

Б.С. ВОРОНЦОВ, канд. техн. наук, ВНУ им. В. Даля

ОСОБЕННОСТИ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ГИПЕРБОЛОИДНЫХ ПЕРЕДАЧ

У роботі розглядається новий метод створення твердотільних комп'ютерних моделей зубчастих коліс гіперболоїдних передач. Метод базується на тім, що в кожному перерізі колеса реальний профіль замінюється кривою Без'є третього порядку.

The article investigates a new method of formation of solid – state computer aided models of hyperbolar gears teeth wheels. The method is based on the fact that in every cross – section of a wheel actual profile is substituted by Bezier curve of the third power.

Постановка проблемы. В настоящее время разработка ответственных деталей и узлов машин и механизмов практически не мыслима без создания их твердотельных компьютерных моделей. 3D-модели зубчатых колес широко используются для разработки конструкторской документации, для анализа с помощью существующих CAE-систем, при автоматизированной разработке управляющих программ для станков с ЧПУ, при изготовлении путем постепенного наращивания (добавления) материала, т.е. технологий послойного формирования трехмерных объектов по их компьютерным образам (Rapid Prototyping and Manufacturing), при использовании в качестве эталона для контроля изделий с помощью координатно-измерительных машин.

Повышение производительности и точности методов компьютерного моделирования имеет большое значение при создании новых конструкций зубчатых передач.

Анализ основных исследований и публикаций. Разработке и использованию компьютерных моделей зубчатых передач уделяется большое внимание как у нас в стране, так и за рубежом. Так, в работе [1] приведен анализ существующих CAD/CAM/CAE-систем для зубчатых зацеплений и формообразования поверхностей. В монографии [2] выполнен анализ использования 3-D моделей в объектно-ориентированных системах CAD/CAM, изложены основы теории и методика трехмерного геометрического моделирования инструментов во взаимосвязи с моделированием процессов формообразования и съема припуска при резании материалов.

В последнее время большое внимание уделяется исследованию гиперболоидных передач. Следует отметить работы [3-6], посвященные этой проблеме. Вопросам компьютерного моделирования таких передач посвящены работы [7,8].

Однако при моделировании и исследовании гиперболоидных колес возникают определенные сложности. Так, профиль зуба гиперболоидного колеса в различных сечениях имеет различную форму; возникают различные вопросы при формообразовании как производящей поверхности так и поверхности зуба; не всегда дифференциальные методы являются эффективными при разработке компьютерных моделей. Поэтому необходимо использовать новые методы твердотельного компьютерного моделирования гиперболоидных передач.

Формулировка цели статьи (постановка задачи). Целью работы является разработка и анализ новых методов твердотельного компьютерного моделирования, позволяющих повысить производительность и точность моделирования гиперболоидных передач.

Основная часть. При изготовлении гиперболоидного зубчатого колеса профиль поверхности производящего колеса часто является результатом огибания первичной производящей поверхности. Однако не всегда огибающая семейства производящих поверхностей совпадает с реальной поверхностью, полученной на станке. Это может происходить либо из-за наличия ребер возврата, либо из-за самопересечения огибающей, либо еще по каким-то причинам. Поэтому, наряду с дифференциальными методами получения огибающей, целесообразно использовать и недифференциальные методы. Проф. Шевелева Г.И. в своей монографии [9] вводит понятие обволакивающей: «Обволакивающая семейства тел – это граница множества точек, каждая из которых принадлежит хотя бы одному телу семейства».

На рис. 1 показано, как образуются огибающая и обволакивающая семейства окружностей. Также показана кривая, проходящая через линию вершин обрабатываемой поверхности. В идеальном случае, после приработки, полученный профиль должен находиться между огибающей и линией вершин. В реальности добавляется целый ряд факторов, который оказывает влияние на конечный результат. Тем не менее, в любом случае можно определить поле допуска, внутри которого должна располагаться искомая кривая.

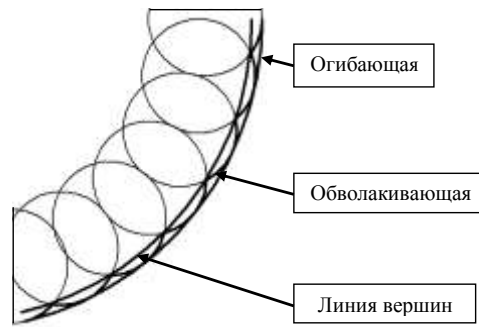


Рис.1. Определение предельных отклонений

Так, например, согласно ГОСТ 9324-80 для фрезы червячной чистовой однозаходной класса точности AAA и модуля от 1 мм до 2 мм, нарезающей цилиндрические зубчатые колеса с эвольвентным профилем, допуск на профиль зуба, т.е. расстояние по нормали между двумя номинальными профилями, ограничивающими действительный профиль, измеренное в заданном сечении в пределах рабочего участка зуба f_{f0} не должно превышать 3 мкм.

Для того чтобы дифференциальными методами можно было анализировать результаты синтеза, кривая, находящаяся внутри поля допуска, должна быть гладкой, дважды дифференцируемой.

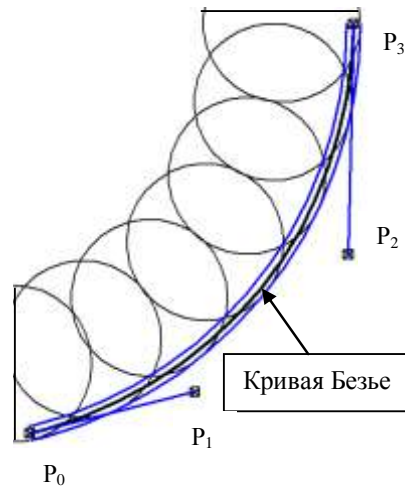


Рис.2. Построение сплайновой кривой

Не маловажным фактором может выступать и возможность интерактивного управления формой кривой, с последующим визуальным анализом показателей, характеризующих возможность ее использования

В работе [8] рассматривается способ интерактивного синтеза, когда для управления кривой, описывающей рабочий участок зуба колеса, используется кривая Безье третьего порядка. На рис. 2 показано, как графическим методом, прямо на экране монитора, можно вписать такую кривую между огибающей и линией вершин. Здесь P_0 , P_3 – опорные точки, которые располагаются в середине поля допуска, причем кривая может состоять из нескольких участков, для которых конечная опорная точка одного участка является начальной опорной точкой следующего участка. Участки можно стыковать так, что в общей точке для обоих участков кривой Безье будут общая касательная и одинаковый радиус кривизны.

Следует отметить, что чем меньше будет таких участков, тем проще будет управлять формой кривой Безье при синтезе сопряженных профилей зубьев. Точки P_1 , P_2 являются управляющими, захватывая и перемещая их курсором на экране монитора, можно управлять формой кривой, причем точность аппроксимации графическим методом довольно высокая. Так, для модуля 1 мм для различных контуров производящей поверхности кривая Безье вписывалась в поле допуска 0,5 мкм, что в 6 раз точнее, чем в приведенном ГОСТе.

Наиболее целесообразно создавать твердотельную компьютерную модель гиперболического колеса по сечениям. По традиции, пришедшей с кораблестроения, процесс построения поверхности по ее сечениям называется плазированием, а поверхности, полученные таким способом – сплайновыми. Рассечь гиперболическую заготовку можно любым количеством параллельных плоскостей, в зависимости от требуемой точности. Далее, в каждой секущей плоскости огибающую и обволакивающую для любой производящей поверхности можно получить как аналитическим, так и графическим способом. Внутри поля допуска для полученных результатов не сложно построить сплайновые кривые, в том числе и кривые Безье.

На рис. 3 показана твердотельная компьютерная модель зацепления зуба цилиндрического колеса и впадины между зубьями гиперболического колеса, полученной по сечениям описанным выше методом.

В приведенной модели эвольвентный профиль зуба колеса был получен предложенным методом, когда огибающая производящей поверхности реечного типа со стандартным исходным контуром была заменена кривой Безье третьего порядка. Заготовка типа однополостной гиперboloид была разбита с одинаковым шагом семейством плоскостей, параллельных основанию заготовки.



Рис.3. Твердотельная компьютерная модель

Причем шаг между параллельными плоскостями задавался в виде параметра, которым можно управлять. В каждой секущей плоскости определялась обволакивающая кривая, форма которой зависела от заданного числа проходов режущей кромки инструмента при обкатке инструмента и колеса. Полученная кривая заменялась кривой Безье третьего порядка, которая и служила основой для построения впадины зубьев гиперboloидного колеса. Используя операцию «построение массива по concentрической сетке», создавалось необходимое количество зубьев.

Выводы. В работе предложен метод построения твердотельной компьютерной модели гиперboloидной передачи по сечениям. Профиль впадины зубьев гиперboloидного колеса в каждом сечении представляет собой сплайновую кривую, являющуюся результатом аппроксимации с достаточной степенью точности реально полученных точек как графическим, так и аналитическим способом.

Применение сплайновых кривых позволяет ускорить процесс создания твердотельных компьютерных моделей гиперboloидных передач и использовать для их анализа дифференциальные методы теории зубчатых зацеплений.

Полученные результаты работы могут быть использованы при анализа создаваемых гиперboloидных передач с помощью существующих CAE-систем, при использовании моделей в качестве эталона для контроля изделий с помощью координатно-измерительных машин, а также при изготовлении зубчатых колес прогрессивными методами.

Список литературы. 1. *Бабичев Д.Т.* Развитие теории зацеплений и формообразования поверхностей на основе новых геометро-кинematicких представлений : Дис. ... д-ра техн. наук : 05.02.18 : Тюмень, 2005.- 421 с. 2. 3D – моделирование инструментов, формообразования и съема припуска при обработке резанием / *А.И. Грабченко, Е.Б. Кондусова, А.В. Кривошея, Н.С. Равская, П.Р. Родин.* – Харьков: НТУ «ХПИ», 2001. – 304 с. 3. *Грибанов В.М.* Теорія гіперboloїдних зубчатих передач. Монографія. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля. – 2003. – 272 с. 4. *Кириченко І.О.* Створення гіперboloїдних передач з лінійним контактом зубців на базі спеціальних ріжучих інструментів: Автореф. дис. ... докт. техн. Наук, - Луганськ, 2004. – 36 с. 5. *Голубенко А.Л., Вітренко В.А., Кириченко І.А., Досталь А.Е.* Циліндро-гіперboloїдні передачі, складені з циліндричних і гіперboloїдних зубчатих колес // Вісник Східноукраїнського національного університету. – 2000. -№11 (33). – С.14-14. 6. *David B. Dooner.* Current Design and Manufacture of Generalized Hyperboloidal Gear Pairs // Intern. Conf. On Motion and Power Transmission MPT, 2001 – Fukuoka, Japan, November 15-17, 2001. 7. *Грибанов В.М., Клипаков Н.В., Досталь А.Е.* Компьютерное моделирование зубчатых гиперboloидных и цилиндрических передач Новикова // Вісник Східноукраїнського національного університету. – 2001. -№2 (36). – С.213-217. 8. *Воронцов Б.С.* Гіперboloїдні передачі з управляємим исходним контуром производящего колеса. // Вісник Національного Технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць тематичний випуск «Проблеми механічного приводу». Харків: НТУ «ХПІ». – 2006, №22. – С.56-60. 9. *Шевелева Г.И.* Теория формообразования и контакта движущихся тел. Монография.-М.: Изд-во «Станкин», 1999.–494 с. 10. *Голованов Н.Н.* Геометрическое моделирование. – М.: Изд-во физ. мат лит., 2002. – 472 с.

Поступила в редакцию 26.04.2007