

На правах рукописи

ПЛОТНИКОВ ФЕДОР АНДРЕЕВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ
НАРУЖНЫХ ВИНТОВЫХ КАНАВОК ТРЕНИЯ КАЧЕНИЯ**

Специальность 05.02.08 – Технология машиностроения

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рыбинск – 2015

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московский государственный индустриальный университет».

Научный руководитель:

заслуженный деятель науки и техники РФ, доктор технических наук, профессор
Сулов Анатолий Григорьевич

Официальные оппоненты:

Хандожко Александр Владимирович, доктор технических наук, заведующий кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты», ФГБОУ ВПО «Брянский Государственный Технический Университет»;

Коряжкин Андрей Александрович, доктор технических наук, заместитель главного технолога по механическим и механосборочным цехам ОАО НПО «Сатурн».

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет путей сообщения»

Защита состоится «__»_____ 2015 г. в _____ часов на заседании диссертационного совета Д 212.210.01 при ФГБОУ ВПО «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П. А. Соловьева» по адресу: 152934, г. Рыбинск, Ярославская обл. ул. Пушкина, 53.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева», адрес сайта [www. rsatu.ru](http://www.rsatu.ru).

Автореферат разослан «__»_____ 2015г.

Ученый секретарь диссертационного
совета д. т. н., доцент

Надеждин Игорь Валентинович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Винтовые пары трения качения используются в современном машино- и станкостроении в качестве исполнительных органов в кинематических цепях установочных и рабочих перемещений узлов станков, а также в различных механизмах точных перемещений. Это винтовые пары механизма рулевого управления автомобилей, ходовые винты шариковых винтовых передач станков, подъемно-транспортные механизмы. Являются ответственным механизмом. К ним предъявляются высокие требования по точности и качеству поверхности, влияющие на долговечность работы всей машины.

Как показал анализ технической литературы, справочные данные по вихревому назначению винтовых канавок, режимам обработки, параметрам точности и качества поверхности достаточно скудны. Отсутствуют теоретические положения по формируемым неровностям винтовых канавок при различных условиях обработки. Окончательная обработка винтовых поверхностей имеет ряд трудностей, связанных с использованием большого числа профильных шлифовальных кругов, что повышает себестоимость изготовления деталей. Поэтому исследование вопросов повышения эффективности технологии обработки наружных винтовых канавок в настоящее время является актуальным.

Цель работы: повышение эффективности технологии обработки наружных винтовых канавок трения качения за счет обеспечения требуемой шероховатости при вихревом нарезании и снижении себестоимости при шлифовании винтовых канавок профильного радиуса одним шлифовальным кругом.

Задачи работы:

1) Исследовать процесс вихревого нарезания наружных винтовых канавок при внешнем и внутреннем касании инструмента.

2) Установить теоретические зависимости для определения продольных неровностей винтовых канавок при различных условиях вихревого нарезания.

3) Составить программу для расчета продольных неровностей винтовых канавок при различных условиях вихревого нарезания, для определения режимов обработки при заданных значениях параметров неровностей.

4) По параметрам шероховатости Rz и S_m для различных схем и режимов вихревого нарезания винтовых канавок сформировать справочные данные.

5) Построить трехмерную геометрическую модель шлифования наружных винтовых канавок за счет дополнительного поворота круга для профилирования радиусов канавок и получить аналитические зависимости по определению радиусов винтовых канавок в зависимости от угла поворота круга.

6) Провести экспериментальные исследования по обработке наружных винтовых канавок и выдать рекомендации по их изготовлению.

Объект исследования: Наружные винтовые канавки трения качения.

Предмет исследования: Методы обработки наружных винтовых канавок трения качения вихревым нарезанием и профильным шлифованием.

Методика исследований: Теоретические исследования базируются на теории резания, научных основах технологии машиностроения, геометрическом аппарате с использованием трёхмерного компьютерного моделирования, фундаментальных математических положений, методах математического анализа, численных методах. Экспериментальные исследования были проведены на основании теории планирования экспериментов, с использованием современных средств контроля и обработки данных на ЭВМ.

Научная новизна заключается в следующем:

- получены теоретические зависимости для определения продольных неровностей наружных винтовых канавок при различных условиях вихревого нарезания;
- установлена возможность получения наружных винтовых канавок различного радиуса одним шлифовальным кругом за счет его дополнительного поворота;
- получены зависимости по определению радиусов наружных винтовых канавок в зависимости от угла поворота шлифовального круга.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

- Теоретические зависимости для определения продольных неровностей винтовых канавок при различных условиях вихревого нарезания.

- Метод получения наружных винтовых канавок различного радиуса одним шлифовальным кругом за счет его дополнительного поворота.
- Теоретическая зависимость для определения радиусов наружных винтовых канавок в зависимости от угла поворота шлифовального круга.
- Практические рекомендации по технологии обработки вихревым нарезанием и шлифованием наружных винтовых канавок.

Практическая значимость работы:

- Выданы практические рекомендации по шлифованию наружных винтовых канавок различного радиуса одним шлифовальным кругом за счет его дополнительного поворота.
- Практические рекомендации по технологии обработки вихревым нарезанием и шлифованием наружных винтовых канавок использованы в учебном процессе ФГБОУ ВПО «Московский государственный индустриальный университет» при подготовке бакалавров и магистров по направлению «Технология машиностроения».

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на следующих научных конференциях: 3-ей Международной научно-технической конференции «Модернизация машиностроительного комплекса России на научных основах технологии машиностроения» (ТМ-2011) (г. Брянск, 2011 г.); Международной научно-практической конференции «Итоги и перспективы интегрированной системы образования в высшей школе России: образование – наука – инновационная деятельность» (г. Москва, 2011 г.); 4-й Международной научно-технической конференции «Наукоёмкие технологии в машиностроении и авиадвигателестроении» (ТМ-2012) (г. Рыбинск, 2012 г.); 5-й Международной научно-технической конференции «Машиностроение – основа технологического развития России» (ТМ-2013) (г. Курск, 2013 г.); IX Международной молодёжной научной конференции по естественнонаучным и техническим дисциплинам «Научному прогрессу – творчество молодых» (г. Йошкар-Ола, 2014 г.); XI Международной научно-практической конферен-

ции «Инновации в машиностроении – основа технологического развития России» (ИвМ-2014) (г. Барнаул, г. Бийск 2014 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 печатных работ, в том числе 4 работы в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ для публикации материалов диссертационных исследований.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных результатов и заключения, списка литературы из 98 наименований и 3 приложения. Работа содержит 127 страниц, в том числе 40 рисунков и 19 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель, задачи, основные положения, выносимые на защиту, раскрыта научная и практическая ценность работы.

В первой главе рассмотрено современное состояние проблемы и основные направления, связанные с повышением эффективности технологии обработки наружных винтовых канавок трения качения. Представлены назначение и область применения винтовых пар трения качения. Обосновано их применение в современном машиностроении и других механизмах точных перемещений.

Проанализирована классификация основных профилей наружных винтовых канавок трения качения. Установлено, что широкое применение в винтовых парах трения качения имеют радиусные канавки.

Обработка винтовых поверхностей достаточно исследована в работах С. И. Лашнева, П. Р. Родина, Г. Шпура, Ф. А. Барбашова, С. В. Кирсанова, А. В. Хандожко, А. С. Ямникова. Процессы шлифования изучены Д. Г. Евсеевым, В. К. Макаровым, С. А. Лагутиным, В. А. Полетаевым, А. И. Сандлером, В. К. Старковым, А. В. Якимовым, Т. Штеферле. Существующие работы учёных А. И. Исаева, Э. В. Рыжова, В. Ф. Безъязычного, А. Г. Суслова и других создали теорию формирования поверхностного слоя при механической обработке.

Проанализированы технологические методы предварительной и чистовой обработки наружных винтовых канавок, показаны достоинства и недостатки существующих методов. На основе анализа выявлено, что вихревое нарезание является высокопроизводительным и малоизученным методом предварительной обработки наружных винтовых канавок.

Установлено, что метод профильного шлифования применяется на окончательном этапе обработки наружных винтовых канавок. Однако широкая номенклатура изготавливаемых наружных винтовых канавок трения качения требует использования большого числа профильных шлифовальных кругов.

Во второй главе приведена методика проведения исследований. Рассмотрены общая структура проведения исследований, используемые методы исследований и математический аппарат, применяемые образцы, оборудование.

Получение математических зависимостей, потребовало нестандартного подхода к решению задачи. Сочетание трехмерного параметрического моделирования в SolidWorks, методов аналитической геометрии и математического аппарата MathCAD позволяют установить аналитические зависимости для различных типоразмеров винтовых канавок и шлифовальных кругов.

В третьей главе приведены теоретические исследования по повышению эффективности технологии обработки наружных винтовых канавок трения качения. При изучении вопроса выделено два основных направления:

- черновая обработка – способ вихревого нарезания винтовых канавок;
- чистовая обработка – способ шлифования винтовых канавок за счет дополнительного поворота круга.

Проанализировав существующие технологические методы обработки наружных винтовых канавок, были теоретически решены две задачи.

1. Определение продольных неровностей наружных винтовых канавок при вихревом нарезании. Их наличие приводит к высокочастотному радиальному биению шариков. При вихревом нарезании наружных винтовых канавок образование продольных неровностей обусловлено в основном кинематикой взаимного перемещения резцов по формируемой винтовой канавке. Задача оп-

ределения продольных неровностей рассматривается для схем с внешним и внутренним касанием резцовой головки.

На основании предложенных геометрических схем (рисунок 1) с внешним и внутренним касанием инструмента получены теоретические уравнения по определению шага и высоты формируемых продольных неровностей наружных винтовых канавок при их вихревом нарезании.

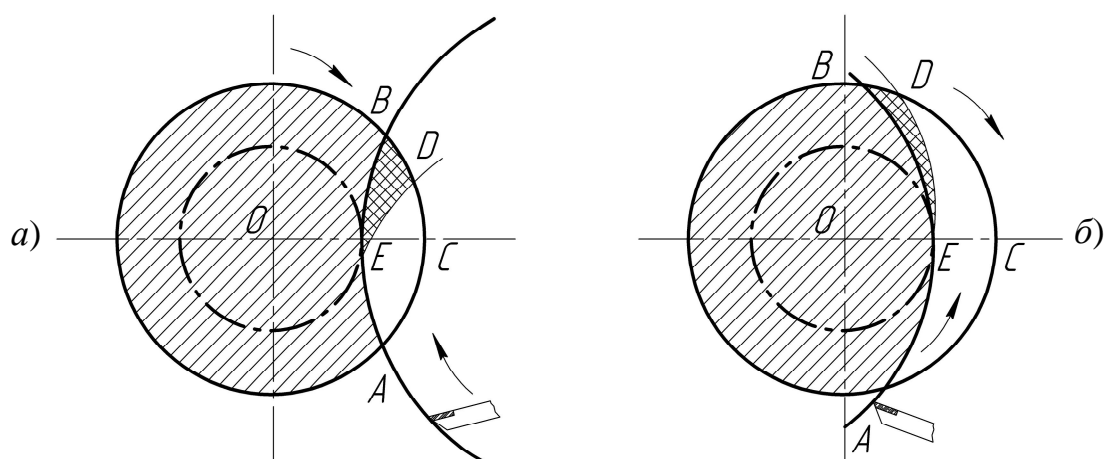


Рисунок 1 – Схемы формирования наружных винтовых канавок вихревым нарезанием: а) внешнее касание; б) внутреннее касание

Шаг неровностей S с учетом взаимного движения инструмента и заготовки для схем с внешним и внутренним касанием будет определяться по следующим формулам:

1. Встречное движение инструмента и детали:

$$S_{\text{вст}} = \frac{\pi d_{\text{рг}} V_3}{z(V_{\text{рг}} + V_3)}, \text{ мм.} \quad (1)$$

2. Попутное движение инструмента и детали:

$$S_{\text{поп}} = \frac{\pi d_{\text{рг}} V_3}{z(V_{\text{рг}} - V_3)}, \text{ мм.} \quad (2)$$

где d_3 и $d_{\text{рг}}$ – диаметры заготовки и резцовой головки, мм; V_3 и $V_{\text{рг}}$ – скорости вращения заготовки и резания, м/мин; z – число резцов в головке.

В соответствии с учётом взаимного движения инструмента и заготовки, высота формируемых продольных неровностей для схем с внешним и внутренним касанием резцовой головки определяется зависимостям:

– для внешнего касания при встречном движении инструмента и заготовки:

$$h_{\text{вст}} = \frac{\frac{d_3}{2} \left(1 - \cos \frac{180V_3 d_{\text{пр}}}{z d_3 (V_{\text{пр}} + V_3)}\right) + \frac{d_{\text{пр}}}{2} \left(1 - \cos \frac{1,8}{z}\right)}{\cos \frac{180V_3 d_{\text{пр}}}{z d_3 (V_{\text{пр}} + V_3)}}, \text{ мкм.} \quad (3)$$

– для внешнего касания при попутном движении инструмента и заготовки:

$$h_{\text{поп}} = \frac{\frac{d_3}{2} \left(1 - \cos \frac{180V_3 d_{\text{пр}}}{z d_3 (V_{\text{пр}} - V_3)}\right) + \frac{d_{\text{пр}}}{2} \left(1 - \cos \frac{1,8}{z}\right)}{\cos \frac{180V_3 d_{\text{пр}}}{z d_3 (V_{\text{пр}} - V_3)}}, \text{ мкм.} \quad (4)$$

– для внутреннего касания при встречном движении.

$$h_{\text{вст}} = \frac{\frac{d_3}{2} \left(1 - \cos \frac{180V_3 d_{\text{пр}}}{z d_3 (V_{\text{пр}} + V_3)}\right) - \frac{d_{\text{пр}}}{2} \left(1 - \cos \frac{1,8}{z}\right)}{\cos \frac{180V_3 d_{\text{пр}}}{z d_3 (V_{\text{пр}} + V_3)}}, \text{ мм.} \quad (5)$$

– для внутреннего касания при попутном движении:

$$h_{\text{поп}} = \frac{\frac{d_3}{2} \left(1 - \cos \frac{180V_3 d_{\text{пр}}}{z d_3 (V_{\text{пр}} - V_3)}\right) - \frac{d_{\text{пр}}}{2} \left(1 - \cos \frac{1,8}{z}\right)}{\cos \frac{180V_3 d_{\text{пр}}}{z d_3 (V_{\text{пр}} - V_3)}}, \text{ мкм.} \quad (6)$$

Сравнение уравнений (3) и (5), а также (4) и (6) показывает, что формируемые продольные неровности наружных винтовых канавок для схемы с внутренним касанием резцовой головки будут значительно меньше, чем для внешнего касания.

2. Получение наружных винтовых канавок различного радиуса одним шлифовальным кругом за счет его дополнительного поворота для повышения эффективности и расширения технологических возможностей процесса шлифования. Выдвинуто предположение о том, что при чистовой обработке наружных винтовых канавок, возможно, получать канавки различного радиуса одним шлифовальным кругом за счет его дополнительного поворота. (рисунок 2).

Для научного описания этого технологического процесса требуется определить функциональные зависимости ширины канавки от параметров обработки. Основные параметры, влияющие на формирование ширины канавки: D – диаметр шлифовального круга, мм; r – профильный радиус круга, мм; D_3 –

диаметр заготовки, мм; P – шаг винтовой канавки, мм; t – глубина шлифования, мм; θ – угол дополнительного поворота шлифовального круга, °.

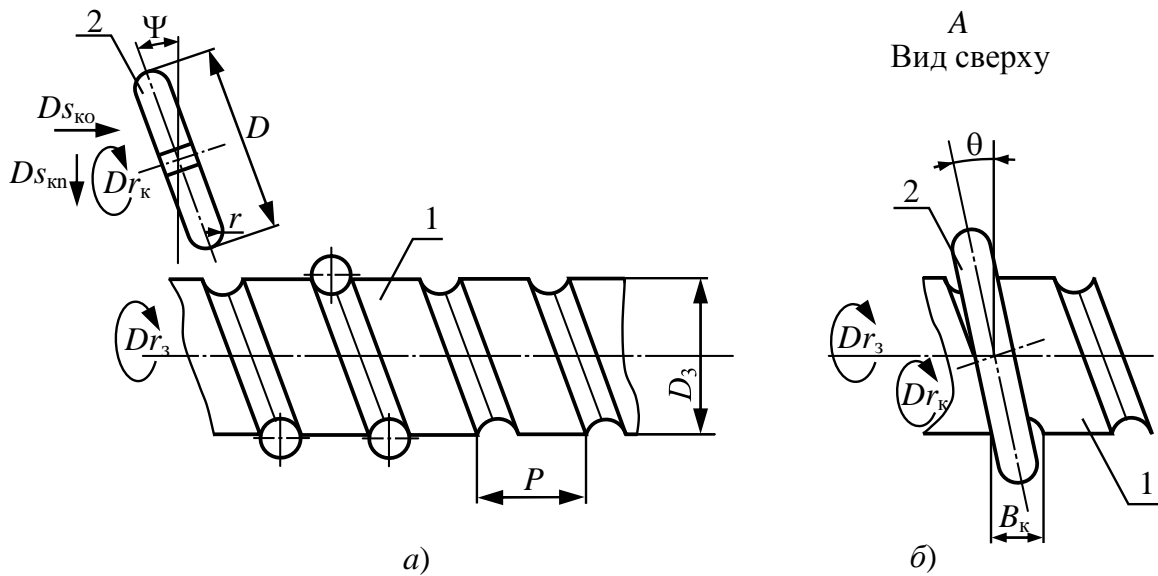


Рисунок 2 – Схема шлифования наружных винтовых канавок за счёт дополнительного поворота круга: *а* – вид спереди; *б* – вид сверху

Для того, чтобы определить искомый радиус канавки необходимо сначала найти ее ширину B_k . Запишем функциональную зависимость ширины канавки:

$$B_k = f(D, r, D_3, P, t, \theta]. \quad (7)$$

Определение функциональной зависимости решено двумя способами:

- трёхмерным твердотельным моделированием с использованием определенного пакета программ;
- математическим моделированием на базе аналитической геометрии.

Для моделирования использовалась программа SolidWorks. Этапы моделирования показаны на рисунке 3.

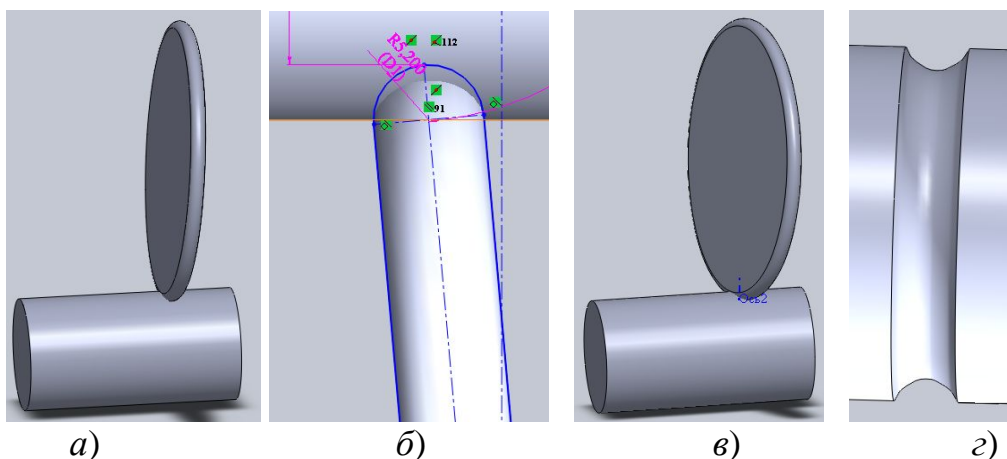


Рисунок 3 – Этапы трехмерного моделирования: *а* – исходные модели инструмента и заготовки; *б* – поворот тела инструмента на угол подъема винтовой канавки; *в* – поворот тела инструмента на угол θ ; *г* – получаемая винтовая канавка

На основании трехмерного моделирования для каждого конкретного сочетания параметров обработки определены значения ширины наружных винтовых канавок в зависимости от угла поворота θ .

Дальше возникла необходимость в построении общей аналитической модели, отражающей функциональную связь между исходными и выходными геометрическими параметрами заготовки и инструмента, и получении регрессионной зависимости для определения радиусов наружных винтовых канавок в зависимости от угла поворота шлифовального круга. Для определения ширины канавки необходимо установить экстремум параметрически заданной функции, описывающей положение точек тора, которое базируется на применении аналитической геометрии и элементов программирования. Предложенная аналитическая модель основана на том, что шлифовальный круг с профильным радиусом описывается тором, повернутым на углы ψ и θ в двух плоскостях ($\psi = \arctan(P/\pi D_3)$ – угол подъема винтовой канавки).

Уравнение тора в параметрическом виде:

$$\begin{cases} x(\alpha, \beta) = (D/2 - r(1 - \cos(\alpha))) \cos(\beta); \\ y(\alpha, \beta) = (D/2 - r(1 - \cos(\alpha))) \sin(\beta); \\ z(\alpha, \beta) = r \sin(\alpha), \end{cases} \quad (8)$$

где α, β – параметры $\alpha \in \left(-\frac{\pi}{2}; \frac{\pi}{2}\right), \beta \in \left(\frac{3\pi}{2} - \delta; \frac{3\pi}{2} + \delta\right)$.

Поскольку шлифовальный круг в процессе обработки повернут в двух плоскостях, то для описания его нового положения следует прибегнуть к преобразованию координат. С учётом системы (8), получим параметрическую функцию для описания положения повернутого круга в двух плоскостях:

$$\begin{cases} X = (D/2 - r(1 - \cos(\alpha)))(\cos(\theta) \cos(\beta) + \sin(\psi) \sin(\theta) \sin(\beta)) - r \cos(\psi) \sin(\theta) \sin(\alpha); \\ Y = (D/2 - r(1 - \cos(\alpha))) \sin(\beta) \cos(\psi) + r \sin(\psi) \sin(\alpha); \\ Z = (D/2 - r(1 - \cos(\alpha)))(\sin(\theta) \cos(\beta) - \cos(\theta) \sin(\psi) \sin(\beta)) + r \cos(\psi) \cos(\theta) \sin(\alpha). \end{cases} \quad (9)$$

На рисунке 4 показана модель шлифовального круга в виде тора, повернутого в двух плоскостях и описываемого параметрической функцией (8).

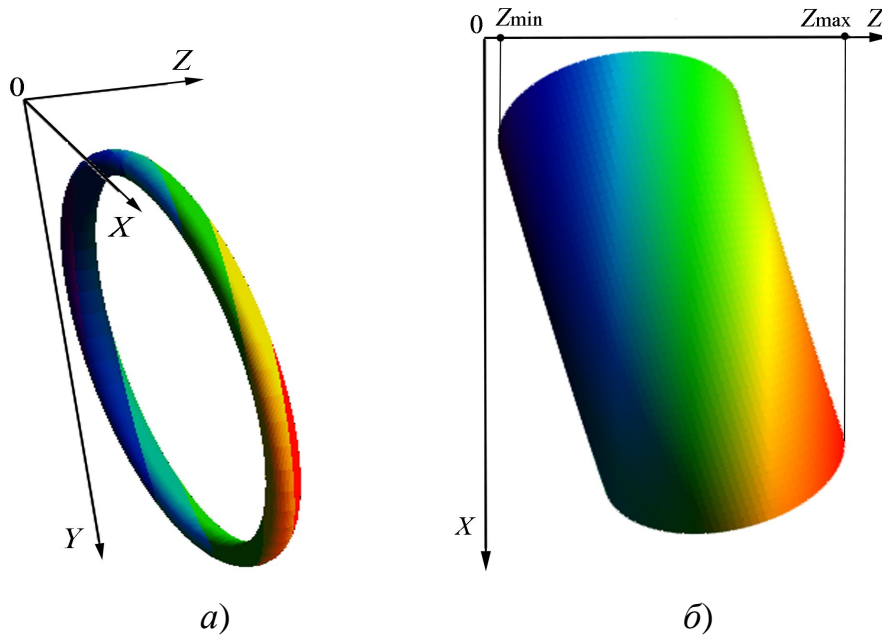


Рисунок 4 – Модель шлифовального круга: *a* – общий вид;
б – определение ширины винтовой канавки

Значение ширины винтовой канавки будет определяться максимумом и минимумом координаты Z точек, расположенных на поверхности круга в области, ограничиваемой углом контакта 2δ :

$$B_{\text{к}} = \begin{cases} Z_{\text{max}} - Z_{\text{min}} & \text{при } Z_{\text{min}} > 0 \\ Z_{\text{max}} + |Z_{\text{min}}| & \text{при } Z_{\text{min}} < 0 \end{cases}, \text{ мм}, \quad (10)$$

где Z_{max} и Z_{min} – максимальное и минимальное значение координаты Z параметрически заданной функции (9).

Определение ширины канавки, выполняется с помощью итерационных вычислений с применением циклов в программе MathCAD. По модели значение ширины винтовой канавки, можно определить искомое значение ее радиуса:

$$R_{\text{к}} = \frac{4t^2 + B_{\text{к}}^2}{8t}, \text{ мм} \quad (11)$$

Зависимость радиуса канавки от исходных данных носит нелинейный характер. Проведя методом наименьших квадратов, регрессионный анализ с использованием табличных данных, получили следующую зависимость для определения радиуса канавки $R_{\text{к}}$:

$$R_K = 0,656D^{0,105}r^1D_3^{0,102}P^{-0,006}t^{-0,182}\theta^{0,150}, \text{ мм.} \quad (12)$$

Так как решение задачи заключается в определении необходимого угла θ , то запишем выражение (12) в виде:

$$\theta = \sqrt[0,150]{0,656D^{0,105}r^1D_3^{0,102}P^{-0,006}t^{-0,182}R_K^{-1}}, \text{ }^\circ. \quad (13)$$

Разработанные теоретические положения позволяют определять радиусы наружных винтовых канавок в зависимости от геометрии заготовки и инструмента, глубины канавки и угла дополнительного поворота круга θ .

В четвёртой главе приведены результаты экспериментальных исследований по повышению эффективности технологии обработки наружных винтовых канавок методами вихревого нарезания и шлифования.

На первом этапе изучался процесс вихревого нарезания винтовых канавок. Графики, полученные в ходе экспериментов, представлены на рисунке 5.

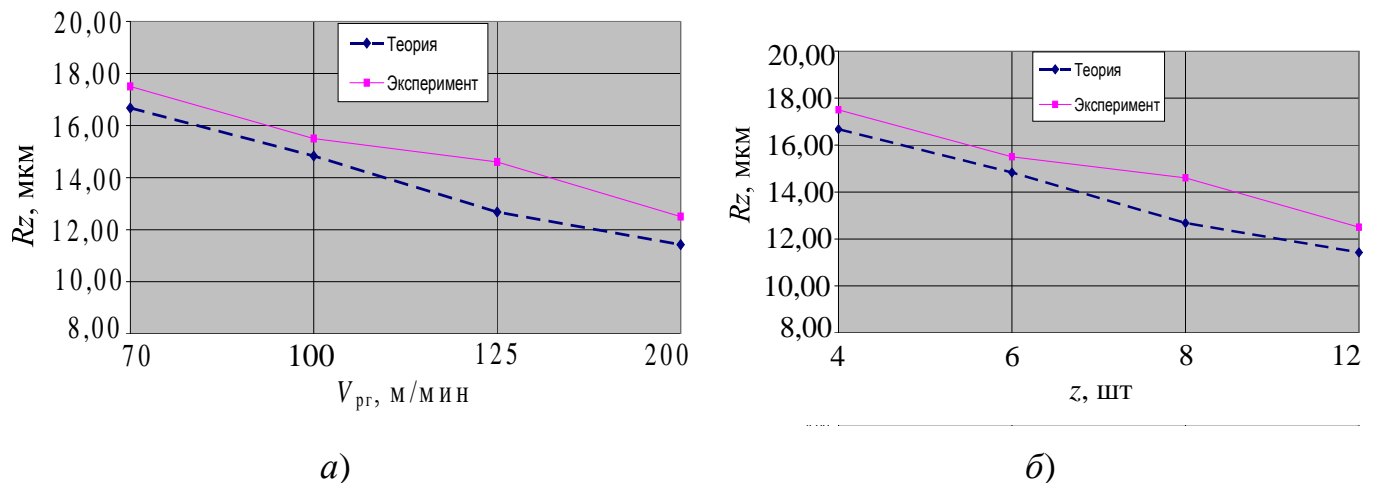


Рисунок 5 – Графики зависимости высоты продольных неровностей наружных винтовых канавок от: а) скорости главного движения резания; б) количества резцов

Из графиков видно, что с увеличением скорости резания, а также с увеличением количества резцов в резцовой головке, значения шагов и высот продольных неровностей наружных винтовых канавок уменьшаются.

Для получения экспериментальных зависимостей шага и высоты продольных неровностей при вихревом нарезании винтовых канавок были применены методы планирования экспериментов. После проведения экспериментов и обработки их результатов получены следующие зависимости:

– при внешнем касании резцовой головки с пластинами из быстрорежущей стали марки P6M5:

$$Sm = 1,38 - 0,08V_z - 8 \cdot 10^{-4}V_{pr} + 0,027z, \text{ (мм)} \quad (14)$$

$$R_z = 13,13 + 0,31V_z + 5,2 \cdot 10^{-3}V_{pr} + 0,003z, \text{ (мкм)} \quad (15)$$

– при внутреннем касании резцовой головки с пластинами из быстрорежущей стали марки P6M5:

$$Sm = 0,78 + 0,06V_z + 3 \cdot 10^{-4}V_{pr} + 5 \cdot 10^{-3}z, \text{ (мм)} \quad (16)$$

$$R_z = 9,27 + 0,16V_z + 2,6 \cdot 10^{-3}V_{pr} + 2,5 \cdot 10^{-3}z, \text{ (мкм)} \quad (17)$$

Погрешность между расчетными и экспериментальными значениями не превышает 15 %. Экспериментальные исследования подтверждают теоретические положения о том, что формируемые продольные неровности наружных винтовых канавок при схеме с внутренним касанием резцовой головки будут меньше, чем при внешнем касании.

На втором этапе экспериментальных работ был исследован процесс профильного шлифования наружных винтовых канавок за счет дополнительного поворота круга (рисунок 6).

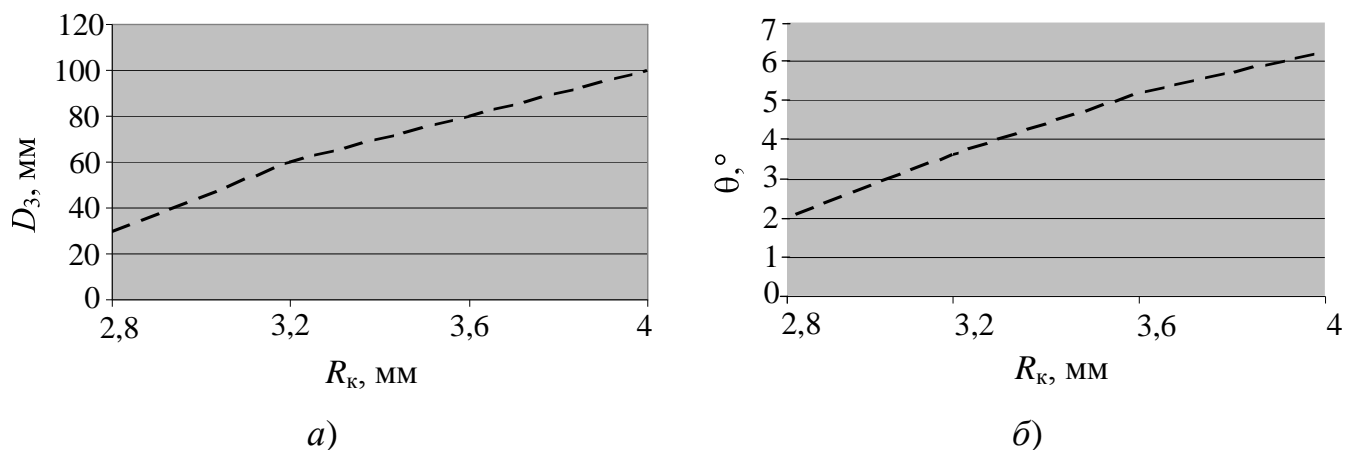


Рисунок 6 – Графики зависимости радиуса наружных винтовых канавок от:

а) диаметра заготовки; б) угла поворота шлифовального круга

Экспериментальные исследования показывают, что угол наклона шлифовального круга в наибольшей степени оказывает влияние на формирование радиусов канавок.

На базе метода планирования экстремального эксперимента получена следующая зависимость для определения радиуса наружной винтовой канавки:

$$R_k = 3,44 + 1 \cdot 10^{-4} D - 4 \cdot 10^{-3} D_z + 0,0013 P - 0,02 \cdot \theta, \text{ (мм)}. \quad (18)$$

Погрешность результатов экспериментов и расчетных данных, полученных трехмерным и математическим моделированием, составляет 12%.

В пятой главе рассмотрены вопросы практического применения разработанных технологий для повышения эффективности обработки наружных винтовых канавок. На основании полученных теоретических зависимостей разработаны алгоритм и программа для расчета шага и высоты продольных неровностей наружных винтовых канавок при вихревом нарезании. Также данная программа позволяет решать обратную задачу по установлению режимов обработки.

Сформированы справочные данные по вихревой обработке и профильному шлифованию. Произведен расчет экономической эффективности на операции шлифования наружных винтовых канавок. Экономический эффект составляет около 1240 рублей на один винт винтовой пары трения качения.

Заключение

1. Полученные теоретические зависимости для определения продольных неровностей наружных винтовых канавок при различных условиях вихревого нарезания позволяют определять шаг и высоту формируемых неровностей на поверхности канавки, а также проведена их экспериментальная проверка.

2. Созданные алгоритм и программа для расчета продольных неровностей наружных винтовых канавок дают возможность определять параметры поверхности при различных условиях вихревого нарезания; а также определять режимы обработки при известных значениях неровностей канавок.

3. Полученные справочные данные для различных схем вихревого нарезания наружных винтовых канавок расширяют возможности для быстрого решения различных технологических задач.

4. На основании трехмерной модели и полученных математических уравнений по определению радиусов наружных винтовых канавок в зависимости от дополнительного угла поворота шлифовального круга, возможно, существенно снизить номенклатуру используемых шлифовальных кругов.

5. Выданные рекомендации для ООО Концерн «Инмаш» по обработке наружных винтовых канавок позволяют проводить обработку с наибольшей эффективностью и наименьшей себестоимостью.

Основные положения диссертации отражены в следующих работах

Список публикаций в изданиях, рекомендованных ВАК

1) **Плотников Ф. А.** Возможности уменьшения номенклатуры шлифовальных кругов для обработки винтовых канавок [Текст] /Ф. А. Плотников, И. Ю. Цуканов //Наукоёмкие технологии в машиностроении, 2014. – № 2. – С. 12–15.

2) **Плотников Ф. А.** Формирование продольных неровностей винтовых канавок при вихревом нарезании [Текст] /Ф. А. Плотников, А. Г. Суслов //Наукоёмкие технологии в машиностроении, 2014. – № 6. – С. 20–23.

3.) **Плотников Ф. А.** Определение продольных неровностей наружных винтовых канавок при различных условиях вихревого нарезания [Текст] /Ф. А. Плотников, А. Г. Суслов //Справочник. Инженерный журнал, 2014. № 11. – С. 50–58.

4) **Плотников Ф. А.** Технологические возможности снижения номенклатуры профильных шлифовальных кругов [Текст] /Ф. А. Плотников, В. В. Порошин, И. Ю. Цуканов //Наукоёмкие технологии в машиностроении, 2014. – № 10. – С. 19–26.

Список публикаций в других изданиях

5) **Плотников Ф. А.** Технологическое обеспечение параметров качества поверхности при обработке наружных винтовых канавок. Сборник трудов Международной научно-практической конференции «Итоги и перспективы интегрированной системы образования в высшей школе России: образование – наука – инновационная деятельность». М.: РИЦ МГИУ, 2012. – С. 363–365.

6) **Плотников Ф. А.** Современная технология глубокого сверления. Сборник трудов 3-й Международной научно-технической конференции «Модернизация машиностроительного комплекса России на научных основах технологии машиностроения (ТМ-2011)». Брянск: Десяточка, 2011. – С. 81–82.

и другие. ***Всего 10 публикаций.***

Подписано в печать 2015г. Формат 60×34 1/16.

Бумага офсетная. Офсетная печать. Усл. Изд. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ.

(РИЦ РГАТУ) 1, г. Рыбинск, ул. Пушкина, д. 53