

## УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке и цифровому  
развитию МГТУ имени И.Э. Баумана  
д.э.н., профессор

П.А. Дроговоз

«» 2023 г.



## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Домнина Петра Валерьевича на тему «Повышение эффективности инструмента при обработке сложнопрофильных, в том числе винтовых, поверхностей на базе цифровых технологий формообразования», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.5. «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»

### Актуальность темы диссертации

Диссертационная работа Домнина П. В. посвящена актуальной проблеме повышения эффективности профилирования фасонных червячных, дисковых, торцевых и концевых фрез для обработки сложнопрофильных, в том числе винтовых, поверхностей. Для решения указанной проблемы соискателем разработана унифицированная структура проектирования режущих инструментов, сформированная на основе установленных взаимосвязей и содержащая: расчетные схемы, математические модели и компьютерные симуляции при решении прямых и обратных задач профилирования, определения размеров срезаемых слоев, схем резания, применительно к указанным режущим инструментам.

В целях перехода к передовым цифровым технологиям и способам проектирования, необходима разработка новых, современных подходов к проектированию инструментов для сложных процессов формообразования. Такие подходы к проектированию должны учитывать не только профили инструментальной и исходной поверхностей, параметры установки, но также все движения, сопровождающие процесс формообразования и его режимы.

Комплексное решение поставленной проблемы возможно на базе создания и широкого применения систем автоматизированного проектирования режущих инструментов. В свою очередь, в основе таких систем лежат математические методы, модели, программные алгоритмы, в совокупности позволяющие в полной мере использовать преимущества вычислительной техники по переработке больших объемов цифровой информации, быстродействию, точности расчетов.

С учетом вышеизложенного диссертация Домнина П. В., направленная на повышение эффективности профилирования режущего инструмента для обработки сложнопрофильных, в том числе винтовых, поверхностей **является актуальной.**

### **Оценка структуры и содержания диссертации**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и трех приложений. Объем работы: диссертация изложена на 384 страницах, включая 3 приложения, содержит 231 рисунок и 32 таблицы; список литературы включает 212 наименований.

Введение содержит обоснование актуальности решаемой проблемы, описание цели и задач исследований, направленных на ее достижение, информацию о научной новизне, теоретической и практической значимости, степени до-

стоверности и апробации результатов работы, а также научных положениях, выносимых на защиту.

В первой главе диссертации представлен анализ степени проработанности тематики исследований, а также аналитический обзор исследований в области сложных процессов формообразования и профилирования инструментов для обработки изделий с фасонными и в том числе винтовыми поверхностями.

Во второй главе представлена общая расчетная схема процесса формообразования, на основе которой формируются решения прямой и обратной задачи профилирования червячных фрез для обработки винтовых поверхностей произвольного профиля. Приведены алгоритмы методов решения задач профилирования, в основе которых лежит унифицированный ввод исходных данных и подпрограммы, позволяющие производить численные решения поставленных задач. Представлена реализация разработанных методов профилирования в среде математического моделирования Mathcad и в среде трехмерного моделирования T-Flex. Представлены модели формирования профилей различных исходных поверхностей.

В третьей главе рассмотрены частные случаи использования общей схемы и модели формообразования для решения задач профилирования при обработке фасонных винтовых поверхностей концевыми и торцевыми фрезами стандартного профиля. Представлены методы и алгоритмы решения обратных задач профилирования, в рамках которых возможно формировать схему резания, определять толщину срезаемых слоев и контролировать изменения кинематических задних углов вдоль режущих кромок на всех стадиях процесса обработки.

В четвертой главе рассмотрены экспериментальные исследования и промышленная апробация, подтверждающие адекватность, разработанных методов профилирования и моделей формообразования, которые проводились на базе:

МГТУ «СТАНКИН», г. Москва; ООО «Инструмент», г. Полоцкий; ПАО «МИЗ», г. Москва; ООО «Заря-Инструмент», г. Пенза; ООО «Часовое производство «Полет-Хронос», г. Москва; ОАО «Станкоагрегат» г. Москва.

В заключении по диссертации обобщены основные научные и практические результаты исследований.

Диссертация имеет внутреннее единство, написана грамотным литературно-техническим языком, основные положения работы аргументированы и понятны. Работа снабжена достаточным количеством корректно оформленного иллюстративного материала. Структура и содержание работы соответствуют цели и задачам исследования.

### **Новизна проведенных исследований и полученных результатов**

Новыми и значимыми для технических наук и машиностроительной отрасли являются результаты, полученные в диссертации, в том числе:

Унифицированная структура проектирования специальных режущих инструментов, включающая: расчетные схемы и математические модели, компьютерные симуляции при решении прямых и обратных задач профилирования на основе построения огибающей проекций направляющих линий на исходной поверхности при ее дискретных положениях применительно к широкой гамме режущих инструментов – фасонных и стандартных червячных, дисковых и концевых фрез при обработке фасонных винтовых поверхностей деталей.

Расчетные схемы, математические модели и компьютерные симуляции построения схемы резания и размеров срезаемых слоев на основе формирования следов от режущих кромок зубьев инструмента при формообразовании профиля детали, построенных на взаимосвязях между профилем исходной ин-

струментальной поверхности, параметрами установки, режимами резания, числом зубьев и кинематикой процесса формообразования.

### **Достоверность разработанных научных положений и выводов**

Достоверность научных положений и выводов в диссертации Домнина П. В. обеспечена согласованием расчетных и экспериментальных данных. Достоверность результатов работы подтверждена сериями вычислительных экспериментов, основанных на трехмерном моделировании процессов формообразования фасонных винтовых поверхностей инструментами на базе цилиндрической и торцевой исходной инструментальной поверхности, а также инструментами, работающими по методу обкатки. Достоверность полученных результатов проверена также с помощью экспериментальных исследований в лабораторных и производственных условиях с использованием промышленного и контрольно-измерительного оборудования на производственной базе предприятий: ООО «Инструмент», ПАО «МИЗ», ООО «Заря-Инструмент», ООО «Часовое производство «Полет-Хронос», ОАО «Станкоагрегат», а также на базе лабораторий технологического полигона МГТУ «СТАНКИН».

### **Результаты, полученные в диссертации, имеющие практическую значимость**

Разработаны рекомендации по определению параметров установки, характеристик и размеров инструмента для формообразования фасонных и в том числе винтовых поверхностей инструментами, работающими по методу обкатки, дисковыми фасонными фрезами, инструментами на базе цилиндрической и торцевой исходной инструментальной поверхности (концевые и торцевые фрезы), что обеспечивает расширение технологических возможностей инструмен-

та, повышает его надежность, работоспособность и способствует повышению точности обработки.

Разработаны рекомендации по назначению исходных задних углов инструмента в зависимости от изменения кинематических задних углов вдоль режущей кромки, а также по оценке загрузки различных участков режущей кромки в процессе формообразования фасонных, в том числе винтовых, поверхностей, что обеспечивает повышение стойкости инструмента.

### **Значимость полученных автором диссертации результатов для развития соответствующей отрасли науки**

Решена актуальная научная проблема по разработке унифицированной структуры проектирования режущих инструментов – фасонных и стандартных червячных, дисковых, концевых и торцевых фрез для обработки фасонных винтовых поверхностей деталей, сформированной на основе компьютерного моделирования процесса формообразования на базе численного представления исходных поверхностей с учетом кинематики процесса формообразования, параметров установки инструментов и режимами резания, что имеет высокую значимость для технических наук и отрасли машиностроения в предметной области механической обработки и инструментального производства.

### **Опубликование и апробация основных результатов диссертации**

Основные теоретические и прикладные результаты диссертации опубликованы в 32 статьях в изданиях из перечня ВАК РФ и в 10 статьях в изданиях, входящих в наукометрическую базу Scopus. По тематике работы получено 11 патентов РФ на изобретения и 3 патента РФ на полезные модели. Основные положения диссертации докладывались на 10 международных и всероссийских

научно-технических конференциях. Опубликованные работы в полном объеме отражают содержание диссертации. Публикации соискателя по теме диссертационной работы соответствуют установленным требованиям.

### **Рекомендации по использованию результатов и выводов, приведенных в диссертации**

Полученные результаты представляют несомненный научный и практический интерес и рекомендованы для использования при проектировании и производстве металлорежущего инструмента как специального, так и общего назначения. Разработанные программные алгоритмы и модели могут быть использованы для: создания современных систем автоматизированного проектирования режущих инструментов, работающих по методу обкатки (червячные фрезы, обкаточные резцы) для обработки поверхностей произвольного профиля, фасонных и стандартных инструментов дискового типа, а также концевых и торцевых фрез для обработки винтовых поверхностей; создания компьютерных симуляторов процесса обработки; технологической подготовки инструментального производства.

В целом диссертационная работа и автореферат диссертации соискателя Домнина П.В. по структуре и оформлению соответствует установленным требованиям.

По тексту автореферата и диссертационной работы имеются замечания.

### Замечания по диссертации

1. В названии диссертации отмечено повышение эффективности инструмента. Вместе с тем в диссертационной работе рассмотрены вопросы профилирования инструмента, предназначенного для обработки, в том числе винтовых поверхностей. По каким критериям или показателям можно сделать вывод о том, что повышена эффективность сложнопрофильного инструмента?

2. В качестве примера в диссертационной работе приведены профили спирального сверла, шлицевого вала, зубчатого колеса (звездочки) и эвольвентного зубчатого колеса. Для этих профилей можно спроектировать режущий инструмент червячного типа, используя классический подход, основанный на общей теории зацепления по профилю сопряженной рейки. Какие примеры профилей, где отсутствует общая касательная можно привести, чтобы показать преимущества разработанного метода профилирования для винтовых поверхностей произвольного профиля?

3. В практической значимости диссертации и автореферата отмечены рекомендации по математическому и трехмерному моделированию, моделированию процесса формообразования, реализации математических моделей для решения прямых и обратных задач профилирования. В каком виде представлены эти рекомендации, каким образом можно воспользоваться этими рекомендациями на практике?

4. В диссертационной работе предложено профиль червячной фрезы, рассчитанной дискретно с заданной точностью по точкам, заменить аппроксимацией дугами окружностей для переноса в программную среду T-flex. Какие погрешности возникают при такой аппроксимации по сравнению с численным расчетом?



5. На представленных в данной работе схемах резания и толщин срезаемых слоев отсутствуют режимные параметры, например, частота вращения инструментального шпинделя, которые должны соответствовать рекомендациям для данного инструмента и выполняемой операции.

6. При проектировании специальных червячных фрез для обработки фасонных винтовых поверхностей важным аспектом является определение оптимальных значений начальных диаметров и угла скрещивания осей. Однако, в работе этому аспекту не уделено должного внимания. Также не понятно, как точность межосевого расстояния и угла скрещивания влияет на точность профиля червячной фрезы?

7. В работе (пункт 7 Заключения) показано повышение точности профиля изготовленных колес при фрезеровании червячными фрезами не менее чем на 20%. Не ясно, какая точность была задана, и какая степень точности была достигнута.

8. В диссертационной работе отсутствует анализ формы обрабатываемых стружечных канавок, которые можно получить по предложенному способу профилирования. Не обоснованы соответствующие ограничения, поскольку закрытые канавки обработать, скорее всего, невозможно из-за сложности расположения в них инструмента.

9. Из диссертационной работы не ясно, какая геометрическая шероховатость образуется на передней поверхности при генераторной схеме резания и образовании стружечной канавки концевой и торцевой фрезами. Геометрическая шероховатость передней поверхности будет оказывать влияние на стружкообразование и стружкоотвод при эксплуатации инструмента.

10. При образовании стружечной канавки инструмента концевой и торцевой фрезами на вершине зубьев может наблюдаться повышенный износ из-за большого сечения срезаемого слоя, а при добавлении радиуса на вершине уве-

личится процент тонких стружек, соизмеримых с радиусом округления режущей кромки. По этой причине концевые и торцевые фрезы могут работать в условиях худших, чем дисковые, которыми получается также меньшая геометрическая шероховатость обработанной поверхности.

11. Важным фактором, влияющим на точность обработки, является жесткость технологической системы, однако, в диссертации этот аспект не затронут. Также не ясно, какое количество рабочих ходов нужно для обработки винтовой стружечной канавки, отсутствует связь между инструментальным и обрабатываемым материалом и рассчитанной геометрической толщиной срезаемого слоя.

12. В заключении по автореферату по п.п. 6, 7 указано, что разработана и использована на нескольких предприятиях «универсальная модульная система решения задач профилирования червячных фрез». Какая структура, состав и программное решение для этой системы? В каком виде она поставляется и как можно эту систему использовать на других предприятиях?

В целом, отмеченные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы.

### **Заключение**

В диссертационной работе Домнина П. В. решена научная проблема, имеющая важное хозяйственное значение для отрасли машиностроения в предметной области механической обработки, инструментального производства, заключающаяся в разработке унифицированной структуры проектирования режущих инструментов, сформированной на основе установленных взаимосвязей и включающей расчетные схемы и математические модели, компьютерные симуляции при решении прямых и обратных задач профилирования, определения размеров срезаемых слоев, схем резания, применительно к гамме режущих ин-

струментов: фасонных и стандартных червячных, дисковых и концевых фрез при обработке фасонных винтовых поверхностей деталей. Диссертация соответствует п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842, и требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.5. «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Диссертация обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствуют о личном вкладе автора диссертации в науку, что подтверждает соответствие диссертации требованиям п. 10 «Положения о порядке присуждения ученых степеней».

Все положения и выводы диссертации опубликованы в полном объеме в научных изданиях из перечня Министерства науки и высшего образования РФ, а также в изданиях, индексируемых в наукометрической базе Scopus, представлены в виде устных докладов на авторитетных международных и всероссийских конференциях. Таким образом, требования к публикациям основных научных результатов, предусмотренных пунктами 11, 12 и 13 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», автором выполнены.

Диссертация содержит ссылки на источники заимствования материалов, а при использовании результатов научных работ, выполненных соискателем в соавторстве, на это имеются соответствующие указания в тексте диссертации. Таким образом, автором соблюден пункт 14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней».

Диссертационная работа на тему: «Повышение эффективности инструмента при обработке сложнопрофильных, в том числе винтовых, поверхностей на базе цифровых технологий формообразования» содержит достаточно обос-

нованные выводы и рекомендации и в целом отвечает установленным требованиям, а ее автор Домнин Петр Валерьевич заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.5. «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Диссертационная работа и отзыв обсуждены на заседании кафедры "Инструментальная техника и технологии" Московского государственного технического университета имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет), протокол № 02/03 от «22» февраля 2023 г.

Заведующий кафедрой «Инструментальная техника и технологии»

доктор технических наук, профессор  
Грубый Сергей Витальевич



Доцент кафедры «Инструментальная техника и технологии»

кандидат технических наук, доцент  
Мальков Олег Вячеславович



Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет).

Адрес: 105005, г. Москва, улица 2-я Бауманская, д. 5, к. 1

Тел.: +7 (499) 263 63 91 / Факс: +7 (499) 267 48 44

Адрес электронной почты: [bauman@bmstu.ru](mailto:bauman@bmstu.ru)



Подписи заведующего кафедрой Грубого С.В. и доцента Малькова О.В. заверяю: