

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Белякова В.А., Воробьев И.А.

Тульский государственный университет, Тула

Ключевые слова: математическая модель, инструмент для обработки зубчатых колес, 3D-модель, зубчатый притир, алгоритм и программа для расчета инструмента.

Аннотация. Статья посвящена оптимизации создания 3D-модели для нового импортозамещающего инструмента, предназначенного для обработки зубчатых колес. Описываются основные параметры зубчатого зацепления, позволяющие обеспечить работу зубчатого притира. Приводится математическая модель параметров рабочей части финишного данного инструмента. Разработан алгоритм и создана программа, позволяющие проводить расчет размеров описываемого инструмента.

MODELING OF OBJECTS FOR ADDITIVE MANUFACTURING

Belyakova V.A., Vorobyov I.A.

Tula State University, Tula

Keywords: mathematical model, gear machining tool, 3D-model, gear grinding, algorithm and program for calculating the tool.

Abstract. The article is devoted to optimizing the creation of a 3D-model for a new import, a replacement tool designed for gear wheel machining. The main parameters of the gear engagement are described, which make it possible to ensure the operation of the gear lapping. A mathematical model of the parameters of the working part of the finishing tool is given. An algorithm has been developed and a program has been created to calculate the size of the described tool.

В настоящее время одними из актуальных задач, стоящими перед производством, являются снижение себестоимости и повышение производительности металлообработки, повышение технологического уровня и конкурентоспособности металлообрабатывающего оборудования и режущего инструмента. Одним из основных направлений снижения себестоимости производства является повышение производительности операций металлообработки за счет использования более прогрессивных конструкций режущих инструментов, а также использования аддитивных технологий на этапе заготовительных операций [1].

Многообразие условий обработки, сложность проектирования, режуще-деформирующего (комбинированного) инструмента, предназначенного для финишной обработки зубчатых колес, и недостаточное развитие расчетных методов, не позволяющих решать задачу выбора рациональной конструкции инструмента на стадии проектирования.

Таким образом, актуальной является задача разработки программы проектирования режуще-деформирующего инструмента, позволяющая спроектировать инструмент с выявлением всех потенциальных проблем ещё до начала изготовления и сэкономить средства и время на их исправление.

Инструмент и обрабатываемое колесо проектируется как внеполюсная передача.

Внеполюсное зацепление может быть запольным и предпольным. При проектировании инструмента выбор вида внеполюсного зацепления определяется геометрией зубьев обрабатываемой детали. Если инструмент проектируется для колес со значительным отрицательным корригированием, передача инструмент – заготовка должна быть предпольной, для колес со значительным положительным корригированием – запольной [1].

Если смещение исходного контура малое или зубчатые колеса не корригированные, необходимо учитывать положительные и отрицательные стороны запольного и предпольного зацеплений. При обработке инструментом запольного зацепления степень перекрытия и высота обрабатываемого участка профиля зуба заготовки увеличиваются, что способствует повышению точности обработки. Но в этом случае высота рабочего участка инструмента невелика, вследствие чего стойкость инструмента уменьшается.

Для зубчатых колес с малым числом зубьев и для колес, у которых окружность последних точек контакта расположены вблизи основной окружности, высота рабочего участка инструмента при запольном зацеплении резко уменьшается, что приводит к резкому снижению стойкости инструмента.

Таким образом, зубчатые притиры запольного зацепления рационально использовать при отношении высоты рабочего участка профиля к полной высоте зуба $\leq 0,2 \dots 0,3$.

Инструменты предпольного зацепления имеют большую высоту рабочего участка профиля зуба, но меньшую длину активного участка.

Так как инструмент предпольного зацепления работает при положительном смещении производящего контура, зубья его заостряются. Для обеспечения работоспособности инструмента необходимо, чтобы минимальная толщина зуба инструмента на окружности выступов S_{a0} , была больше или равна $0,25 \cdot m$.

Таким образом, при проектировании инструмента необходимо определить геометрические параметры передачи инструмент – обрабатываемая заготовка и отдельных ее элементов.

Чтобы повысить точность обработки и стойкость инструмента необходимо число зубьев инструмента выбирать максимальным, исходя из технологических возможностей изготовления, габаритных размеров станка и размеров обрабатываемой детали.

Число зубьев инструмента не должно быть кратным числу зубьев обрабатываемой заготовки и не иметь общих множителей с ним кроме единицы.

Радиус станочно-полоидной окружности для запольного зацепления:

$$r_{w1} \leq r_{q1} - 0,3, \quad (1)$$

для предпольного

$$r_{w1} = r_{a1} + 0,3, \quad (2)$$

где 0,3 мм – минимально допустимое смещение полюса зацепления относительно радиуса r_{q1} последних точек контакта профилей зубьев нарезаемого колеса с зубьями парного колеса для запольного зацепления и относительно радиуса выступов зубьев шестерни r_{a1} для предпольного зацепления.

Угол станочного зацепления α_w может быть найден из формулы:

$$\cos \alpha_w = \frac{r_{b1}}{r_{w1}}. \quad (3)$$

Станочное межосевое расстояние:

$$a_w = \frac{a \cdot \cos \alpha}{\cos \alpha_w}, \quad (4)$$

где a – межосевое расстояние в нулевой передаче.

Радиус окружности вершин зубьев для инструмента заголовного зацепления:

$$r_{a0} = a_w - r_{q1} + (0,1...0,2). \quad (5)$$

Необходимо, чтобы при выбранном r_{a0} величина радиального зазора была больше 0,2 мм.

Для инструмента предголовного зацепления:

$$r_{a0} = a_w - r_{q1} - (0,2...0,3), \quad (6)$$

где (0,2...0,3) мм – величина минимального зазора между вершинами зубьев обрабатываемой заготовки, при котором обеспечивается нормальная работа инструмента.

Величина коэффициента смещения контура, необходимая для изготовления инструмента:

$$\chi_0 = \frac{a_w - a}{m} - \chi_1, \quad (7)$$

где χ_1 – коэффициент смещения производящего контура обрабатываемого зубчатого колеса.

Установив геометрические параметры инструмента, определяем качественные характеристики зубчатой передачи: инструмент – обрабатываемое колесо, к которым относятся показатели отсутствия заострения, интерференции, подрезания зубьев, коэффициент торцового перекрытия, скорость скольжения и удельная скорость скольжения сопряженных профилей.

На рисунке 1 представлен укрупненный алгоритм расчета инструмента.

Методика расчета параметров инструмента для обработки цилиндрических зубчатых колес рекомендуется с такой последовательностью расчета.

1. Выбор исходных данных.
2. Расчет основных параметров зубчатой передачи.
3. Расчет основных параметров зубчатых колес.
4. Расчет параметров инструмента.
5. Проверка качества зацепления по геометрическим показателям.

В соответствии с алгоритмом разработана методика и программа для расчета инструмента (рис. 2).

На основании расчетов построена 3D-модель (рис. 3) для изготовления инструмента «зубчатый притир» с помощью аддитивной технологии.

62

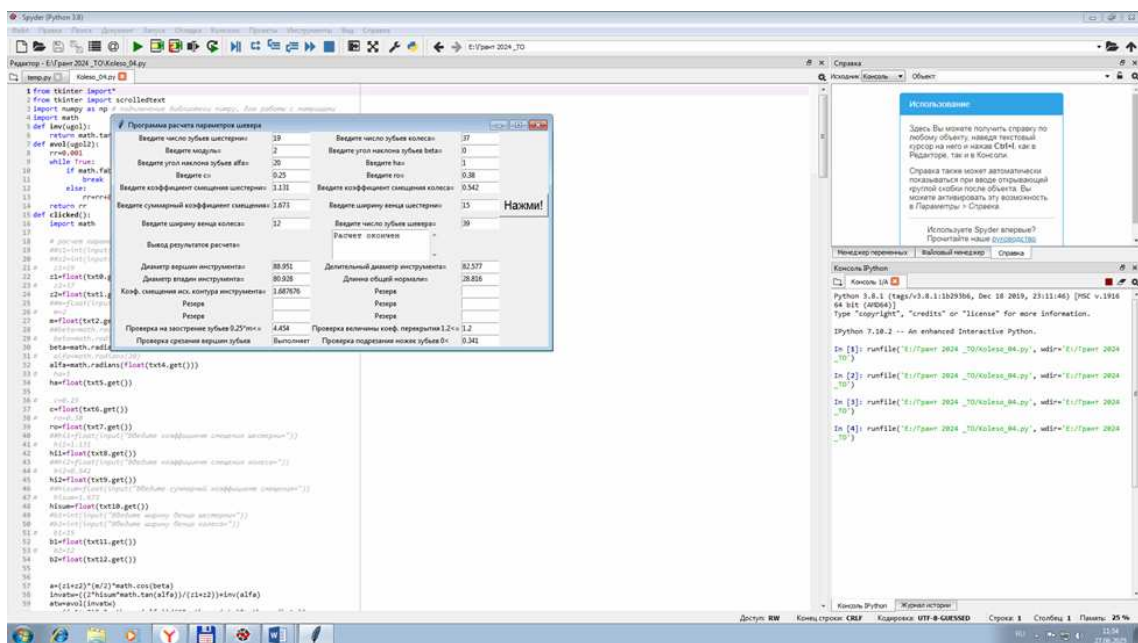
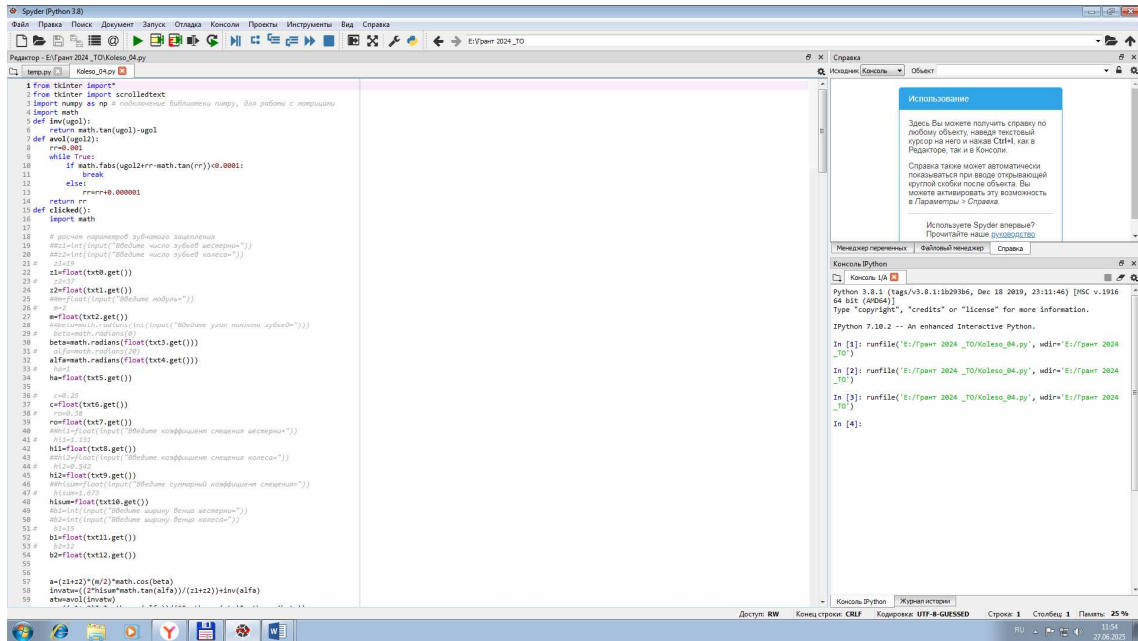


Рис. 2. Пример программы для расчета инструмента «зубчатый притир», созданной на языке программирования Python



Рис. 3. 3D-модель для изготовления инструмента «зубчатый притир» с помощью аддитивной технологии.

Подводя итог, можно отметить некоторые преимущества 3D-моделей:

- Реалистичность. Модели имеют глубину, что позволяет им выглядеть более реалистично и детализировано.
- Визуализация идей и концепций. Это позволяет представить будущие продукты до их физической реализации.
- Сокращение времени на разработку прототипов. С помощью 3D-моделирования уменьшается количество физических образцов, необходимых для проектирования.
- Возможность быстро вносить изменения в модель на любом этапе разработки.
- Возможность 3D-печати. Модели, разработанные с помощью компьютерной графики, могут стать реальными, что играет важную роль в масштабируемости.
- Возможность проводить симуляции и тесты на виртуальных моделях. Также можно анализировать прочность, аэродинамику и другие характеристики [3].

Финансирование. Исследования проводились при финансовой поддержке в рамках гранта Правительства Тульской области – ДС/175/ИМС/24/ТО «Проектирование специального импорта-замещающего инструмента для финишной обработки цилиндрических зубчатых колес». (The research was carried out with financial support from a grant from the Government of the Tula region – DS/175/IMS/24/TO "Design of a special import-replacement tool for finishing cylindrical gears").

Список литературы

1. Хлыстов Е.О., Исаев А.В. Применение аддитивных технологий в инструментальном производстве // Международный научный журнал. Вестник науки. – 2024. – №6-1. – С. 1759-1764.
2. Валиков Е.Н., Белякова В.А. Режущо-деформирующая чистовая обработка боковых поверхностей зубьев зубчатых колес. Монография. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2011. – 215 с.
3. Никольский С.М., Ушаков М.В., Воробьев И.А., Нуждин Г.А. К вопросу о многократных измерениях параметров зубчатых колес на КИМ // Мир измерений. – 2024. – №4. – С. 68-74.

Сведения об авторах:

Белякова Валентина Александровна – к.т.н., доцент;

Воробьев Илья Александрович – к.т.н., доцент.