



Ссылка на статью:

// Ученые записки УлГУ. Сер. Математика и информационные технологии. УлГУ. Электрон. журн. 2021, № 2, с. 14-21.

Поступила: 05.12.2021

Окончательный вариант: 09.12.2021

© УлГУ

УДК 621.914.6

Моделирование процесса нарезания зубчатых колес червячно-модульными фрезами в системе Siemens NX

Гисметулин А. Р. *, Кирдянова Ю. В.,
Кондратьева А. С.

* gismetular@yandex.ru

УлГУ, Ульяновск, Россия

В работе рассматривается возможность автоматизированного проектирования червячно-модульных фрез с помощью системы Siemens NX. Предложенная методика проектирования позволит оптимизировать геометрию и конструкцию фрезы с учетом точности нарезаемых зубчатых колес.

Ключевые слова: зубонарезание, червячно-модульная фреза, моделирование, САПР, Siemens NX

Введение

Методы автоматизированного проектирования режущего инструмента и технологических процессов с их применением позволяют значительно повысить качество и производительность проектирования, а также точность изготовления деталей [1]. Однако применение САПР для проектирования металлорежущего инструмента затруднено по ряду причин:

- существующие стандартные методики расчета параметров инструмента требуют адаптации для автоматизированного расчета;
- большинство задач проектирования требуют использования алгоритмов, базирующихся на функциональной зависимости параметров инструмента [2];
- многие задачи проектирования не имеют однозначных решений и конечное решение будет зависеть от опыта и компетентности конструктора-инструментальщика.

Примеры моделирования червячно-модульных фрез (ЧМФ) и процессов зубонарезания представлены в работах [3] и [4]. В работе [3] задача решается с помощью AutoCAD, а

в работе [4] в системе Catia. В настоящее время на АО «Авиастар-СП» для конструирования, в том числе режущего инструмента, используется САПР Siemens NX.

В настоящей работе для автоматизации проектирования червячно-модульных фрез используется система Siemens NX. В данной САПР выполнен расчет основных геометрических параметров инструмента, расчет переходных поверхностей и проведено моделирование процесса резания (рис. 1).

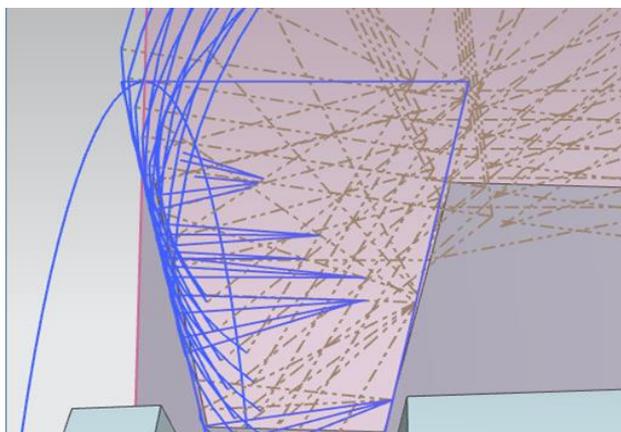


Рис. 1. Пример графического построение профиля в Siemens NX

1. Моделирование червячно-модульной фрезы

В качестве исходных данных для проектирования используются параметры нарезаемых зубчатых колес (модуль и число зубьев, коэффициент коррекции, угол наклона зубьев и т.д.). В процессе построение переходных кривых NX способен воспринимать замены одних данных на другие, путем ввода в процессе моделирования дополнительных коэффициентов, что замедляет процесс пересчета, но позволяет модифицировать параметры фрезы, например, получаемый профиль зубьев.

Моделируемые червячно-модульные фрезы в основе своей геометрии имеют архимедов червяк, как пример наиболее точного вида зуборезной фрезы. На рис 2 представлены результаты построения боковых поверхностей зуба фрезы, полученные перемещением образующей прямой вдоль оси инструмента под углом подъема винтовой линии.

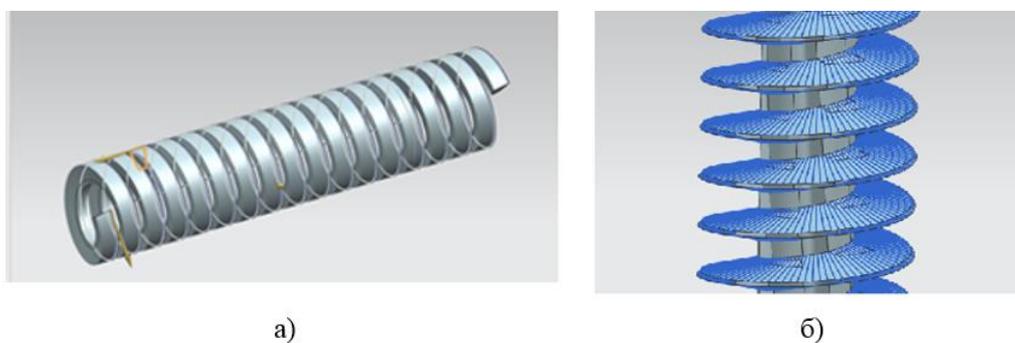


Рис. 2. Образование винтовой поверхности основного червяка при помощи функции:
а) заметание; б) линейная поверхность.

Для модели задается угол наклона винтовой канавки, высота канавки, необходимые скругления поверхностей и шаг канавки межзубой впадины фрезы. Далее создается эскиз для задания передней поверхности фрезы с передним углом равным 0° . При помощи функций «заметание» и «вычитание» производится вытягивание контура и строятся канавки, формирующие переднюю поверхность зубьев в осевом направлении.

Последними двумя этапами являются построение поверхностей, задающих вспомогательный задний угол на боковых поверхностях, и затылование главной задней поверхности зубьев для задания главного заднего угла. Для построения углов задаются винтовые линии, а уже по ним строится плоскость, формирующая рабочие поверхности инструмента (рис. 3).

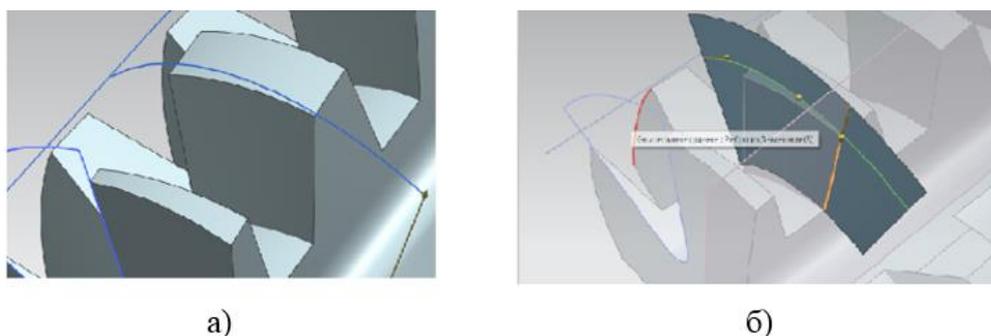


Рис. 3. Процесс образования боковых поверхностей зуба:
а) построение винтовой линии; б) построение поверхности

Затылование задней поверхности также осуществляется по спирали Архимеда. Для этого задаются угол и две дуги, образующие собой расчетную величину падения затылка.

Результатом является фреза (рис. 4а), параметры которой максимально приближены к расчётным значениям. Система моделирования является автоматизированной. Для получения новой модели инструмента достаточно заменить исходные данные и внести дополнительные коэффициенты для построения (рис. 4б).



Рис. 4. Итоговые модели с модулем зуба (m) и числом зубьев (z):
а) $m=1.5$, $z=5$; б) $m=3.5$, $z=14$

2. Моделирование процесса зубонарезания с применением червячно-модульной фрезы

Основной целью работы является оценка влияния параметров фрезы на формирование профиля нарезаемого зубчатого колеса, оценка ее точности. Поэтому следующий этап работы заключается в моделировании процесса нарезания зубчатых колес. Полученная модель позволяет оценить изменение профиля нарезаемых впадин в динамике. Оценивается, также, влияние числа стружечных канавок и величины переднего угла ЧМФ на точность. На рис. 5 показаны профили зубьев фрезы, как три режущих лезвия, расположенные на винтовой линии и образующих переднюю поверхность инструмента.

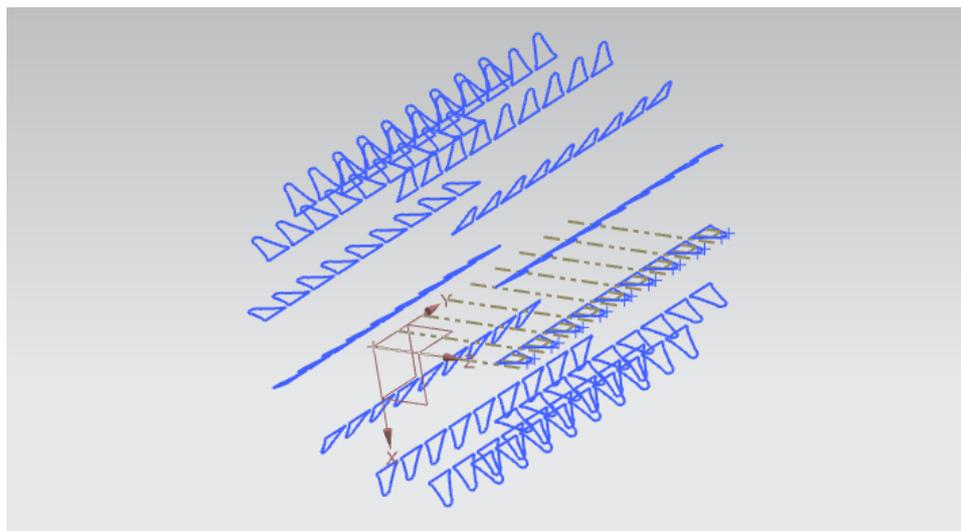


Рис. 5. Профили всех зубьев фрезы, участвующих в нарезании межзубой впадины зубчатого колеса

Следующей задачей является задание формообразующих движений процесса зубонарезания червячно-модульными фрезами (вращение фрезы и вращение заготовки). На один оборот фрезы заготовка поворачивается на один зуб (рис. 6).

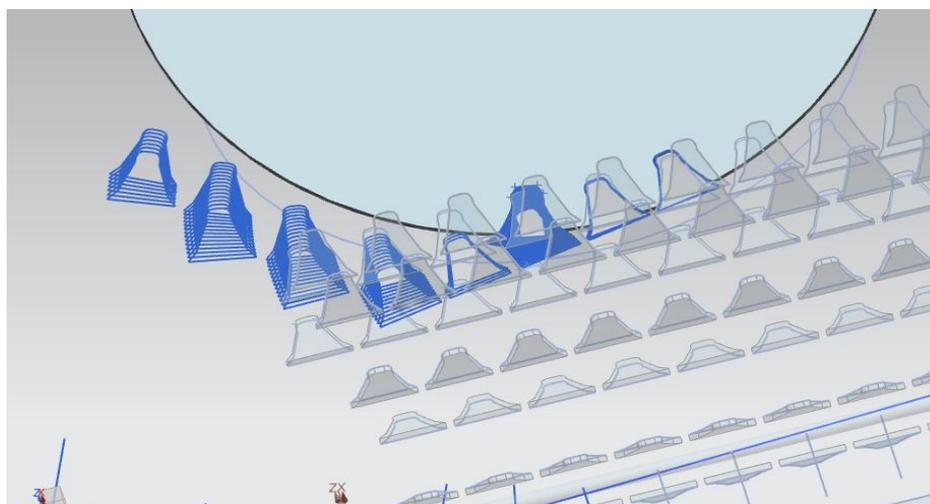


Рис. 6. Процесс построения впадины зубчатого колеса с использованием профиля ЧМФ

Для задания угла поворота фрезы относительно заготовки используется формула $\alpha = 2\pi/z * z_0$, где z – число зубьев нарезаемого колеса, z_0 – число стружечных канавок фрезы.

Удаление материала заготовки зубом фрезы моделируется при помощи функции вычитание (рис. 7).

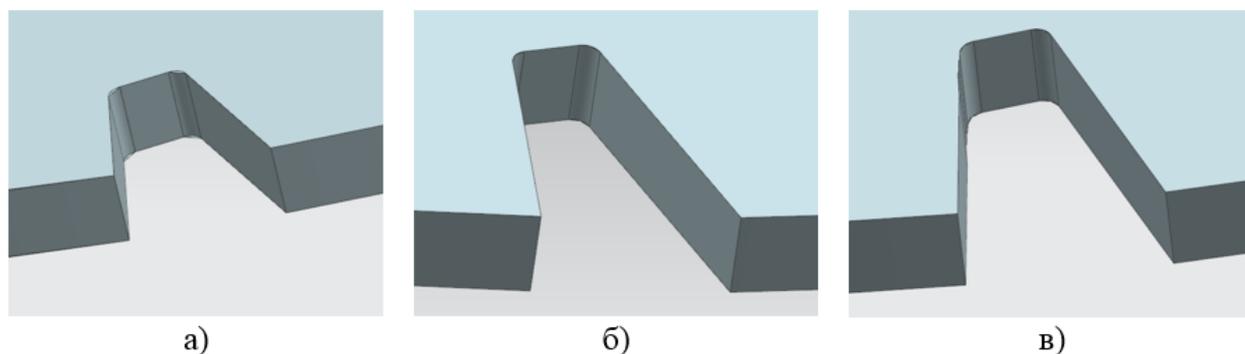


Рис. 7. Профиль межзубой впадины после её обработки:
а) 5 зубьями фрезы; б) 10 зубьями фрезы; в) 15 зубьями фрезы

В зависимости от числа стружечных канавок фрезы число проходов будет меняться. Так, при количестве канавок $z_0 = 5$ число проходов составляет 30, а при $z_0 = 14$ количество проходов возрастает до 49 (рис. 8).

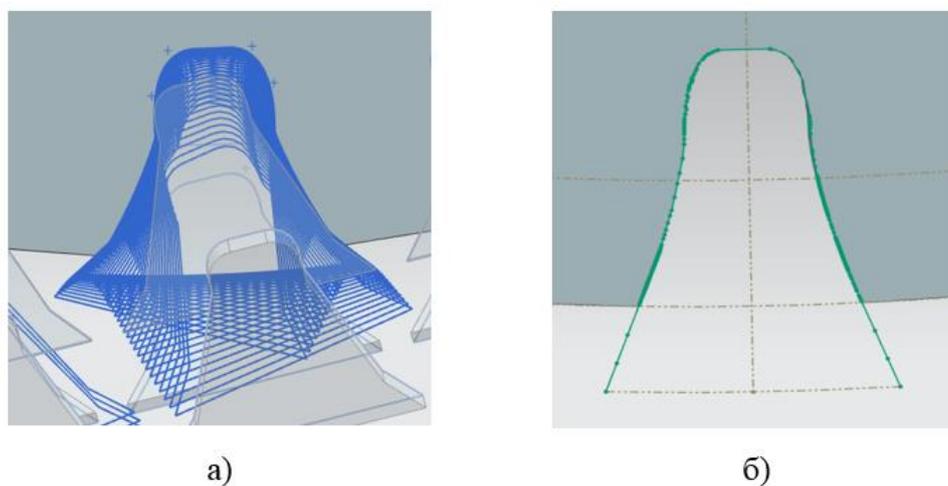


Рис. 8. Профиль впадины нарезанного зубчатого колеса:
а) в процессе резания; б) полученный результат

Также процесс зубонарезания был смоделирован и другим методом. Отличие заключается в том, что моделируется не только исходные зубчатые рейки, но и зубья фрезы с криволинейными передней и задней поверхностями. В процессе создания такой модели можно пренебречь боковыми углами и созданием некоторых переходных кривых.

Для моделирования срезов используются функции САД системы «массив» и «вычитание». «Массив» используется для задания поворотов фрезы и заготовки на заданные углы, создавая тем самым имитацию перемещения фрезы относительно заготовки (рис. 9).

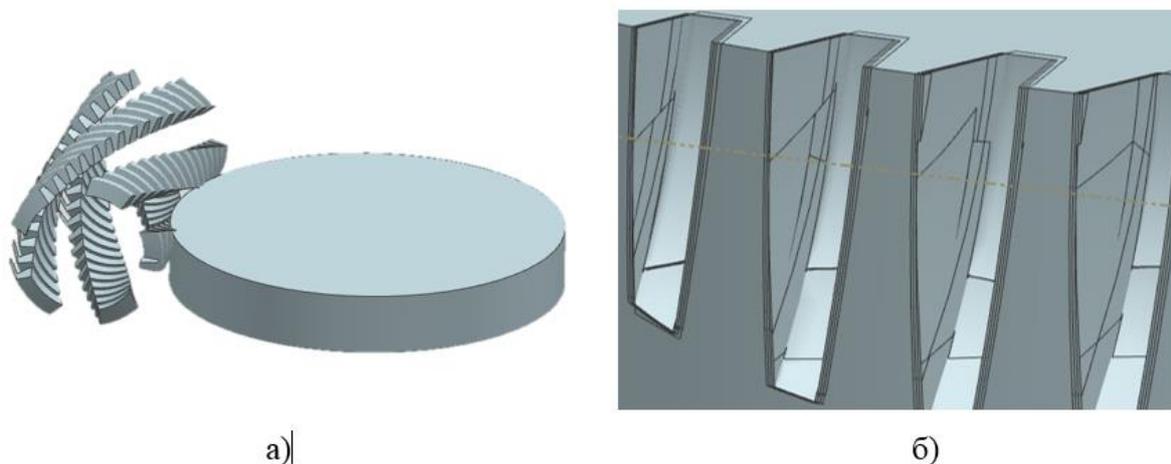


Рис. 9. Моделирование процесса зубонарезания:

а) модель зубонарезания; б) частично обработанная впадина между зубьями колеса

Результаты измерения площади срезаемых слоёв представлены в табл. 1.

Таблица 1. Площадь срезаемого слоя, удаляемого последовательно зубьями фрезы, входящими в контакт с заготовкой

| | | | | | | | | | |
|------------------------------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|
| Номер зуба, № | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Объем среза, мм ² | 0,078 | 0,513 | 0,423 | 1,456 | 1,888 | 3,463 | 4,998 | 1,972 | 2,234 |
| Номер зуба, № | 10 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| Объем среза, мм ² | 1,045 | 8,009 | 5,003 | 12,001 | 3,12 | 11,308 | 12,311 | 5,081 | 4,535 |

Данная модель позволяет понять распределение нагрузки на зуб инструмента. Так, анализируя данные из табл. 1, можно увидеть, что сечения среза имеют сложную форму, а зубья фрезы по её длине загружены неравномерно. Это объясняет неравномерный износ зубьев.

Таблица 2. Сравнение углов профиля межзубой впадины нарезаемого зубчатого колеса, полученных в результате моделирования и измерения на реальном колесе

| | | | | | | | |
|-----------------------|-----------|----------|----------|----------|---------|---------|----------|
| Номер зуба | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Данные с чертежа | 20° | 20° | 20° | 20° | 20° | 20° | 20° |
| Фактические параметры | 20,01° | 20,00° | 19,99° | 19,99° | 20,01° | 20,01° | 20° |
| Данные по модели | 20,01230° | 20,0111° | 20,0145° | 20,0001° | 19,991° | 19,998° | 20,0014° |

Для проверки адекватности полученной модели было проведено сравнение отклонения профилей нарезаемого колеса, полученных в результате моделирования, от заданного значения и производственных данных, полученными от АО «Авиастар-СП». Результаты сравнения представлены в таблице 2.

Максимальное отклонение по углу профиля не превысило $0,0155^\circ$.

Заключение

Разработана параметрическая компьютерная модель, позволяющая, по заданным числу и модулю зубьев нарезаемого зубчатого колеса, получить геометрию червячно-модульной фрезы с архимедовым профилем зубьев. Была также разработана модель процесса нарезания прямозубых зубчатых колес с применением полученной модели ЧМФ.

С помощью этой модели была проведена оценка площади среза каждым зубом фрезы, позволяющая оценить степень силовой нагрузки и, как следствие, оценить степень износа зубьев. Была проведена оценка точности профиля нарезаемых зубьев с применением модели и произведено сравнение с требованиями чертежа детали и результатами измерений параметров готовой детали, проведенными на АО «Авиастар-СП».

Полученные результаты подтвердили адекватность модели. Применение полученной методики моделирования червячно-модульных фрез позволит существенно сократить процесс проектирования данного инструмента.

Список литературы

1. *Проектирование и расчет металлорежущего инструмента на ЭВМ* / Под ред. О.В. Таратынова. М.: МГИУ, 2006.
2. Рыжкин А.А., Зотов В.В., Моисеев Д.В., Андросов А.А., Гребенюк Г.Б., Савенков М.В. Определение профиля червячной фрезы для изготовления зубчатых колес эллиптического профиля // *Вестник ДГТУ*, 2010. Т. 10, №5, с. 648–661.
3. Хейфец А.Л. 3D-модель червячной фрезы // *Обработка металлов (технология • оборудование • инструменты) Науч.-техн. и произв. журн.* 2013, № 3 (60).
4. Полянсков Ю.В., Гисметулин А.Р., Николаев А.В., Грибовская К.В. Компьютерное проектирование процесса зубонарезания червячно-модульными фрезами // *Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. Академика С.П. Королева*, 2009. №1 (17), с. 188–196.

Simulation of the process of cutting gears by worm-modular cutters in the Siemens NX system

Gismetulin, A. R. , Kirdyanova, Yu. V., Kondratyeva, A. S.*

*gismetulinar@yandex.ru

Ulyanovsk State University, Ulyanovsk, Russia

The paper discusses the possibility of computer-aided design of modular hob cutters using the Siemens NX system. The proposed design technique will optimize the geometry and design of the cutter, taking into account the accuracy of the cut gears.

Keywords: *gear cutting, worm-modular cutter, modeling, CAD, Siemens NX.*