

Ученому секретарю диссертационного
совета 24.2.332.01 к.т.н., доц. Сотовой Е. С.
ФГБОУ ВО МГТУ «СТАНКИН»
127994 Москва, Вадковский переулок, д.1

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Артамонова Евгения Владимировича

на диссертационную работу Домнина Петра Валерьевича

«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 (технические науки)».

1. Актуальность темы диссертации

В настоящее время в отечественной машиностроительной отрасли в условиях импортозамещения сложилась острая необходимость в развитии собственного инструментального производства. Это в первую очередь касается развития новых, наиболее передовых подходов к проектированию, которые должны опираться на широкое применение вычислительной техники и программные средства автоматизированного проектирования, что должно способствовать повышению эффективности не только самого процесса проектирования и технологической подготовки производства, но и повышению эффективной работы самих металлорежущих инструментов.

Проектирование инструментов для обработки деталей с фасонными и винтовыми поверхностями действительно является одной из наиболее сложных задач инструментального производства. В особенности это касается инструментов, работающих по методу обкатки в виду сложности конструкции и кинематики их работы. Однако именно такие инструменты обладают более высокой производительностью, по сравнению с дисковыми инструментами. Основным ограничением для применения таких инструментов для обработки винтовых фасонных поверхностей различной формы, за исключением ряда частных случаев, являлось отсутствие возможности с достаточной степенью точности спрофилировать такой инструмент. Это связано с особенностями общей теории зацепления, на которой и основаны известные классические методы профилирования. Такие методы не позволяют произвести расчет точек в местах сопряжения поверхностей детали и инструмента, где отсутствует общая касательная и нормаль.

Для решения задач профилирования инструментов, работающих по методу обкатки для обработки винтовых поверхностей произвольного профиля необходима разработка новых методов, основанных на формализации кинематики движений инструмента и заготовки в процессе работы и численных математических методах. Такой подход позволяет уйти от условностей и упрощений в процессе профилирования и позволяет всегда находить решения и выделять из них наиболее рациональные. Это и было

реализовано в диссертационной работе Домнина П. В. в рамках разработки унифицированного подхода к процессам проектирования инструментов для обработки фасонных, в том числе винтовых, поверхностей на базе современных цифровых технологий.

Изложенное выше позволяет заключить, что тема диссертационной работы Домнина П. В. актуальна.

2. Оценка содержания диссертации и автореферата

Диссертация Домнина П. В. изложена на 384 страницах и состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 212 наименований. К работе прилагаются акты производственного внедрения и промышленной апробации полученных результатов, а также копии ряда патентов на новые технические решения.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, приводится цель и задачи работы, сформулирована научная новизна, теоретическая и практическая значимость, подтверждается достоверность результатов и приводятся данные об апробации результатов диссертации и научных положений, выносимых на защиту.

Первая глава посвящена аналитическому обзору известных работ, посвященных решению задач в области сложных процессов формообразования, разработке методов решения прямых и обратных задач профилирования инструментов и обработке винтовых фасонных поверхностей. Рассмотрены известные графические, графоаналитические и аналитические методы. В результате была сформирована структура ранее установленных функциональных взаимосвязей, как между факторами, так и между факторами и показателями процесса формообразования винтовых поверхностей инструментами червячного типа.

Во второй главе автор описывает разработанную общую модульную модель решения прямых и обратных задач профилирования, которая демонстрируется на примере формообразования винтовых стружечных канавок концевой фрезы инструментом червячного типа. Приведены расчетные схемы, исходные данные, общие алгоритмы и подпрограммы для решения прямых и обратных задач, проводится реализация метода в виде математических моделей и виде параметрических трехмерных моделей в T-flex. Подробно изложены математические модели, описывающие форму образующих некоторых винтовых поверхностей. Эти модели используются как модули исходных данных в общей модели профилирования.

В третьей главе развернуто описывается частный случай применения общей модели формообразования для решения обратной задачи профилирования при обработке фасонных винтовых поверхностей инструментом стандартного профиля. Автор приводит адаптированные расчетные схемы, алгоритмы и результаты моделирования формообразования винтовых поверхностей стандартными концевыми и торцевыми фрезами. Подробно излагается метод формирования схем резания и определения толщин срезаемых слоев материала режущими кромками инструмента на всех стадиях

процесса обработки, а также приводятся результаты исследования изменения кинематических задних углов. Подробно изложены результаты аппроксимации экспериментальных данных, для установления взаимосвязей между станочными параметрами установки инструмента и формой профиля обрабатываемой винтовой поверхности.

Четвертая глава посвящена экспериментальным исследованиям и промышленной апробации результатов работы. Приводятся результаты проектирования, изготовления, контроля и применения специальной червячной фрезы для обработки винтовых канавок концевой фрезы. Стоит отметить, что для контроля результатов автором применялись передовые методы и средства контроля. Демонстрируются результаты применения разработанных автором методов для проектирования специальных часовых червячных фрез и их промышленное применение. Приводятся экспериментальные исследования процессов формообразования винтовых поверхностей инструментом стандартного профиля с целью оценки адекватности разработанных модели и оценки работоспособности инструмента.

Диссертация обладает внутренним единством и не содержит противоречий. Работа написана грамотным и легко читаемым языком, научные и технические термины используются корректно и не затрудняют общее восприятие работы. Положения работы хорошо аргументированы и четко обозначены. Работа содержит многочисленные качественные иллюстрации, которые в полной мере раскрывают и поясняют изложенные автором научные результаты и положения. Структура и содержание работы полностью соответствует цели и задачам исследования.

Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации.

3. Новизна научных положений и результатов

Новыми научными результатами, изложенными в диссертации и имеющими высокую значимость, являются:

1. Унифицированная структура проектирования специальных режущих инструментов, сформированная на основе установленных взаимосвязей и включающая: расчетные схемы и математические модели, компьютерные симуляции при решении прямых и обратных задач профилирования, определения размеров срезаемых слоев, схем резания, применительно к широкой гамме режущих инструментов: фасонных и стандартных червячных, дисковых и концевых фрез при обработке фасонных винтовых поверхностей деталей.
2. Расчетные схемы, математические модели и компьютерные симуляции процесса профилирования, сформированного на основе построения огибающей проекций направляющих линий на исходной поверхности при ее дискретных положениях, с учетом кинематики процесса формообразования, построенных во взаимосвязях между исходными профилями детали или

инструментальной поверхности, параметрами их установки, применительно к червячным и дисковым инструментам при обработке фасонных, и в том числе винтовых, поверхностей деталей.

3. Расчетные схемы, математические модели и компьютерные симуляции определения размеров срезаемых слоев, на основе формирования траекторий движения двух соседних зубьев инструмента, построенных на взаимосвязях между исходной инструментальной поверхностью, параметрами ее установки относительно детали, режимами резания и кинематикой процесса формообразования.
4. Расчетные схемы, математические модели и компьютерные симуляции построения схемы резания, на основе формирования следов от режущих кромок зубьев инструмента при формообразовании профиля детали, построенных на взаимосвязях между профилем исходной инструментальной поверхности, параметрами установки, режимами резания, числом зубьев и кинематикой процесса формообразования.

Новизна разработанных автором методов профилирования и формообразования подтверждается наличием патентов на изобретения и полезные модели (приложение В к диссертации).

4. Теоретическая значимость работы

Теоретическая значимость работы заключается в разработке математического подхода к решению задач профилирования при обработке сложных фасонных, в том числе винтовых, поверхностей, основанного на синтезе численных математических алгоритмов (математических моделей), которые устанавливают взаимосвязи не только между формой инструментальной и формой исходной поверхности, а также параметрами установки инструмента, но и учитывают движения процесса формообразования и его режимы (подача, глубина резания). Данный подход обеспечивает возможность решения прямых и обратных задач профилирования при формообразовании фасонных винтовых поверхностей, дисковыми фасонными фрезами, инструментами на базе цилиндрической и торцевой исходной инструментальной поверхности (концевые и торцевые фрезы), инструментами, работающими по методу обкатки.

5. Практическая значимость работы заключается:

1. В рекомендациях по математическому и трехмерному моделированию для решения прямой задачи профилирования червячных фрез, позволяющие производить исследование полученных решений с учетом параметров установки, заданных интервалом значений, что обеспечивает повышение точности профилирования и позволяет находить наиболее технологичные решения.
2. В рекомендациях по моделированию процесса формообразования фасонных (в том числе винтовых) поверхностей в рамках решения обратной задачи профилирования для организации симулятора, позволяющего производить исследование процесса формообразования фасонных, и в том числе винтовых, поверхностей дисковыми фасонными фрезами, инструментами на базе

цилиндрической и торцевой исходной инструментальной поверхности (концевые и торцевые фрезы), а также инструментами, работающими по методу обкатки, с учетом их конструктивных особенностей, параметров установки и режимов работы.

3. В рекомендациях 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 инструмента, повышает его надежность, работоспособность и способствует повышению точности обработки.
4. В рекомендациях по реализации математических моделей для решений прямых и обратных задач профилирования при формообразовании фасонных винтовых поверхностей в среде графического трехмерного моделирования T-flex CAD 3D, что способствует минимизации затрат на подготовку производства деталей с периодическими фасонными (в том числе винтовыми) поверхностями.
5. В рекомендациях по назначению задних углов инструмента в зависимости от изменения кинематических задних углов вдоль режущей кромки в процессе 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 повышение стойкости инструмента и повышает надежность процесса обработки.
6. В рекомендациях по оценке загрузки различных участков режущей кромки в процессе формообразования на основании определения размеров срезаемых слоев при формообразовании 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 позволяет повысить надежность процесса обработки.

Подтверждением практической значимости работы являются апробация и внедрение результатов исследования на предприятиях ООО «Инструмент», ПАО «МИЗ», ООО «Заря-Инструмент», ООО «Часовое производство», «Полет-Хронос» и ОАО «Станкоагрегат».

6. Оценка обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Достоверность разработанных автором в рамках диссертационной работы подходов и методов, подтверждена применением системного подхода к вопросам моделирования. Автором проработаны различные варианты реализации своих идей в области решения задач профилирования. Разработанные автором методы реализованы различными способами и проверены рядом теоретических и экспериментальных исследований. В свою

очередь, результаты экспериментов, как критерий истины, получены с использованием современного технологического и аналитического оборудования, общепринятых методик исследований, и полностью согласуются с результатами моделирования.

Результаты исследований в работе опираются на основные правила и закономерности теории проектирования режущих инструментов для обработки фасонных винтовых поверхностей. Автором широко используются средства программирования, математического и геометрического моделирования, матричного исчисления, численные математические методы, математические методы аппроксимации и интерполяции, языки программирования высокого уровня, средства векторной и трехмерной графики, пакеты программ Mathcad, T-flexи др.

Обоснованность и значимость предложенной автором 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 широкой гамме режущих инструментов: фасонных и стандартных червячных, дисковых и концевых фрез при обработке фасонных винтовых поверхностей деталей подтверждается промышленной апробацией и внедрением на отечественных предприятиях машиностроительной отрасли.

Например, на предприятии ООО «Заря-инструмент» были спроектированы и изготовлены специальные цельные твердосплавные червячные фрезы (ВК6) для обработки зубчатых колес специального профиля, которые в ходе производственных испытаний позволили повысить производительность до 15%, а точность профиля изготовленных колес повысилась не менее чем на 20%.

7. Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Теоретические результаты диссертации Домнина Петра Валерьевича базируются на изучении и установлении новых взаимосвязей и закономерностей в сложных процессах формообразования винтовых поверхностей деталей инструментами широкой номенклатуры, а практические результаты направлены на автоматизацию процессов проектирования инструментов и технологической подготовки производства деталей со сложнопрофильными и винтовыми поверхностями. Выбранные в качестве объекта исследования процессы формообразования деталей и предметы исследования – методы и алгоритмы решения прямых и обратных задач профилирования инструментов для обработки фасонных винтовых поверхностей, соответствуют научной специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»: пунктам 3, 4 области исследований, которые перечислены в паспорте специальности.

8. Личный вклад автора

Диссертация является научно-исследовательской работой, в которой обобщены результаты исследований, полученных автором лично и в

соавторстве. Домнину П. В. принадлежит основная роль в разработке теоретических положений, получении и обработке экспериментальных данных, их анализе и обобщении всех полученных результатов. Основные положения и выводы диссертационной работы сформулированы и обоснованы автором лично.

9. Апробация результатов работы

Автором опубликованы 32 статьи в изданиях из перечня ВАК и 10 статей 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 неоднократно докладывались автором на профильных международных и всероссийских научно-технических конференциях. Диссертационная работа проводилась в рамках выполнения ряда государственных программ, а также в рамках выполнения программы научных исследований и разработок получателя стипендии Президента Российской Федерации.

10. Замечания по диссертации

1. Во второй главе диссертации описан способ построения схемы резания при обработке винтовых поверхностей инструментом червячного типа. Желательно было бы на большем количестве примеров и подробнее изложить возможности разработанного способа построения схемы резания.
2. Во второй главе диссертации автор предлагает алгоритм поиска огибающей как результата профилирования. Такое решение дает возможность получить результат в виде заданного количества дискретных точек с заданной точностью, и также получить профиль в виде непрерывной кривой. Но нужно учесть, что этот алгоритм не работоспособен, если огибающая множества точек должна формировать «закрытый» профиль.
3. В третьей главе диссертации рассматриваются случаи обработки стружечной канавки концевой фрезы концевыми и торцевыми фрезами. Судя по сформированной схеме резания, наибольшая нагрузка будет сконцентрирована на вершине зубьев, что приведет к повышенному износу. В связи с этим стандартные инструменты будут работать в условиях менее эффективных, чем специальные дисковые фасонные фрезы. Производилось ли сравнение стойкости дисковых фасонных фрез и инструментов стандартного профиля.

Приведенные замечания не снижают значимости научной новизны, практической ценности полученных результатов и общей положительной оценки диссертационной работы в целом.

11. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным положением о порядке присуждения ученых степеней

Диссертационная работа Домнина П. В. на тему «Повышение эффективности инструмента при обработке сложнопрофильных, в том числе винтовых, поверхностей на базе цифровых технологий формообразования» на соискание ученой степени доктора технических наук является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена научная проблема, имеющая важное хозяйственное значение для отрасли машиностроения в

областях механической обработки, инструментального производства, что подтверждает соответствие пункту 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней на соискание ученой степени доктора технических наук», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 года №842 и предъявляемым требованиям по специальности 2.5.5 «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Диссертация выполнена автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты (соответствие п. 10 «Положения о порядке присуждения ученых степеней»).

Основные научные результаты диссертации опубликованы в полном объеме в научных изданиях из перечня ВАК, Министерства науки и высшего образования РФ, а также в изданиях, индексируемых базах цитирования Scopus и Web of science, в патентах на изобретения и полезные модели. Все заимствования выполнены корректно (соответствие п. 11,12,13,14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней»).

Таким образом, диссертация на тему «Повышение эффективности инструмента при обработке сложнопрофильных, в том числе винтовых, поверхностей на базе цифровых технологий формообразования» на соискание ученой степени доктора технических наук соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», а ее автор Домнин Петр Валерьевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.5 «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Официальный оппонент:

Заслуженный работник
высшей школы РФ,
заведующий кафедрой
«Станки и инструменты»
ФГБОУ ВО «ТИУ»
Доктор технических наук
2.5.5 (05.02.07)- «Технология
и оборудование механической
и физико-технической
обработки», профессор

Артамонов Евгений Владимирович
Тел. 8-982-914-72-01
E-mail: evgart2014@mail.ru

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Тюменский индустриальный университет»
(ФГБОУ ВО «ТИУ») 625000, г. Тюмень.
ул. Володарского, 38



Артамонов Е.В.
Исполнительный документ общего отдела ТИУ
18.05.2022