

УДК 621.9.02.001

к.э.н. Зинченко А.М.,  
к.т.н. Кучма С.Н.,  
Стародубов С.Ю.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

## ПРОФИЛИРОВАНИЕ РЕЗЬБОНАРЕЗНОГО ИНСТРУМЕНТА, РАБОТАЮЩЕГО МЕТОДОМ КАСАНИЯ

*Разработана методика графоаналитического определения исходной формообразующей поверхности при профилировании резьбонарезного инструмента, работающего методом касания: дисковых фрез, вихревых головок и т.п.*

**Ключевые слова:** резьбонарезание, профилирование резьбонарезного инструмента, вихревая головка, дисковая резьбонарезная фреза, исходная формообразующая поверхность.

### **Проблема и её связь с научными и практическими задачами.**

В машинах и механизмах для создания разъёмных соединений и преобразования вращательного движения в поступательное, широко используются резьбы: крепёжные и ходовые. Согласно статистическим данным около 60% деталей машин имеют в своей конструкции резьбовые поверхности различного профиля: треугольного, прямоугольного, трапецеидального, круглого, типа «стрельчатая арка» и т.д.

Все существующие способы резьбонарезания можно классифицировать по методу получения образующей линии [1]: след или касание. На методе следа основаны такие способы резьбонарезания, как многопроходное точение резцом, нарезание резьб резьбовыми гребёнками, плашками и метчиками. Метод касания лежит в основе фрезерования резьб дисковыми и гребёнчатыми фрезами, вихревого резьбонарезания, резьбошлифования.

Все способы резьбонарезания, основанные на методе касания, характеризуются высокой производительностью, однако для их реализации требуется специализированный инструмент, от точности определения профиля режущей кромки которого во многом зависит точность обработки.

Профиль режущей кромки инструмента определяется на этапе проектирования. Сложность задачи заключается в том, что при работе методом касания контакт режу-

щей кромки инструмента с впадиной резьбы происходит по пространственной кривой сложной формы, характеристики которой неизвестны, и их необходимо определить.

В практике проектирования резьбонарезного инструмента определение профиля кривой контакта режущих кромок инструмента с поверхностью впадины обрабатываемой резьбы осуществляют одним из двух способов: аналитическим и графическим.

Анализ доступных авторам литературных источников показывает, что наиболее подробно аналитический способ излагается в работах [2, 3, 4]. Данный способ обеспечивает высокую точность определения профиля инструмента при условии наличия математической модели, описывающей характер взаимодействия производящей линии с обрабатываемой поверхностью. Однако зачастую получение такой модели весьма сложно, а в ряде случаев – невозможно. Также существенным недостатком метода является отсутствие визуализации получаемых результатов, поэтому их правильная интерпретация требует от конструктора опыта проектирования резьбонарезных инструментов, а возможные ошибки плохо поддаются выявлению и устранению.

Большее распространение ввиду простоты вычислений и наглядности проектирования получил графический метод, представленный в работах [5, 6, 7]. Однако точность этого метода ограничена точно-

стью графических преобразований и является относительно невысокой.

Приведенные данные позволяют сделать вывод, что проблема проектирования резьбонарезного инструмента, работающего методом касания, сохраняет свою актуальность на протяжении длительного времени.

**Постановка задачи.** Целью данной работы является разработка такого метода определения исходной формообразующей поверхности, который объединил бы преимущества аналитического и графического методов. Такой метод целесообразно назвать графоаналитическим.

Под исходной формообразующей поверхностью в данном случае понимается совокупность производящих линий, образуемых точками на режущей кромке инструмента при его вращении.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Установить необходимый набор исходных данных для профилирования исходной формообразующей поверхности.

2. Определить механизм взаимодействия резьбонарезного инструмента с поверхностью впадины резьбы.

3. Разработать последовательность определения радиусов исходной формообразующей поверхности.

#### Изложение материала и результаты.

Исходными данными для профилирования является профиль впадины резьбы с соответствующими размерами. На рисунке 1 в качестве примера показан профиль круглой резьбы ходового винта с наружным диаметром  $d$ , шагом  $t$ , радиусом резьбовой канавки  $R$  и диаметром впадин  $d_1$ .

Для удобства дальнейшего описания вводится система координат  $XOYZ$ . Начало координат (точка  $O$ ) располагается на оси винтовой линии посередине проекции впадины резьбы на фронтальную плоскость.

В произвольном сечении, перпендикулярном оси  $Z$  (сечение А–А) определяются координаты текущей точки вводится полярная система координат с началом в точке  $O$  и осью  $\rho_i$ , проходящей через точку впадины с минимальным радиусом.

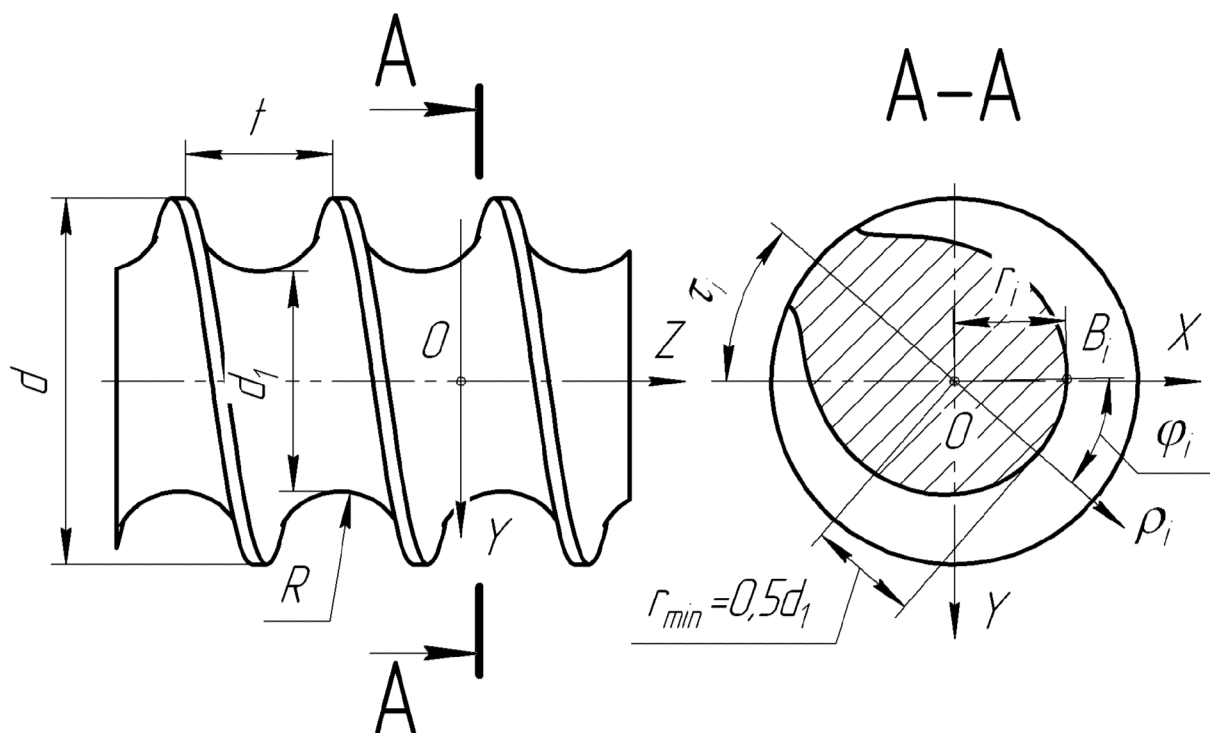


Рисунок 1 – Профиль резьбы

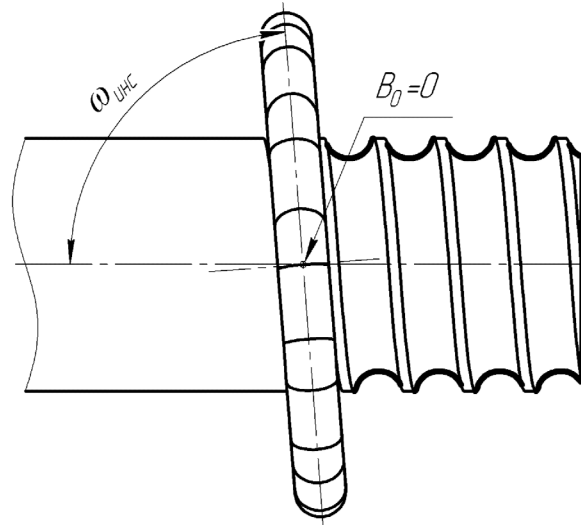


Рисунок 2 – Схема установки инструмента

Угол наклона оси  $\rho_i$  к оси  $OX$  на рисунке 1 обозначен  $\tau_i$ . В полярной системе координат определяется положение текущей точки  $B_i$ : радиус  $r_i$  и угол  $\varphi_i$ . Индекс  $i$  соответствует номеру рассматриваемого сечения.

Далее задаются величины, определяющие положение инструмента в процессе обработки. На рисунке 2 это координаты точки  $B_0$ , расположенной на наибольшем радиусе режущей кромки (на диаметре впадин  $d_1$ ) и угол установки инструмента  $\omega_{инс}$ .

Известно, что проекцией траектории винтового движения точки на осевую плоскость

является синусоида. Соответственно, проекцию резьбовой поверхности на осевую плоскость можно рассматривать как семейство синусоид, отличающихся амплитудой и расположением вдоль оси  $Z$ . На рисунке 3 представлено такое семейство синусоид для рассматриваемого примера. Амплитуда каждой синусоиды зависит от радиуса  $r_i$ , на котором находится рассматриваемая точка, а координата смещения  $z_i$  зависит от угла установки инструмента.

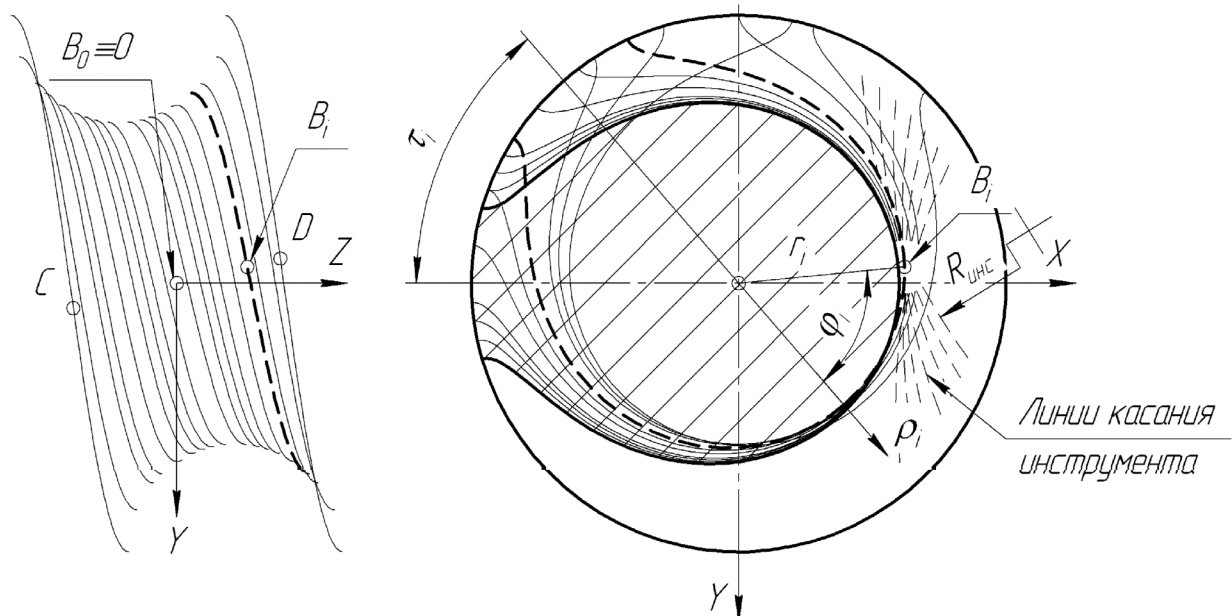


Рисунок 3 – Проекция траекторий точек резьбовой поверхности на плоскость

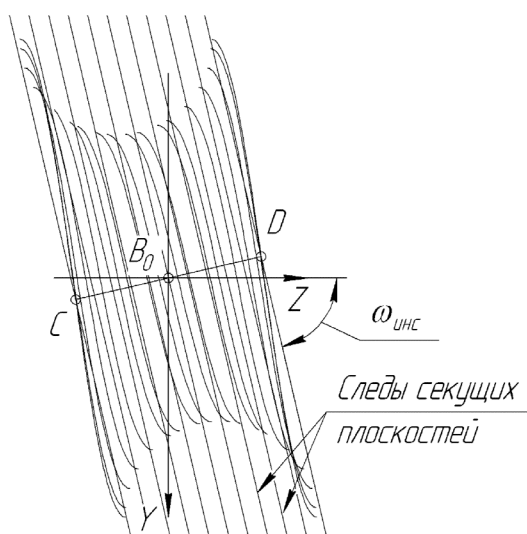
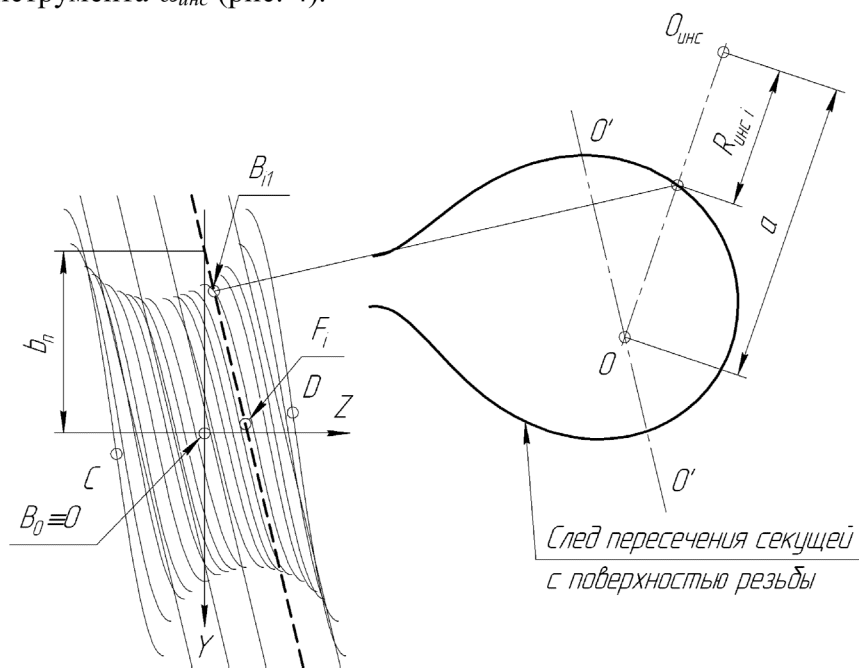


Рисунок 4 – Следы секущих плоскостей на исходной формообразующей поверхности

Полученное семейство синусоид представляет собой исходную формообразующую поверхность шириной  $CD$ . Указанная поверхность рассекается секущими плоскостями, перпендикулярными координатной плоскости  $YOZ$  на  $n$  частей. Следы секущих плоскостей на плоскости  $YOZ$  будут прямыми линиями, перпендикулярные отрезку  $CD$  и наклоненные к оси  $Z$  под углом установки инструмента  $\omega_{инс}$  (рис. 4).

Таким образом, задача профилирования резбонарезающего инструмента, работающего методом касания, сводится к определению радиусов окружностей  $R_{инс}$ , касательных к следу пересечения секущей плоскости с резьбовой поверхностью в каждой из секущих плоскостей. Схема решения представлена на рисунке 5.



$O_{инс}$  – центр инструмента;  $a$  – межосевое расстояние.

Рисунок 5 – Схема определения минимального радиуса исходной формообразующей поверхности

Вначале определяются координаты точек пересечения следа секущей плоскости с линией проекции траектории винтового движения точки  $B_i$ . Согласно рисунку 4, след секущей плоскости – это прямая, описываемая уравнением:

$$y = k_n \cdot z + b_n, \quad (1)$$

где  $b_n$  – длина отрезка, отсекаемого секущей плоскостью на оси  $Y$ . Зависит от угла подъёма винтовой линии и положения следа секущей на отрезке  $CD$  (от длины отрезка  $OF_i$ ) (рис. 5);

$n$  – индекс рассматриваемой секущей плоскости;

$k_n$  – угловой коэффициент, определяемый из выражения:

$$k = \operatorname{tg}(\pi - \omega_{\text{инс}}). \quad (2)$$

Как отмечалось ранее, проекция траектории винтового движения произвольной точки  $B_i$  есть синусоида, описываемая уравнением

$$y = r_i \cdot \sin(\varphi_i - \tau_i), \quad (3)$$

где  $r_i$  – текущий радиус рассматриваемой точки  $B_i$  в торцовом сечении;

$\varphi_i$  – текущий угол поворота точки  $B_i$  вокруг оси  $\rho_i$ ;

$\tau_i$  – угол поворота оси  $\rho_i$  текущего торцового сечения относительно оси  $X$  (рис. 1).

Между углом поворота  $\tau_i$  и координатой  $z$  существует известная зависимость:

$$\delta_k = \frac{2\pi \cdot z}{t}, \quad (4)$$

где  $t$  – шаг резьбы (винта), мм.

Подставляя выражение (4) в формулу (3) и приравнявая формулы (3) и (1), получаем уравнение:

$$k_n \cdot z - r_i \cdot \sin\left(\varphi_i - \frac{2\pi \cdot z}{t}\right) + b_n = 0. \quad (5)$$

Полученное нелинейное уравнение решается относительно координаты  $z$  известными методами (например, методом Ньютона или методом итераций). По формулам (1) или (3) определяют значение координаты  $y$ , соответствующей найденному значению координаты  $z$ .

Определяют радиус  $R_{\text{инс } i}$  исходной формообразующей поверхности в точке с координатами  $(z, y)$  (рис. 5).

Затем радиусу  $r_i$  дают приращение  $\Delta r$  и повторяют расчёты. Величина приращения  $\Delta r$  зависит от необходимой точности определения профиля исходной формообразующей поверхности.

Наименьшее значения радиуса  $R_{\text{инс } \min}$  из полученного массива и будет искомым радиусом профиля исходной формообразующей поверхности на участке данной секущей плоскости. После его определения переходят к рассмотрению следующей секущей плоскости и т.д. В результате получают исходную формообразующую поверхность резбонарезного инструмента, работающего методом касания как совокупность её минимальных радиусов. Эти данные являются исходными для дальнейшего конструирования инструмента.

#### **Выводы и направления дальнейших исследований.**

Разработана методика графоаналитического определения профиля исходной формообразующей поверхности резбонарезного инструмента, работающего методом касания.

Данная методика может быть использована при конструировании дисковых резбовых фрез, вихревых головок, пальцевых фрез и т.д.

#### **Библиографический список**

1. Федотенок А. А. Кинематическая структура металлорежущих станков / А. А. Федотенок. — М. : Машиностроение, 1970. — 403 с., ил.
2. Лашинев С. И. Профилирование инструментов для обработки винтовых поверхностей / С. И. Лашинев. — М. : Машиностроение, 1965. — 152 с., ил.

3. Мальков О. В. Профилирование зубьев резьбовых фрез с винтовыми стружечными канавками / О. В. Мальков // *Science and education. Scientific periodical of the Bauman MSTU*, 2013. — Вып. 6. — С.37–54.
4. Мальков О. В. Определение профиля передней поверхности в торцевом сечении зубьев резьбовых фрез с винтовыми стружечными канавками / О. В. Мальков // *Электрон. журн. МГТУ им. Н. Э. Баумана: Наука и Образование*. — 2014. — Вып. 10. — С. 44–59.
5. Семенченко И. И. Проектирование металлорежущих инструментов / И. И. Семенченко, В. М. Матюшин, Г. Н. Сахаров; под ред. И. И. Семенченко. — М. : ГНТИ Машилит, 1963. — 953 с., ил.
6. Родин П. Р. Основы проектирования режущих инструментов / П. Р. Родин. — К. : Высш. шк., 1990. — 424 с., ил.
7. Панчук К. Л. Компьютерное графическое профилирование дискового инструмента для обработки винтовых поверхностей / К. Л. Панчук, В. Ю. Поликов, И. В. Бутко // *Вестник Кузбасского государственного технического университета*, 2011. — Вып. 3. — С. 69–74.

**Рекомендована к печати к.т.н., проф. Рутковским Ю.А.,  
гл. механиком по ремонту ПАО "АМК" Хорунжим А.А.**

Статья поступила в редакцию 11.11.15.

**к.е.н. Зинченко А.М., к.т.н. Кучма С.М., Стародубов С.Ю. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)  
ПРОФІЛЮВАННЯ РІЗЕНАРІЗНОГО ІНСТРУМЕНТА, ЩО ПРАЦЮЄ МЕТОДОМ  
ДОТИКУ**

*Розроблена методика графоаналітичного визначення вихідної формоутворювальної поверхні при профілюванні різенарізного інструмента, що працює методом дотику: дискових фрез, вихрових головок тощо.*

**Ключові слова:** різенарізання, профілювання різенарізного інструмента, вихрова головка, дискова різенарізна фреза, вихідна формоутворювальна поверхня.

**PhD in Economics Zinchenko A.M., PhD in Engineering Kuchma S.N., Starodubov S.Y. (Don-STU, Alchevsk, LPR)**

**PROFILING OF THREAD-CUTTING TOOL WORKING THROUGH SURFACE CONTACT**

*Method of semigraphical definition of the initial forming surface was developed for thread-cutting tool profiling working through surface contact i.e. disk cutters, whirling heads etc.*

**Key words:** thread cutting, profiling of thread-cutting tool, whirling head, single-thread cutter, initial forming surface.