

УДК 004.9:621.9.07:621.833

Моделирование формообразования винтовых поверхностей деталей инструментальной рейкой и червячной фрезой

А. А. Ляшков

Постановка задачи моделирования

Процесс проектирования режущего инструмента состоит из нескольких этапов. Одним из важных элементов этого процесса является конструирование формообразующей поверхности. Решению данной задачи посвящено немало работ [1–3]. Во многих из них для выполнения расчета требуется вывести соответствующие зависимости применительно к различным исходным данным. Часто такие зависимости имеют форму трансцендентных уравнений, для решения которых используют численные методы. Все это усложняет процесс профилирования инструмента.

Кроме того, во многих случаях профиль детали состоит не только из участков, полученных огибанием соответствующих участков инструмента, но и из переходных кривых, линий подрезов. В этих случаях процесс профилирования носит итеративный характер. На отдельных этапах проектирования осуществляется проверка полученных результатов графическими или аналитическими методами [1]. Руководствуясь технологическими соображениями, теоретический профиль часто заменяют отрезками и дугами окружностей. В данном случае важной задачей является сравнение исходного профиля изделия с реальным, который будет получен после корректировки профиля инструмента и последующего формообразования. Это также затрудняет процесс профилирования.

Эффективное решение задач формообразования поверхностей может быть выполнено с применением методов геометрического моделирования средствами компьютерной графики [4–7], позволяющих исследовать влияния различных параметров инструмента на форму профиля детали и наоборот, а также решить некоторые другие вопросы. Для поставленной задачи решение выполняется в четыре этапа:

- создание твердотельной модели детали с винтовой поверхностью (ВП) по параметрам самой детали;

- разработка алгоритма и программы, моделирующей процесс формообразования цилиндрической поверхности инструментальной рейки по полученной модели детали;

- моделирование формообразования винтовой поверхности червячной фрезы по полученной модели инструментальной рейки и параметрам их взаимного расположения;

- решение обратной задачи — моделирование формообразования винтовой поверхности детали по полученной модели рейки, профиль которой может быть скорректирован.

На практике указанные этапы выполнены в виде подпрограмм, написанных на языке программирования AutoLISP в среде САПР AutoCAD. Диалог для ввода исходных данных подготовлен на языке DCL (Dialog Control Language).

Основными исходными данными для решения задачи на первом этапе являются па-

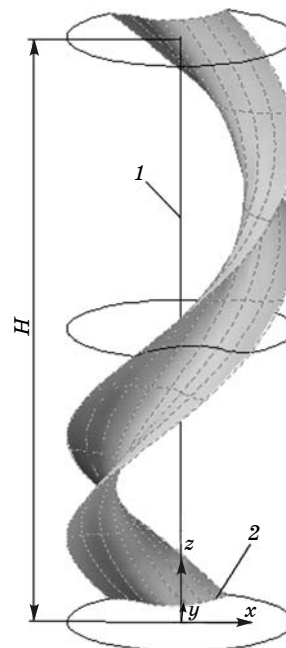


Рис. 1. Параметры цилиндрической винтовой поверхности:

1 — ось; 2 — образующая

параметры определителя цилиндрической винтовой поверхности. К ним относятся (рис. 1):

- ось винтового движения;
- образующая винтовой поверхности: в дальнейшем образующей будет, как правило, кривая, расположенная в плоскости, перпендикулярной оси винтового движения (торцовый профиль);
- шаг H или параметр p винтового движения;
- направление винтового движения.

Конструктор задает торцовый профиль ВП в среде компьютерного моделирования с помощью ее средств. Этот процесс может быть автоматизирован, если профиль определен уравнениями. Здесь же устанавливается и положение оси винтового движения.

Компьютерное моделирование

На первом этапе создания модели тела детали с винтовой поверхностью формируется полигональная модель этой поверхности по нескольким ее сечениям. Для задания семейства профилей ВП (сечений) в качестве дополнительных исходных данных нужны начальное и конечное значения угла поворота профиля относительно исходного положения, приращение угла поворота между его соседними положениями. Итогом работы подпрограммы является полигональная модель ВП и твердотельная модель детали с винтовой поверхностью (рис. 2).

На втором этапе исходным параметром для решения задачи является угол α между осью винтовой поверхности детали и образующей цилиндрической поверхности инструментальной рейки (рис. 3). Ось z_p декартовой системы координат $x_p y_p z_p$, где $x_p, y_p,$

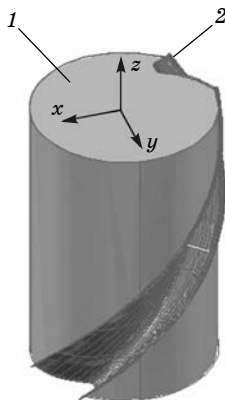


Рис. 2. Модель тела с винтовой канавкой 1 и цилиндрической винтовой поверхностью 2

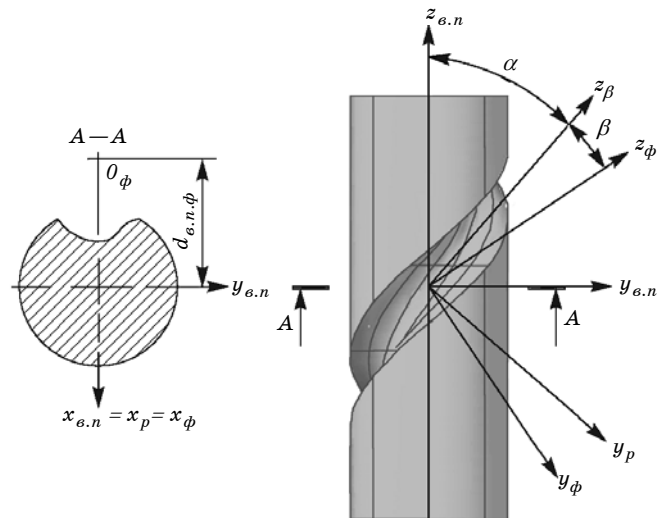


Рис. 3. Системы координат, связанные с деталью, имеющей винтовую поверхность $x_{в.п} y_{в.п} z_{в.п}$, инструментальной рейкой $x_p y_p z_p$ и червячной фрезой $x_{\phi} y_{\phi} z_{\phi}$: $d_{в.п.ф}$ — расстояние между осями винтовой поверхности детали и фрезы; α — угол между осью детали и образующей инструментальной рейки; β — угол между осью фрезы и образующей инструментальной рейки

z_p — ось абсцисс, ординат и аппликат соответственно, параллельна образующей поверхности рейки.

Выполнение подпрограммы начинается с загрузки диалогового окна «Формообразование инструментальной рейки по ВП детали» (рис. 4). В нем, кроме указанного выше угла α , вводятся начальное и конечное значения величин линейного перемещения детали с ВП вдоль образующей рейки, а также величина приращения относительного смещения ВП. После ввода параметров эта подпрограмма формирует прежде всего заготовку для инструментальной рейки в виде отсека призмы. Ее размеры определяются параметрами детали, а расположение — параметром установки. Исходные данные для моделирования приведены на рис. 5. Затем выполняется моделирование формообразования тела инструментальной рейки (рис. 6).

Для реализации третьего этапа решения поставленной задачи разработана подпрограмма, моделирующая формообразование ВП червячной фрезы на основе полученной модели инструментальной рейки. Для этого формируется модель поверхности, конгруэнтная поверхности инструментальной рейки и сопряженная как с ВП детали, так и с поверхностью червячной фрезы (рис. 7). Затем на ее основе создается твердотельная модель второй инструментальной рейки (рис. 8), используемой для формообразования ВП червячной фрезы.

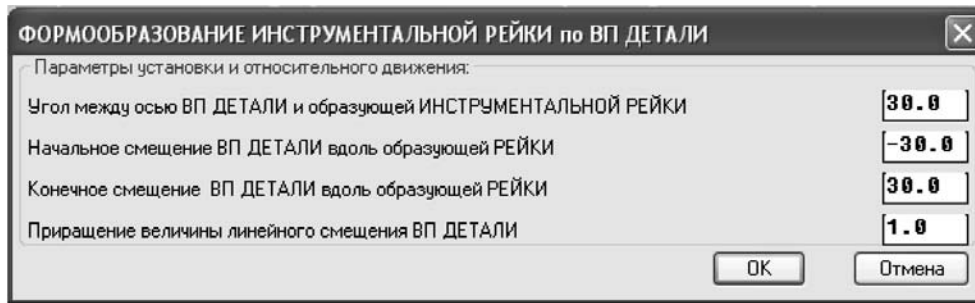


Рис. 4. Диалоговое окно для ввода параметра установки винтовой поверхности относительно инструмента и параметров относительного движения

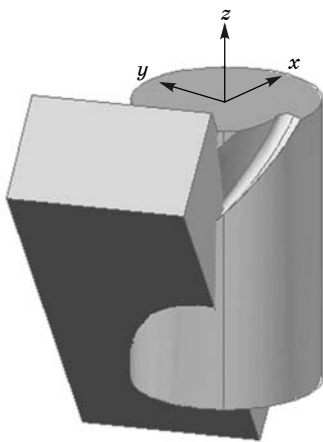


Рис. 5. Взаимное расположение детали с ВП и заготовки для инструментальной рейки

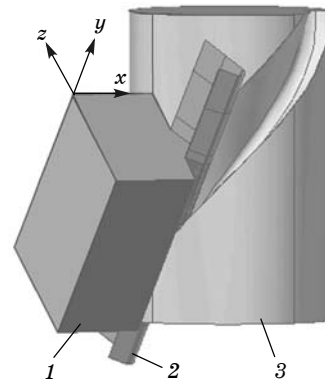


Рис. 7. Формообразование модели поверхности, конгруэнтной поверхности рейки:

1 — модель инструментальной рейки; 2 — модель поверхности рейки; 3 — модель детали с ВП

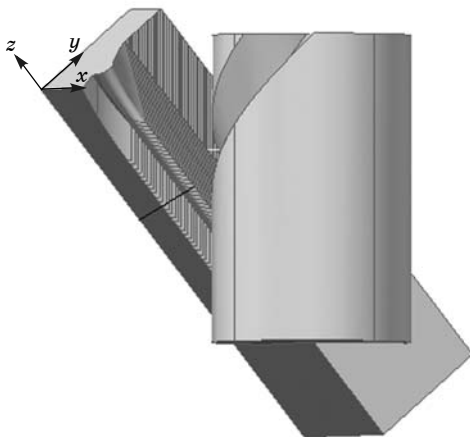


Рис. 6. Формообразование тела инструментальной рейки по заданной ВП и параметрам их относительного расположения:

1 — модель инструментальной рейки; 2 — модель детали с ВП

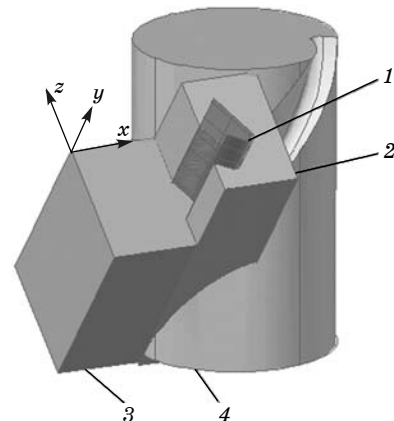


Рис. 8. Формообразование тела второй рейки, поверхность которой конгруэнтна поверхности первой рейки:

1 — модель поверхности инструментальных реек, 2 — модель второй инструментальной рейки; 3 — модель первой инструментальной рейки; 4 — модель детали с ВП

Выполнение подпрограммы начинается с загрузки диалогового окна «Формообразование ВП червячной фрезы инструментальной рейкой» (рис. 9). Процесс формообразования ВП червячной фрезы показан на рис. 10. Ко-

нечный вариант моделирования тела червячной фрезы с ВП приведен на рис. 11.

Разработанная программа формообразования ВП фрезы используется и для решения обратной задачи — моделирования формооб-

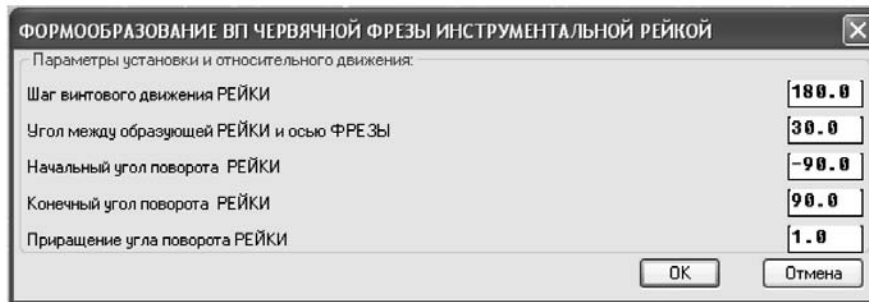


Рис. 9. Диалоговое окно для ввода параметров установки инструмента относительно винтовой поверхности фрезы и параметров относительного движения

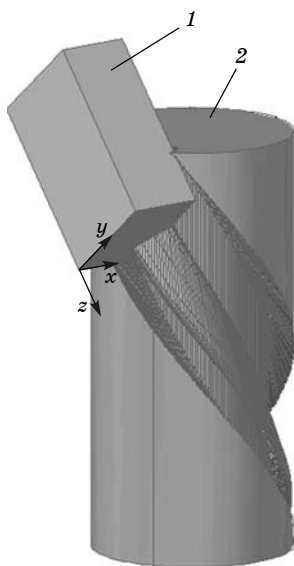


Рис. 10. Формообразование червячной фрезы второй инструментальной рейкой:

1 — модель второй инструментальной рейки; 2 — модель червячной фрезы с ВП в процессе ее формообразования

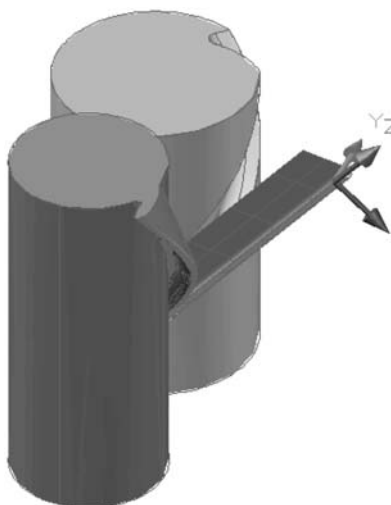


Рис. 11. Твёрдотельные модели детали с ВП и червячной фрезы:

1 — модель поверхности инструментальной рейки, сопряженной с поверхностями детали и инструмента; 2 — модель детали с ВП; 3 — модель червячной фрезы

разования ВП детали по полученной модели инструментальной рейки. Это позволяет проверить правильность выполненного моделирования и при необходимости провести корректировку профиля инструмента. Изложенная выше методика моделирования процесса формообразования позволяет предложить алгоритм расчета профиля инструментальной рейки без использования дифференциальных параметров поверхности детали.

Геометрическое моделирование

Пусть цилиндрическая винтовая поверхность образована винтовым движением плоской кривой, заданной параметрическими уравнениями: $x = f_1(t)$; $y = f_2(t)$, где f_1, f_2 — непрерывные дифференцируемые функции, а t — параметр, определяющий положение точки на кривой, относительно оси $z_{в.п}$ системы координат $x_{в.п}y_{в.п}z_{в.п}$. Тогда цилиндрическая винтовая поверхность в системе координат $x_{в.п}y_{в.п}z_{в.п}$ (см. рис. 3) может быть записана в скалярной форме уравнениями вида

$$\begin{aligned} x_{в.п} &= f_1(t)\cos v - f_2(t)\sin v; \\ y_{в.п} &= f_1(t)\sin v + f_2(t)\cos v; \\ z_{в.п} &= pv, \end{aligned} \tag{1}$$

где t и v — криволинейные координаты точки на винтовой поверхности.

Положение системы координат инструментальной рейки относительно детали определяется параметром α . Тогда формулы перехода из системы координат $x_{в.п}y_{в.п}z_{в.п}$ детали в систему координат $x_p y_p z_p$ инструмента будут иметь вид

$$\begin{aligned} x_p &= x_{в.п}; \\ y_p &= y_{в.п}\cos \alpha + z_{в.п}\sin \alpha; \\ z_p &= -y_{в.п}\sin \alpha + z_{в.п}\cos \alpha. \end{aligned} \tag{2}$$

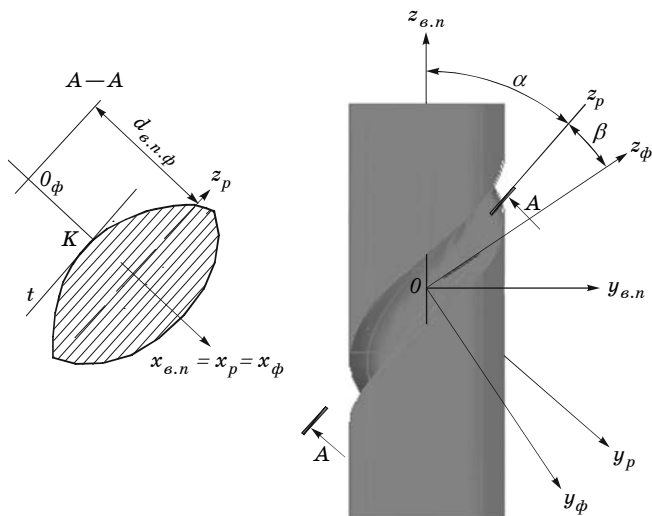


Рис. 12. Сечение модели тела детали с винтовой поверхностью плоскостью, параллельной образующей цилиндрической поверхности инструментальной рейки

Системы уравнений (1) и (2) задают исходную ВП в системе координат инструментальной рейки. Так как в сечении поверхностей детали и инструмента получаются кривые, имеющие общую точку касания, а касательная t к кривой в некоторой точке K на поверхности детали параллельна координатной оси Oz_p (рис. 12), то задача сводится к определению экстремальных значений координаты x_p . Для задания сечения поверхности плоскостью в последнем уравнении системы (2) на координату y_p накладывается условие $y_p = a$, где a — некоторое значение, определяющее положение секущей плоскости. Полученное уравнение в явном виде устанавливает связь параметров t и v .

Тогда алгоритм расчета точек профиля инструментальной рейки, не требующий получения дифференциальных параметров винтовой поверхности, заключается в следующем:

- при изменении параметра t и заданном значении координаты $y_p = a$ из второго уравнения системы (2) рассчитываются величины параметра v ;
- по первому уравнению системы (2) и с учетом первого уравнения системы (1) определяются значения координаты x_p ;
- из множества возможных значений координаты x_p выбирается минимальное, которое и определяет одну из точек профиля инструментальной рейки;
- повторяются предыдущие три пункта алгоритма для новых значений координаты y_p .

Основываясь на изложенном выше, для получения зависимостей между параметра-

ми t и v в точках контакта ВП детали и фрезы нужно определить локальные экстремумы величины координаты x_p из уравнения (2) при наложении условий связи на координату $y_p = a$ с учетом уравнений системы (1). Для этого можно воспользоваться методом неопределенных коэффициентов Лагранжа. Уравнение, устанавливающее связь параметров t и v , будет иметь вид [8]

$$f_1(t)f_1(t) + f_2(t)f_2(t) + p \operatorname{tg} \alpha [f_1(t) \cos v - f_2(t) \sin v]. \quad (3)$$

Уравнение (3) вместе с уравнениями (1) и (2) определяет цилиндрическую поверхность рейки, сопряженную с заданной ВП детали.

Для определения винтовой поверхности фрезы, сопряженной с полученной цилиндрической поверхностью рейки, записываются зависимости, задающие закон движения рейки относительно фрезы. Они имеют вид

$$\begin{aligned} x_{\phi} &= (x_p - d_{в.п.\phi}) \cos v + \\ &+ (y_p \cos \beta + z_p \sin \beta) \sin \phi; \\ y_{\phi} &= (x_p - d_{в.п.\phi}) \sin v + \\ &+ (y_p \cos \beta + z_p \sin \beta) \cos \phi; \\ y_{\phi} &= -y_p \sin \beta + z_p \cos \beta + p_{\phi}, \end{aligned} \quad (4)$$

где ϕ — угол поворота рейки вокруг оси z_{ϕ} ; p_{ϕ} — параметр винтовой поверхности фрезы. Расчетные уравнения для определения торцового профиля винтовой поверхности фрезы выводятся путем вычисления условных экстремумов координаты x_{ϕ} при $z_{\phi} = 0$ и различных значениях координаты y_{ϕ} , что задается наложением условия связи на переменную y_{ϕ} из последнего уравнения системы (4) в виде $y_{\phi} = (y_{\phi})_i$, где $i = 1 \dots n$, а n — количество значений, принимаемых переменной y_{ϕ} [8].

Выводы

Изложенное позволяет прийти к выводу, что использование геометрического моделирования позволяет решать следующие задачи:

- формообразование поверхности инструментальной рейки по заданной поверхности детали и параметрам их взаимного положения;
- формообразование винтовой поверхности червячной фрезы по полученной модели инструментальной рейки;
- моделирование винтовой поверхности детали по полученной модели инструмен-

тальной рейки (обратная задача профилирования);

- целенаправленное внесение изменений в форму профиля как инструмента, так и изделия, а также корректировка параметров установки изделия относительно инструмента;
- расчет профиля инструментальной рейки, сопряженной с винтовой поверхностью детали, без использования дифференциальных параметров ВП;
- прогнозирование возможных погрешностей формообразования винтовой поверхности детали.

Литература

1. Лашнев С. И., Юликов М. И. Расчет и конструирование металлорежущих инструментов с применением ЭВМ. М.: Машиностроение, 1975. 392 с.
2. Панкратов Ю. М. Профилирование обкатных инструментов. СПб.: Политехника-сервис, 2010. 158 с.
3. Чемборисов Н. А., Девжеева Т. Г. Обзор методов профилирования червячной фрезы для зубчатых венцов // Металлообработка. 2010. № 4. С. 2–6.
4. Ляшков А. А., Вивденко Ю. Н., Шутов А. Н. и др. Моделирование формообразования сложных поверхностей деталей // Металлообработка. 2010. № 4. С. 36–42.
5. Ляшков А. А. Компьютерное моделирование процесса формообразования зубчатых колес методом обкатки инструментальной рейкой и долбяком. Теоретические и прикладные вопросы современных информационных технологий: Материалы Всерос. науч.-техн. конф: В 2 ч. Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2009. Ч. 1., С. 49–54.
6. Голованов Н. Н. Геометрическое моделирование. М.: Изд-во физ.-матем. литературы, 2002. 472 с.
7. Погорелов В. И. AutoCAD 2010: концептуальное проектирование в 3D. СПб.: BHV, 2009. 368 с.
8. Ляшков А. А. Профилирование червячной фрезы для обработки винтовой поверхности. Омск: ОмПИ. 9 с. Деп. во НИИТЭМР 09.10.87 №450-мш87.