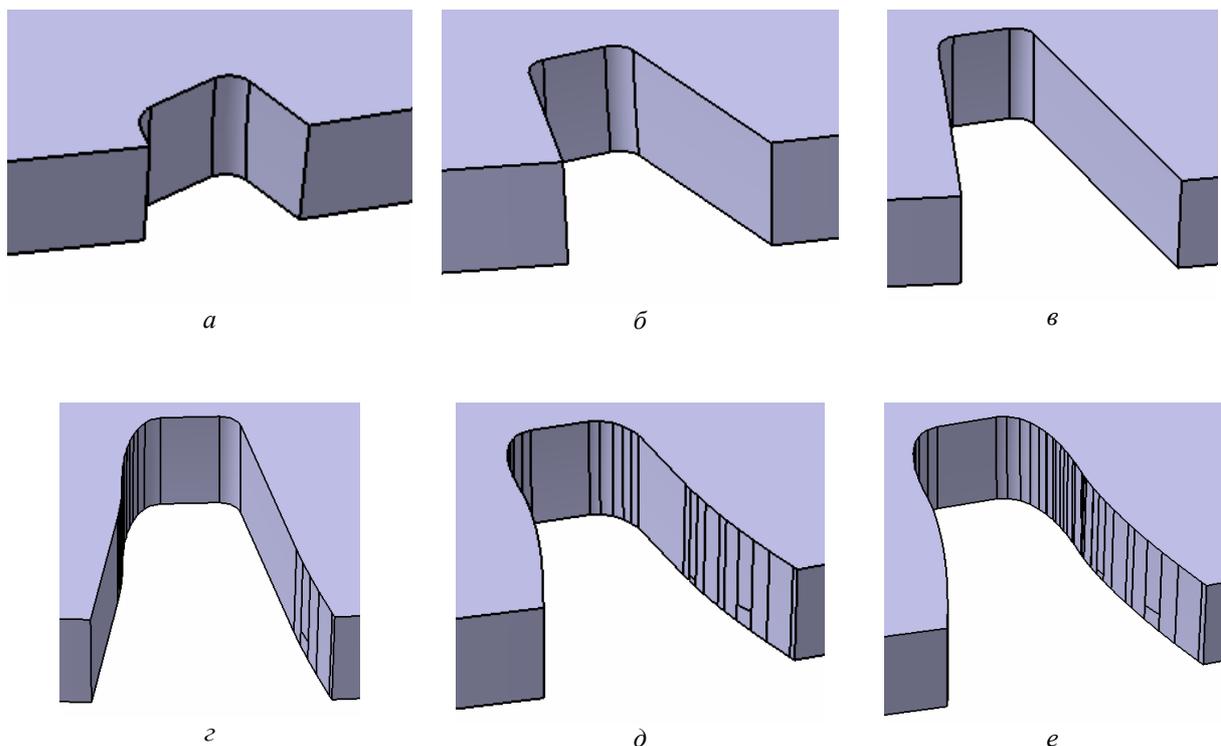


Рис. 12. Профиль впадины между зубьями нарезаемого червячного колеса после обработки: а) 5-м; б) 10-м; в) 15-м; г) 20-м; д) 25-м; е) 30-м зубом червячно-модульной фрезы

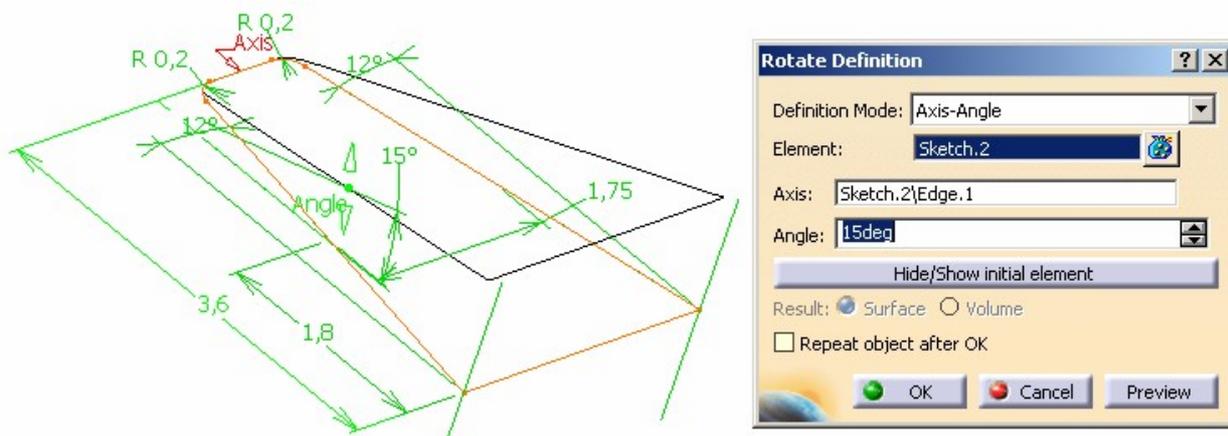


Рис. 13. Профиль зуба червячно-модульной фрезы с передним углом, равным 15°

верхности межзубной впадины. Данную операцию можно осуществить с помощью функции Spline (рис. 14). Оценка точности нарезаемого профиля производилась путём сравнения теоретического контура с фактическим. Максимальное расхождение от эвольвентного профиля составило 0,022 мм. Собственно, этот фактор и предопределил расположение пятен контакта червячного зацепления, полученного при натуральных экспериментах.

Таким образом, моделируя изменение взаимного расположения инструмента и заготовки червячного колеса, модифицируя геометрические параметры инструмента, можно добиться наиболее оптимального расположения пятен контакта, не проводя натуральных экспериментов.

Повышение стойкости инструмента

Для повышения эффективности процесса зубонарезания недостаточно рассматривать в качестве выходного показателя только точность обработки. Поэтому были разработаны подходы, позволяющие по компьютерной модели процесса зубонарезания получить оценку износа червячно-модульной фрезы. Эта оценка основана на зависимости интенсивности износа зубьев червячных фрез от объема срезаемого слоя и увеличения при этом сил резания [2]. Результаты моделирования процесса зубонарезания, представленные на рис. 12, могут быть использованы для оценки сечения срезаемого слоя отдельными зубьями фрезы.

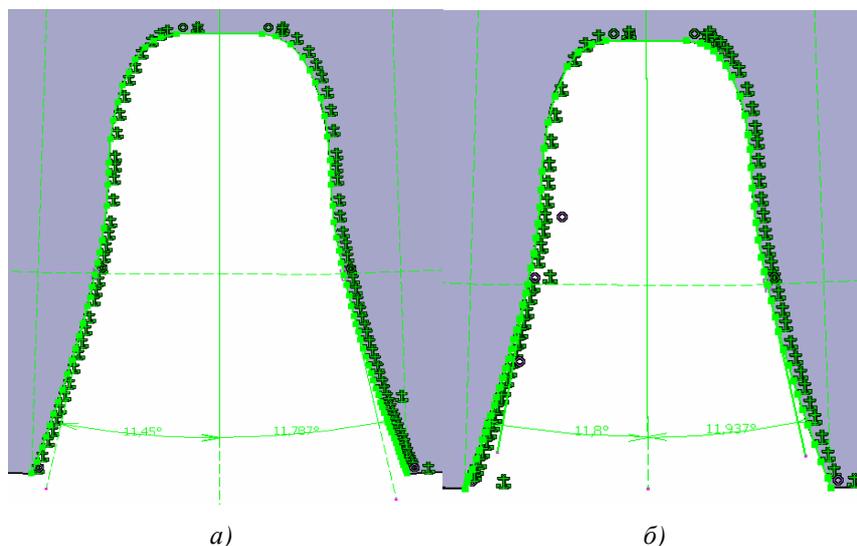


Рис. 14. Построение сплайна соответствующего впадине между зубьями червячного колеса, нарезаемого червячно-модульной фрезой с передним углом, равным: а) 0°; б) 15°

Для оценки напряженного состояния зубьев фрезы проведен силовой анализ червячно-модульной фрезы. При этом анализировалась не вся фреза целиком, а один из её зубьев. Считалось, что нагрузка распределена неравномерно по передней поверхности, максимальная её величина соответствует вершине зуба вдоль поперечной и боковых режущих кромок, что связано с увеличением толщины срезаемого слоя и скорости резания при удалении точки от оси фрезы.

На рис. 15 представлен анализ напряжений, возникающих в зубе фрезы, выполненный с использованием метода конечных элементов.

Разработанная методика компьютерного анализа процесса зубофрезерования позволяет оптимизировать геометрические параметры червячных зуборезных фрез по критериям точности профиля нарезаемых зубчатых колес и интенсивности износа инструмента.

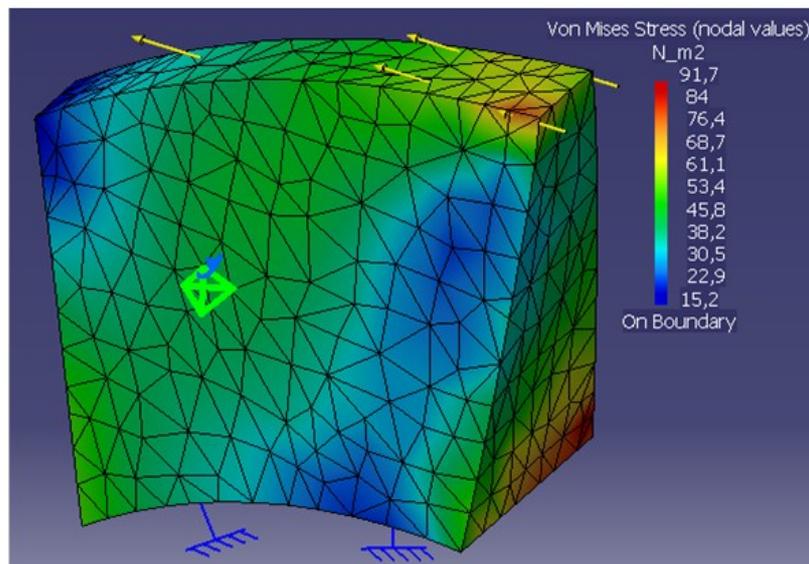


Рис. 15. Результаты силового анализа зуба червячно-модульной фрезы

Библиографический список

- ГОСТ 18498-89 Передачи червячные. Термины, определения и обозначения - М.: Издательство стандартов, 1989. – 89 с.
- Смольников, Н. Я. Результаты математического моделирования процесса формо-

образования переходных кривых зубьев колес при червячном зубофрезеровании / Н. Я.Смольников, Г. Г.Скребнев, А. В.Мельников //Обработка металлов: Научно - технический и производственный журнал.- 2003.- № 4.- С. 27-28.

References

- GOST (State Standard) 18498-89. Worm gearings. Terms, definitions and designations. – Moscow: Izdatelstvo standartov, 1989. – 89 pp.
- Smolnikov, N. Ya. Results of mathematical modeling of the process of shaping wheel

intermediate teeth during gear hobbing / N. Ya. Smolnikov, G. G. Skrebnev, A. V. Melnikov // Obrabotka metallov (Metal machining): Scientific and production journal. – 2003. – No. 4. – pp. 27-28.

COMPUTER DESIGN OF THE GEAR CUTTING PROCESS USING GEAR HOB CUTTERS

© 2009 Yu. V. Polyanskov, A. R. Gismetulin, A. V. Nikolayev, K. V. Gribovskaya

Ulianovsk State University

The paper is devoted to a new method of developing the process of obtaining gear wheels using models obtained in the CAD-systems. Three 3-D models are used in order to develop the process: the 3-D model of the basic worm, the machining process model and the resulting 3-D model of the gear wheel.

CAD-systems, gear hob cutter, gear wheel, basic worm, modeling

Информация об авторах

Полянсков Юрий Вячеславович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой математического моделирования технических систем, Ульяновский государственный университет, ccd@ulsu.ru. Область научных интересов: ИПИ-технологии, разработка АСУ ТП.

Николаев Анатолий Викторович, кандидат технических наук, доцент, директор НИЦ CALS-технологий, доцент кафедры математического моделирования технических систем, Ульяновский государственный университет, ccd@ulsu.ru. Область научных интересов: ИПИ-технологии (Информационная поддержка процессов жизненного цикла изделия).

Гисметулин Альберт Растемович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры математического моделирования технических систем, Ульяновский государственный университет, ccd@ulsu.ru. Область научных интересов: моделирование технических систем и операций механообработки.

Грибовская Кристина Викторовна, студент, Ульяновский государственный университет. Область научных интересов: моделирование и исследование операций в организационно-технических системах.

Polyanskov Yuri Vyatcheslavovitch, doctor of technical science, professor, head of department of mathematical modeling of technical systems, Ulianovsk State University, e-mail: ccd@ulsu.ru. Area of research: information support of product life cycle technologies, developing Automatic Control systems of technological processes.

Gismetulin Albert Rastemovitch, candidate of technical science, associate professor of the department of mathematical modeling of technical systems, Ulianovsk State University, e-mail: ccd@ulsu.ru. Area of research: modeling of technical systems and mechanical working operations.

Nikolayev Anatoly Victorovitch, candidate of technical science, associate professor, director of the Research Center of CALS-technologies, associate professor of the department of mathematical modeling of engineering systems, Ulianovsk State University, e-mail: ccd@ulsu.ru. Area of research: information support of product life cycle processes.

Gribovskaya Christina Victorovna, student of Ulianovsk State University. Area of research: modeling and analysing operations in organizational technical systems.