

Особенности обработки различных типов внутренних резьб мерным инструментом

А. А. Нешта¹⁾, Д. В. Криворучко²⁾

^{1), 2)} Сумский государственный университет, ул. Римского-Корсакова, 2, 40007, г. Сумы, Украина

Article info:

Paper received:

04 December 2016

The final version of the paper received:

22 December 2016

Paper accepted online:

26 December 2016

Correspondent Author's Address:

¹⁾ anna.neshta@i.ua

²⁾ dmytro.kryvoruchko@gmail.com

На основании анализа последних исследований были выявлены недостатки существующих методов формообразования внутренних резьб, реализуемых различными способами обработки. Способ обработки круглой резьбы мерным инструментом показал высокую производительность по сравнению с известными способами.

Дальнейшие исследования его возможного применения при обработке других типов резьб являются актуальной задачей, для реализации которой необходимо определить диаметр инструмента и параметры траектории его движения.

Графическим способом определены реальные профили поперечных сечений. Аналитическим способом получены математические зависимости, связывающие шаг и форму профиля резьб с размерами инструмента и параметрами настройки оборудования.

Определены номинальные диаметры мерного инструмента и радиусы спиральной траектории его движения для метрической, дюймовой и круглой резьб. Получены коэффициенты регрессии, характеризующие степень влияния внутреннего диаметра и шаг резьбы на диаметр мерной фрезы.

Ключевые слова: метод огибания и касания, профиль резьбы, механическая обработка, резьбофрезерование, точность, режущая пластина.

1. ВВЕДЕНИЕ

В современном машиностроении происходит постоянное развитие различных исследовательских направлений в области обработки внутренних резьб, ввиду проблем, связанных с трудоемкостью процесса обработки, получением необходимой точности и высокой стоимостью инструмента, использующегося при методе копирования. Поэтому все чаще находят применение такие способы, как обработка вращающимися инструментами. При обработке мерной фрезой со стандартными режущими пластинами поверхность внутренней резьбы формируется сочетанием двух методов формообразования. На основе классификации [1] методов формообразующих движений способ обработки мерной фрезой, при котором производящая линия образуется методом огибания, а направляющая линия – методом касания, относится к методу огибания и касания. Ранее были определены области применения способа обработки мерной фрезой со стандартными режущими пластинами для метрической, дюймовой и круглой внутренних резьб. Высокая производительность обработки круглой внутренней резьбы данным способом позволяет прогнозировать возможность повышения эффективности обработки также для метрической и дюймовой внутренних резьб.

1.1. Анализ последних исследований и литературы

О. В. Мальковым [2] для получения внутренних резьб предложено использовать специальный комбинированный инструмент сверло-резьбофрезеру с винтовыми стружечными канавками и затылованной задней поверхностью, что подразумевает необходимость коррекции профиля для получения резьбы требуемой точности. При использовании конструкции данного инструмента сложно достигаются оптимальные режимы резания для одновременно выполняющихся двух различных по сути переходов – сверления и резьбофрезерования. Поскольку инструмент является специальным, то его изготовление будет дорогостоящим. Точность обработки резьбы в данной работе не рассматривается, так как зависит от точности изготовления инструмента.

В работе [3] с помощью моделирования процесса резьбофрезерования рассмотрено возникновение погрешности профиля при обработке гребенчатыми резьбовыми фрезами и даны рекомендации по определению профиля режущего инструмента для обработки внутренних резьб с требуемой точностью. Данный способ, как и предыдущий, характеризуется повышенной трудоемкостью при проведении расчета параметров требуемого профиля инструмента для резьбы с конкретными шагом, диаметром, углом профиля и степенью точности, а также невозмож-

ностью корректировки и подналадки в процессе работы. В данной работе даны рекомендации обработки только гребенчатыми фрезами.

В работе Д. В. Косарева [4] рассматривается повышение точности формообразования внутренних резьб при планетарном движении с использованием мерного инструмента. При этом используется фреза с резьбовыми пластинами стандартного профиля и передней направляющей для повышения жесткости инструмента. В данном способе сложность получения резьб высокой точности заключается в том, что необходимо изготавливать отверстие под резьбу и переднюю направляющую с малыми отклонениями для обеспечения малого допуска посадки соединения. Передняя направляющая является специальной деталью и должна изготавливаться для каждого типоразмера резьбы отдельно, что приводит к повышению стоимости обработки в конечном итоге. В исследовании рассматривается повышение точности с позиции обеспечения достаточной жесткости технологической системы, но другие факторы, в частности, геометрическая составляющая при планетарном движении, не рассматривались.

1.2. Постановка проблемы

Из рассмотренных источников следует, что способ обработки внутренней резьбы мерным инструментом со стандартным профилем режущих пластин нуждается в более подробных исследованиях по определению математических зависимостей, связывающих шаг, форму профиля резьбы с размерами инструмента и параметрами настройки оборудования. Настройка оборудования заключается в определении параметров спиральной траектории для обработки внутренней резьбы конкретного типоразмера, поэтому тема данного исследования является актуальной.

1.3. Цель работы

Определение диаметров мерных фрез и радиусов спиральной траектории их движения для обработки метрических, дюймовых и круглых резьб.

2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Способ обработки внутренней резьбы мерной фрезой при вращении вокруг своей оси и движении по спиральной траектории в конкретный момент времени образует окружность, диаметр которой равен диаметру фрезы, но не соответствует профилю резьбы в поперечном сечении. В результате возникают погрешности, которые необходимо учитывать при проектировании инструмента, параметров траектории его движения для достижения требуемой точности резьбы.

Для типоразмеров внутренних резьб, которые можно обработать мерным инструментом [5], были построены 3D-модели резьб согласно стандартам (для метрической – ГОСТ 9150-81, ГОСТ 24705-81, ГОСТ 16093-81, для дюймовой – ГОСТ 6357-81, для круглой – ISO 10208 и DIN 20317) и получены поперечные сечения профилей резьб.

Профили поперечных сечений резьб представляют собой замкнутые контуры, состоящие из частей окружностей диаметра впадин резьбы и проекций остальных частей витка. Расстояние от центра O резьбы до точек контура профиля поперечного сечения равно радиусу R_k (рис. 1), величина которого изменяется в процессе движения формообразующей точки и графическим способом определена с угловым шагом $\varphi = 10^\circ$. Всего было получено $k = 36$ различных значений радиуса контура R_k , что позволяет с достаточной точностью получить приближенную окружность.

Мерная фреза при обработке в конкретный момент времени образует окружность постоянного радиуса R_ϕ с центром O_ϕ , который при обработке смещается относительно центра резьбы O на величину X_ϕ (радиус ее спиральной траектории).

Максимальным несовпадением приближенной окружности и контура поперечного сечения резьбы является отклонение Δ_{max} .

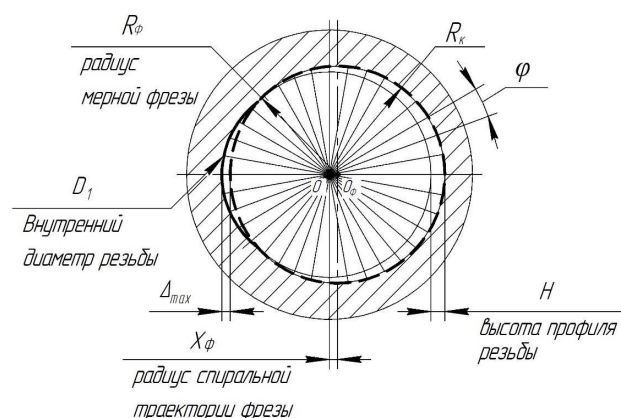


Рисунок 1 – Схематический профиль резьбы в поперечном сечении детали

Так как профили поперечного сечения резьбы и мерной фрезы не совпадают, то для обработки резьбы в пределах поля допуска необходимо определить такой радиус R_ϕ мерной фрезы и радиус X_ϕ ее спиральной траектории, при которых сумма квадратов несовпадений их профилей в $m = 36$ точках будет минимальной:

$$\sum_{i=1}^m (R'_k(\varphi_i, R_\phi, X_\phi) - R_k(\varphi_i))^2 \rightarrow \min, \quad (1)$$

где R'_k – радиус от центра резьбы до точек контура поперечного сечения резьбы, учитывающий параметры относительного движения мерной фрезы в системе отверстия резьбы (рис. 2);

R_k – радиус от центра резьбы до точек контура поперечного сечения резьбы;

φ_i – угловой шаг формообразующей точки резьбы при $i \in [1, m]$.

Для определения радиуса мерной фрезы R_ϕ и погрешностей обработки введем полярную систему координат (рис. 2). Диаметр мерной фрезы описывается уравнением окружности, параметры которой учитывают относительное движение фрезы в системе координат резьбы:

$$(R'_k)^2 = x^2 + y^2; \quad (2)$$

$$x^2 = (R_\phi)^2 \cos^2 \varphi;$$

$$y^2 = (R'_k)^2 - (R_\phi \cos \varphi - X_\phi)^2; \quad (3)$$

где X_ϕ – радиус спиральной траектории мерной фрезы, мм;

φ – угловая координата в полярной системе координат, рад;

x, y – координаты в Декартовой системе;

R'_k – радиус от центра резьбы до точек контура поперечного сечения резьбы, учитывающий параметры относительного движения мерной фрезы в системе отверстия резьбы.

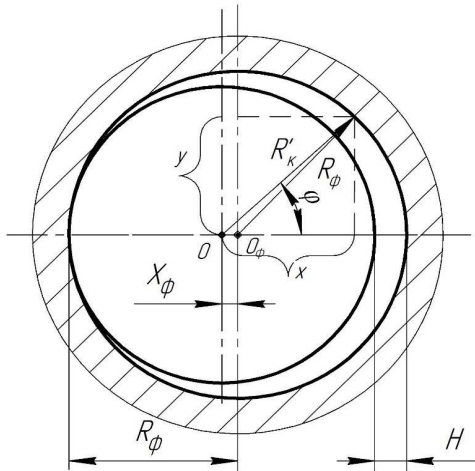


Рисунок 2 – Схематический профиль резьбы в полярной системе координат

Решая уравнение (3) относительно радиуса R'_k , получим

$$R'_k = X_\phi \cos \varphi + \sqrt{X_\phi^2 \cos^2 \varphi - X_\phi^2 + R_\phi^2}; \quad (4)$$

Полученные графическим способом данные радиусов контура поперечного сечения резьбы R'_k , значения угла φ и расчетная зависимость R'_k (4) сводятся в таблицу. Методом наименьших квадратов (1) определяются значения радиуса мерной фрезы R_ϕ и радиуса ее спиральной траектории X_ϕ , при которых несовпадение профилей поперечного сечения резьбы и фрезы позволят получать резьбу, параметры которой находятся в пределах допуска.

При аналитическом исследовании взаимосвязи между параметрами резьбы (номинальный диаметр резьбы D и шаг p), которые влияют на диаметр фрезы, и погрешности обработки профиля резьбы производим ряд опытов ($N = 5$). Условия проведения эксперимента и результаты представлены в таблицах 1–2. Значения величины радиуса траектории движения фрезы X_ϕ являются результатом проведения измерений при заданных значениях факторов D и p . В таблицах также приведены значения радиуса траектории X_ϕ' , полученные графическим способом.

Таблица 1 – Метрическая резьба

Номер опыта	p , мм	D , мм	X_ϕ , мм	X_ϕ' , мм
1	6	64	1,66	1,71
2	6	14	1,76	1,71
3	2	64	0,61	0,61
4	2	14	0,59	0,61
5	4	39	1,17	1,16

Таблица 2 – Дюймовая резьба

Номер опыта	p , мм	D , мм	X_ϕ , мм	X_ϕ' , мм
1	2,309	133,03	0,76	0,76
2	2,309	13,16	0,76	0,76
3	1,337	133,03	0,44	0,44
4	1,337	13,16	0,44	0,44
5	1,814	73,09	0,60	0,60

Определим конструктивные параметры мерной фрезы и параметры настройки оборудования для обработки различных типов резьб. Для этого найдем функциональные зависимости радиуса мерной фрезы R_ϕ и радиуса спиральной траектории движения фрезы X_ϕ от таких факторов, как шаг p и номинальный диаметр D резьбы:

$$R_\phi = f(D, p); \quad (5)$$

$$X_\phi = f(D, p). \quad (6)$$

Для определения степени влияния факторов предложено использовать линейную регрессионную математическую модель вида

$$R_\phi(D, p) = a_0 + a_1 D + a_2 p, \quad (7)$$

$$X_\phi(D, p) = b_0 + b_1 D + b_2 p, \quad (8)$$

где $a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2$ – искомые коэффициенты регрессии.

В результате поиска частных значений коэффициентов регрессии методом наименьших квадратов уравнения (7), (8) принимают вид (9)–(14). Так как для проектирования и изготовления осевого инструмента принято использовать диаметральные выражения, то преобразуем функциональные зависимости для различных типов резьб к виду:

1) для метрической резьбы

$$D_\phi = D_1 + 0,548p + 0,0489 \quad (9)$$

2) для дюймовой резьбы

$$D_\phi = D_1 + 0,657p \quad (10)$$

3) для круглой резьбы

$$D_\phi = D_1 + H \quad (11)$$

где D_ϕ – номинальный диаметр мерной фрезы, мм;

D_1 – внутренний диаметр резьбы, мм;

p – шаг резьбы, мм;

H – высота профиля резьбы, мм.

Радиус спиральной траектории фрезы X_ϕ :

1) для метрической резьбы

$$X_\phi = 0,277p + 0,0489; \quad (12)$$

2) для дюймовой резьбы

$$X_\phi = 0,328p; \quad (13)$$

3) для круглой резьбы

$$X_\phi = \frac{H}{2}. \quad (14)$$

Данные зависимости связывают шаг и форму профиля различных типов резьб. Форма профиля резьбы учитывалась при графическом способе построения максимально приближенной окружности к реальному контуру. Для круглой резьбы величина шага не оказывает влияния на погрешность диаметра приближенной окружности, что было доказано в предыдущих исследованиях [5].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Данилов В. А. Проектирование кинематики металлорежущих станков : пособие по курсу «Конструирование и расчет станков» / В. А. Данилов. – Новополюцк : ПГУ, 2008. – 228 с.
2. Мальков О. В. Исследование точности резьбы при резьбофрезеровании сверло-резьбофрезой [Электронный ресурс] / О. В. Мальков // ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Н. Э. Баумана». – 2007. – Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/index.html>.
3. Беломытцев А. Н. Моделирование резьбофрезерования / А. Н. Беломытцев, В. А. Хоменко // 6-я Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и молодежь». – Барнаул : Издательство АлтГТУ, 2009. – С. 50.

3. ВЫВОДЫ

1. Для типоразмеров внутренних резьб установлены математические зависимости линейного типа, которые позволяют определить диаметры мерных фрез и радиусы спиральных траекторий их движения. Полученные уравнения учитывают шаг и форму профиля для метрической, дюймовой и круглой резьб с соответствующими коэффициентами регрессии.

2. Установлено, что для круглой резьбы шаг не оказывает влияния на погрешность поперечного сечения, что следует из полученной математической зависимости.

3. Для метрической и дюймовой резьб установлена прямо пропорциональная зависимость погрешности поперечного сечения от шага резьбы.

Дальнейшие исследования направлены на повышения производительности обработки путем оптимизации режимов резания и составления рекомендаций при обеспечении требуемых параметров качества различных типов резьб.

4. Косарев Д. В. Повышение точности формообразования внутренних резьб фрезами с твердосплавными пластинами при планетарном движении инструмента : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук : спец. 05.02.07 – технология и оборудование механической и физико-технической обработки / Д. В. Косарев. – Москва, 2010. – 23 с.
5. Нешта А. А. Область применения метода обработки внутренней резьбы мерным инструментом / А. А. Нешта, Д. В. Криворучко // Вісник НТУ ХП. – 2015. – № 4. – С. 145–149.

Special aspects of machining of internal threads by measure tool

A. A. Neshta¹⁾, D. V. Krivoruchko²⁾

^{1), 2)} *Sumy State University, 2, Rimsky Korsakov Str., 40007, Sumy, Ukraine*

Based on an analysis of recent studies of various machining methods the disadvantages of existing methods of internal threads machining have been identified. The proposed method of machining round threads by up to measure tool demonstrated superior performance in comparison with known machining methods.

Further study of possible use of up to measure tool in machining other types of threads is an urgent task, the realization of which is necessary to determine of parameters of tool diameter and its motion trajectory. The real cross-section profiles of the thread were determined by graphical method. Analytical method derived mathematical expressions that bind the pitch and thread shape with the tool dimensions and machining equipment settings.

The nominal diameters of up to measure tool radius and spiral trajectory of its motion for the metric, inch and a round thread was defined. The coefficients of regression, which characterize the degree of influence of the internal diameter and the thread pitch on up to measure tool diameter.

Keywords: rounding method and touch, thread profile, machining, thread milling, precision, cutting insert.

Особливості оброблення різних типів внутрішніх різей мірним інструментом

А. О. Нешта¹⁾, Д. В. Криворучко²⁾

^{1), 2)} Сумський державний університет, вул. Римського-Корсакова, 2, 40007, м. Суми, Україна

На підставі аналізу останніх досліджень були виявлені недоліки існуючих методів формоутворення внутрішніх різей, що реалізуються різними способами оброблення. Спосіб оброблення круглої різі мірним інструментом показав високу продуктивність порівняно з відомими способами.

Подальші дослідження його можливого застосування при обробленні інших типів різей є актуальним завданням, для реалізації якого необхідно визначити діаметр інструмента і параметри траєкторії його руху.

Графічним способом визначені реальні профілі поперечних перерізів. Аналітичним способом одержані математичні залежності, які пов'язують крок і форму профілю різі з розмірами інструменту та параметрами налагодження обладнання.

Визначено номінальні діаметри мірного інструменту та радіуси спіральної траєкторії його руху для метричної, дюймової та круглої різей. Одержано коефіцієнти регресії, що характеризують ступінь впливу внутрішнього діаметра і кроку різі на діаметр мірної фрези.

Ключові слова: метод огинання і дотику, профіль різі, механічне оброблення, різьфрезерування, точність, різальна пластина.

REFERENCES

1. Danilov, V. A. (2008) Proektirovanie kinematiki metallovezhuschih stankov [Design of the kinematics of machines] Manual for the course "Design and calculation machines". Novopolotsk [in Russian].
2. Malkov, O. V. (2007) Issledovanie tochnosti rez'by pri rezbofrezirovani sverlo-rezbofrezoy [The investigation of precision thread during thread-drill thread milling cutter] FGBOU VPO "MGU im. N. E. Baumana" [in Russian]. <http://technomag.edu.ru/index.html>.
3. Belomytcev, A. N., Homenko, V. A. (2009) Modelirovanie rez'bofrezirovaniya [Thread milling modeling] Nauka i molodezh. – Science and youth, P. 50 [in Russian].
4. Kosarev, D. V. (2010) Povyshenie tochnosti formoobrazovaniya vnutrennih rez'b frezami s tverdosplavnymi platinami pri planetarnom dvizhenii instrumenta [Improving the accuracy of forming the internal thread milling cutters with carbide tools with planetary motion] Candidate's thesis. Moscow [in Russian].
5. Neshta, A. A., Krivoruchko, D. V. (2015) Oblast' primeniya metoda obrabotki vnutrennej rez'by mernym instrumentom [Application area of the method of processing the internal thread dimensional tool] Visnyk NTU KhPI, Vol. 4, 145–149 [in Russian].