

УДК 681.3

А.В. Хандожко, доцент, д-р техн. наук*Брянский государственный технический университет**бул. 50-летия Октября, 7, г. Брянск, Россия, 240135**msi@tu-bryansk.ru***ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ
ВИНТОВЫХ КАНАВОК ДИСКОВЫМ ИНСТРУМЕНТОМ**

В статье изложены пути решения задачи профилирования режущего инструмента при обработке винтовых поверхностей. Рассмотрены вопросы математического моделирования, алгоритмического и программного обеспечения решения этой задачи.

Ключевые слова: алгоритмическое и программное обеспечение, профилирование режущего инструмента, обработка винтовых стружечных поверхностей.

Винтовые поверхности широко используются в машиностроении. Во многих случаях к таким поверхностям предъявляются высокие требования по точности. Кроме диаметральных и шаговых размеров важнейшим параметром винтовой поверхности является ее профиль. Винтовые поверхности делят на резьбы и винтовые канавки. Признаком, по которому выполняется деление, является угол подъема винтовой линии. Формальное деление винтовых поверхностей на резьбы и канавки обычно сопровождается изменением сечения, в котором задается их профиль. Для резьб это осевое сечение, для винтовых канавок обычно регламентируют торцевое сечение. В отличие от резьб их практически невозможно обрабатывать точением. При больших углах подъема витка кинематический задний угол на одной из сторон профиля обеспечить в разумных пределах ($2-4^\circ$) не удастся.

Основным методом обработки винтовых канавок является метод бесцентроидного огибания. При этом формообразование осуществляется с использованием фасонного инструмента (фрезы или профилированного абразивного круга).

Обработка происходит в условиях подреза, а получаемый профиль детали зависит не только от профиля инструмента, но и от параметров его установки. Поэтому задача профилирования инструмента для данного случая имеет специфику — ее нужно решать для конкретного случая установки инструмента на станке относительно детали. Причем интерес эта задача представляет как в прямой, так и в обратной постановке.

Существующие способы профилирования дискового инструмента разрабатывались до появления станков с такими возможностями. Имеющиеся современные методики предлагаются в виде законченных закрытых программных продуктов, работающих по принципу «черного ящика». В большинстве случаев эти программы позволяют работать лишь в жестких рамках, не позволяя варьировать все возможные параметры процесса.

Таким образом, можно сказать, что задача профилирования инструмента для рассмотренной схемы формообразования сложна, а ее решение позволяет более эффективно использовать ресурсы производства.

Одним из интересных и распространенных вариантов обработки методом бесцентроидного огибания является обработка винтовых поверхностей дисковым инструментом при параллельном расположении. Резьбофрезерование гребенчатой фрезой, накатывание абразивных кругов правящими роликами являются наиболее характерными видами такой обработки. Несмотря на наличие большого числа методик профилирования при проектировании такого инструмента, эта задача является интересной и не до конца решенной.

Задача, несмотря на свою внешнюю простоту, плохо доводится до инженерных зависимостей приемлемой сложности. Методики, предложенные С.И. Лашневым [1] и П.Р. Родиным [2], базируются на дифференциальной геометрии и инженеры не всегда могут их освоить. Хорошие результаты дает использование компьютерной графики, особенно при применении совершенных программных пакетов (CATIA, Pro/ENGINEER, Unigraphics и т.п.). Но эти системы дороги и не всегда доступны. В рамках более простых систем (Компас, TFlex и др.) графическое решение с 3-d моделями такой сложности затруднено. В связи с этим интерес могут представлять решения, которые базируются на более простых и доступных программных продуктах и несложном математическом аппарате. Рациональный выбор расчетной схемы позволяет решать эту задачу как плоскую и ограничиться аппаратом аналитической геометрии и численными методами.

Рассмотрим схему контактирования кольцевого тела вращения и винтовой поверхности, которая является архимедовым червяком (рисунок 1). Такой червяк имеет прямолинейный профиль в осевом сечении высотой H и спираль Архимеда в торцовом. Расстояние между осями контактирующих тел A_w в процессе формообразования не меняется.

В зависимости от постановки задачи (прямая или обратная) нужно найти параметры соприкасающихся кривых. При моделировании процесса резьбофрезерования оценивается точность резьбы, обрабатываемой резьбофрезой с кольцевой нарезкой прямолинейного профиля. При профилировании ролика для правки абразивного червячного шлифовального круга наоборот известен профиль червяка, а нужно найти сопряженный профиль диска, т.е. по параметрам спирали найти радиус окружности.

Для решения этой задачи представим инструмент (кольцевое тело) как совокупность отдельных дисков нулевой толщины. Рассечем винтовую поверхность детали и инструмент плоскостью перпендикулярной их осям. В сечении винтовой поверхности и кольца мы получаем спираль Архимеда и окружность соответственно, которые касаются друг друга. Так как межцентровое расстояние известно, можно найти радиус диска, который будет находиться в контакте с соответствующей спиралью Архимеда. Выполнив процедуру сечения винтовой поверхности плоскостями с малым шагом, мы получим совокупность спиралей Архимеда, которых касаются окружности. Найдя радиусы этих окружностей, мы фактически дискретно зададим профиль производящей поверхности инструмента.

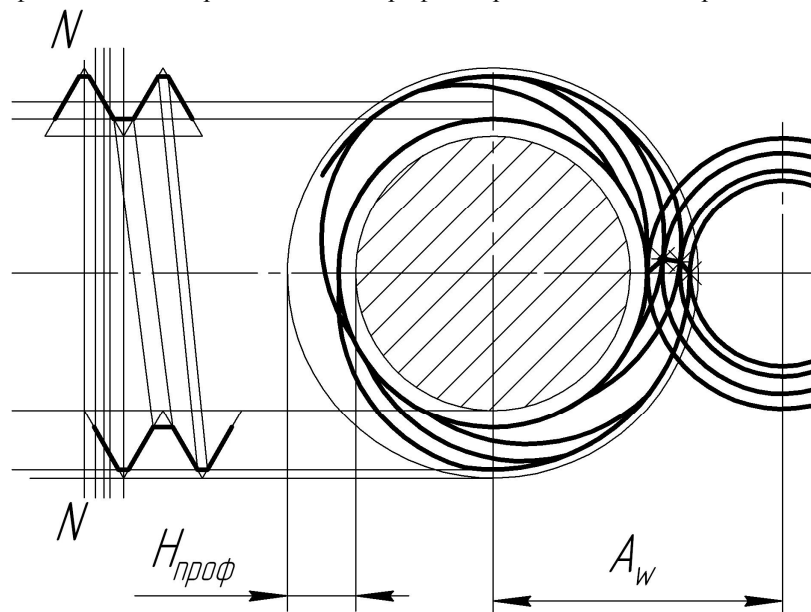


Рисунок 1 – Осевое и торцевое сечение расчетной схемы

Если речь идет о режущем инструменте, то профиль в исполняемых и контролируемых сечениях рассчитывается дополнительно по известным методикам. Соединив точки контакта, мы можем построить и характеристику. Задавая число сечений, можно обеспечить высокую точность профилирования.

Рассмотрим принятую расчетную схему. Пусть задан профиль червяка, а значит параметры спирали известны (рисунок 2). В декартовой системе координат уравнение спирали можно записать параметрически:

$$x = \rho \cdot \cos \varphi = a \cdot \varphi \cdot \cos \varphi$$

$$y = \rho \cdot \sin \varphi = a \cdot \varphi \cdot \sin \varphi$$

Известно положение центра окружности. Для упрощения задачи будем считать, что центр окружности расположен на оси ОХ. Уравнение окружности имеет вид:

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = R^2,$$

где x_0 и y_0 — координаты центра окружности.

Нужно найти окружность, которая касательна к спирали Архимеда. Неизвестными при этом являются координаты точки касания x и y , радиус окружности R , а также угол развертки спирали. Т.е. есть четыре неизвестных и три уравнения. Четвертое уравнение выражает условие наличие общей касательной.

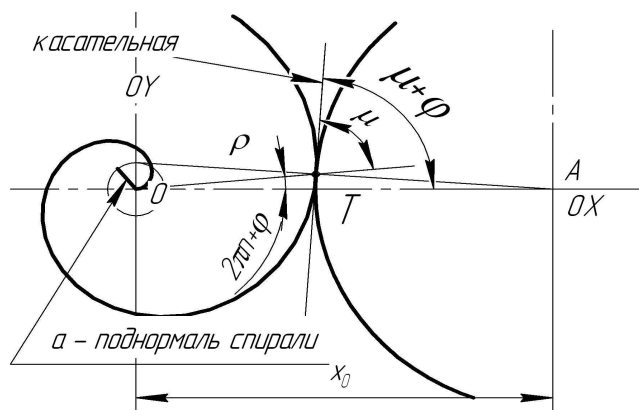


Рисунок 2 – Расчетная схема для определения параметров касания спирали и окружности

Наклон касательной к спирали относительно оси OX определяется суммой углов μ и φ . Как известно из аналитической геометрии, угол μ между касательной к спирали и радиус-вектором в точку касания ρ определяется следующим образом:

$$\operatorname{tg} \mu = \frac{\rho}{\rho'} = \frac{a \cdot \varphi}{a} = \varphi.$$

Тогда угол наклона к оси OX равен $\arctg(\varphi) + \varphi$

С другой стороны угол наклона касательной к окружности относительно оси абсцисс равен:

$$\cos(\mu + \varphi) = \frac{y}{R}.$$

Приравняв два выражения угла наклона общей касательной, получим последнее уравнение для системы, описывающей касание спирали и окружности:

$$\arctg \varphi + \varphi = \arccos \frac{y}{R},$$

где: φ – угол развертки спирали, y – ордината точки касания. Выполнив подстановки и преобразования, имеем систему из двух уравнений с двумя неизвестными:

$$\begin{cases} a^2 \varphi^2 - 2ax_0 \varphi \cos \varphi + x_0^2 = R^2 \\ \arctg \varphi + \varphi = \arccos \frac{a\varphi \sin \varphi}{R} \end{cases} \quad (1)$$

Данная система не имеет очевидного точного решения, но может быть решена численными методами. Следует отметить, что система имеет бесконечное множество решений — касание может быть наружным на нескольких витках при радиусе-векторе спирали меньшем, чем x_0 , а при большом угле раскрытия спирали, когда радиус-вектор больше x_0 возможно произвольно большое число внутренних касаний на различных витках спирали. Поэтому корни должны быть локализованы.

Это несложно сделать, ограничив угол φ в диапазоне ожидаемых значений. Для червяка Архимеда эти ограничения можно определить следующим образом. В его торцевом сечении мы имеем две ветви спирали Архимеда. На угле 180° они имеют спад равный теоретической высоте профиля. В пределах этого угла и находится искомые решения системы уравнений. Предельные значения угла развертки спирали получим, зная наружный и внутренний диаметры червяка.

Найденные углы можно использовать как начальные приближения и как границы процесса вычислительного процесса для исключения заикливания.

Некоторую сложность представляет поиск точек касания со спиралями, которые повернуты на некоторый угол, т.е. начинаются не от положительного направления оси OX. Их доворот на определенный угол δ приводит к изменению радиуса-вектора спирали пропорционально углу доворота. Т.е. величину доворота нужно просто вставлять в формулу. Тогда формула спирали будет иметь вид:

$$\rho = a(\varphi - \delta)$$

Величина доворота вычитается, если доворот идет в положительном направлении (против часовой стрелки). Соответственно в систему уравнений подставляется угол развертки спирали уже скорректированный на величину доворота δ .

Для решения системы уравнений (1) был использован метод Ньютона-Рафсона, а на основе полученных математических зависимостей был разработан программный модуль. Он позволяет вычислять радиус окружности касательной спирали с задаваемой точностью. Предусмотрено аварийное

завершение программ при ее зацикливании. Модуль является частью прикладной программы профилирования роликов для накатывания червячных абразивных кругов, предназначенных для шлифования зубчатых колес. На основе данных, заданных в диалоговом режиме, выполняется разбивка профиля на N отдельных сечений, для каждого из которых решается задача поиска радиуса инструмента. Число сечений задается в зависимости от высоты профиля сечения и теоретически неограниченно. Важным достоинством программы является отсутствие ограничений на модули, углы зацепления, наличие коррекции. Программа создана в двух модификациях – как прикладная библиотека для графического пакета «Компас» и самостоятельный модуль, функционирующий в рамках операционной системы. Модуль для среды «Компас» использует возможности графической среды для ввода исходных данных, а также для отображения полученного профиля. В обоих вариантах программы предусматривается запись в файл результатов расчета, в частности точек профиля накатного круга.

Однако изложенная выше схема пригодна лишь для одного частного случая — обработки архимедова червяка дисковым инструментом при параллельных осях. Для иного профиля детали уравнения будут иными. Это снижает универсальность программного модуля. Поэтому был реализован еще один алгоритм, пригодный не только для функционального, но и табулированного описания кривой в торцовом сечении. В этом случае мы рассматриваем криволинейное сечение как ломаную с малой управляемой дискретностью. Поскольку ломаная очерчивает выпуклую область, поиск касательной можно с некоторой погрешностью свести к поиску точки этой ломаной, расположенной на минимальном расстоянии от центра окружности A (рисунок 2). Погрешность такой замены зависит от шага точек табулированного описания кривой. Алгоритмы управления погрешностью нахождения касательной зависят от способа задания торцового сечения. Если торцовое сечение описано математически (архимедов, конволютный, эвольвентный или другой червяк), то расчет ведется по следующей схеме: а) из массива точек табуляции кривой находится точка, расположенная на минимальном расстоянии от центра окружности A , т.е. рассчитывается радиус инструмента r_i ; б) рассчитываются точки в окрестности на расстоянии половины углового шага в положительном и отрицательном направлении; в) из этих двух точек находится точка с минимальным расстоянием до центра окружности A , т.е. r_{i+1} ; г) определяется величина уточнения радиуса Δr . Если величина уточнения сопоставима с точностью расчетов, вычислительный процесс завершается. В противном случае расчетные процедуры повторяются с пункта б). Как показала практика программной реализации такой подход удобнее и проще по сравнению с использованием метода Ньютона-Рафсона. Важным достоинством алгоритма является 100% вероятность схождения вычислительного процесса и принципиальная невозможность зацикливания.

Принципиально названные подходы, расчетные схемы и алгоритмы легко могут быть адаптированы для решения других задач профилирования при обработке винтовых поверхностей дисковым инструментом как в прямой, так и в обратной постановке.

Тестирование показало хорошую сходимость результатов расчета профиля с результатами, полученными альтернативными методами.

Библиографический список использованной литературы

1. Лашнев С.И. Формообразование зубчатых деталей реечными и червячными инструментами / С.И. Лашнев. — М.: Машиностроение, 1971. — 216 с.
2. Родин П.Р. Основы теории проектирования режущих инструментов / П.Р. Родин. — М.: Киев: Машгиз, 1960. — 160 с.

Поступила в редакцию 13.03.2012 г.

Хандожко А.В. Программный модуль для моделирования процессу обработки гвинтових канавок дисковим інструментом

У статті викладені шляхи вирішення завдання профілювання різального інструменту при обробці гвинтових поверхонь. Розглянуто питання математичного моделювання, алгоритмічного і програмного забезпечення вирішення цього завдання.

Ключові слова: алгоритмічне і програмне забезпечення, профілювання різального інструменту, обробка гвинтових стружкових поверхонь.

Handozhko A.V. The software module for simulating the processing of helical grooves disk tool

The article describes ways to solve the problem of profiling the cutting tool in the processing of helical surfaces. The problems of mathematical modeling, algorithms and software to solve this problem.

Keywords: algorithmic and software, profiling cutter, screw machining particle surfaces.