

## АННОТАЦИЯ

**диссертационной работы Луб Татьяны Леонидовны  
на тему «Исследование точности ротационной обработки  
инструментом с самовращающейся режущей кромкой»  
на соискание степени доктора философии (PhD)  
по образовательной программе 8D07101 – Машиностроение**

**Актуальность исследования.** Современное развитие машиностроения характеризуется стремительным внедрением цифровых и автоматизированных технологий, повышением требований к точности и качеству изделий при одновременном снижении производственных затрат. Одним из ключевых направлений технологического прогресса является совершенствование процессов механической обработки, которая по-прежнему является основным способом получения высокоточных поверхностей деталей машин.

Эффективность обработки во многом определяется состоянием режущего инструмента. Быстрое изнашивание режущей кромки снижает точность формообразования и приводит к росту себестоимости продукции. Поэтому повышение стойкости инструмента и стабильности процесса резания остается актуальной задачей для современной металлообработки.

Одним из перспективных направлений является ротационная обработка, при которой режущий инструмент или его элементы совершают дополнительное вращательное движение. Такое движение обеспечивает равномерное распределение износа, уменьшение тепловых нагрузок и улучшение точности и качества обработанной поверхности.

Особый интерес представляют инструменты с самовращающейся режущей кромкой, в которых вращение пластины осуществляется за счет сил трения и резания без внешнего привода. Это решение обеспечивает постоянное обновление режущего участка, снижает неравномерность износа и повышает точность обработки.

Несмотря на очевидные преимущества, применение самовращающихся инструментов в промышленности остаётся ограниченным, что связано с недостаточной изученностью закономерностей процесса резания. Для широкого внедрения таких инструментов необходимы теоретические и экспериментальные исследования, направленные на определение факторов, обеспечивающих стабильность и высокую точность ротационной обработки.

Проблематика исследования имеет высокую практическую значимость и соответствует приоритетным направлениям Комплексного плана по развитию машиностроительной отрасли Республики Казахстан на 2024-2028 годы, Государственной программы индустриально-инновационного развития (ГПИИР-3) на 2025-2029 годы и стратегическим целям «Казахстан-2050», предусматривающим развитие высокотехнологичных производств и внедрение отечественных инновационных решений.

Таким образом, исследование точности ротационной обработки инструментом с самовращающейся режущей кромкой является актуальной научной задачей, направленной на повышение эффективности, качества и устойчивости технологических процессов механической обработки.

**Объект исследования** – процесс ротационной обработки с применением инструмента с самовращающейся режущей кромкой.

**Предмет исследования** – закономерности влияния конструктивных и технологических параметров самовращающегося инструмента на точность формообразования и качество обработанной поверхности

**Цель работы** – изучение влияния самовращающейся режущей кромки на точность ротационной обработки, а также разработка рекомендаций по оптимизации конструктивных параметров и режимов резания для обеспечения высокой точности и качества поверхностей.

**Задачи работы:**

- выполнить анализ существующих методов токарной и ротационной обработки и установить закономерности их влияния на точность формообразования и качество поверхностей деталей;

- разработать конструкцию нового безвершинного ротационного токарного резца с самовращающейся режущей кромкой и стружколомом и обосновать рациональный выбор основных геометрических параметров;

- разработать методику оценки точности ротационной обработки при использовании самовращающихся инструментов, учитывающую геометрические, кинематические, силовые и тепловые факторы процесса резания;

- выполнить компьютерное моделирование процесса ротационного резания методом конечно-элементного анализа (CAE) для определения полей напряжений и деформаций, а также оценки влияния конструктивных и технологических параметров на точность обработки и стабильность самовращения;

- провести экспериментальные исследования влияния параметров резания и конструктивных особенностей разработанного инструмента на точность формообразования, качество поверхностного слоя и стойкость инструмента;

- оценить технико-экономическую эффективность применения разработанного ротационного резца по сравнению с традиционным токарным инструментом при обработке типовых деталей;

- разработать практические рекомендации по выбору конструктивных параметров и режимов резания самовращающихся ротационных резцов при точной обработке поверхностей деталей машин.

**Научная новизна:**

- впервые разработана методика оценки точности ротационной обработки с учётом самовращения режущей кромки, основанная на моделировании кинематических, силовых и тепловых характеристик, что позволяет прогнозировать шероховатость, точность формообразования и стабильность процесса в зависимости от параметров инструмента и режимов

резания;

- впервые выполнено моделирование износа методом Монте-Карло и трёхмерное CAE-моделирование ротационного резания, показавшее, что применение ротационной схемы с подшипниковым узлом снижает максимальные напряжения  $\sigma_{\max}$  в 9–12 раз;

- проведены экспериментальные исследования влияния подачи, угла  $\lambda$  и скорости резания, установлено, что при  $s = 0,1–0,2$  мм/об и  $\lambda = 45^\circ$  обеспечивается шероховатость в пределах  $Ra\ 1,25...1,6$  мкм, точность IT6–IT8 и увеличение стойкости инструмента в 8–12 раз по сравнению с традиционными токарными резцами

- разработаны рекомендации по выбору режимов ротационной обработки, позволяющие снизить погрешности формообразования до 40 % и обеспечить более равномерный износ режущей кромки без применения активного охлаждения.

Предложены и реализованы конструктивные решения нового ротационного токарного резца без вершины с самовращающейся режущей пластиной и интегрированным стружколомом, обеспечивающие стабильное вращение пластины и равномерный износ режущей кромки. Новизна технических решений исследований подтверждается патентом на изобретение защищена патентом РК №36087 от 10.02.2023.

#### **Достоверность научных результатов:**

- фундаментальные положения теории резания и технологии машиностроения, механики деформируемого твёрдого тела, теории упругости и пластичности, а также на современные представления о работе системы «станок–инструмент–заготовка»;

- использование метода конечных элементов в CAE-системах для численного компьютерного моделирования процесса резания и количественной оценки параметров точности обработки;

- проведение многофакторных экспериментов с контролируемыми режимами резания и состоянием системы «станок–инструмент–заготовка», что подтверждает воспроизводимость и надёжность полученных данных;

- сопоставление экспериментальных результатов с разработанными теоретическими моделями и расчётами, показавшим их удовлетворительное согласование в пределах погрешности измерений;

- верификация полученных данных путём сравнения с результатами ранее опубликованных исследований в данной области.

**Практическая ценность и реализация результатов работы** в возможности внедрения полученных результатов в производство, что позволит повысить точность деталей, улучшить качество обработанной поверхности, снизить затраты на инструмент за счёт увеличения ресурса работы режущего инструмента в 2 раза и улучшить эффективность технологического процесса.

**Результаты исследования внедрены** в учебный процесс Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, НАО «Торайгыров университет», а также используются Ассоциацией «ОЮЛ

машиностроителей Павлодарской области».

**Основные положения, выносимые на защиту:**

- конструктивные решения ротационного безвершинного резца со стружколомом, позволяющие устранить концентрацию нагрузки на вершине, стабилизировать движение режущей кромки и обеспечить равномерный термоизнос;

- результаты моделирования методом конечных элементов (CAE), подтверждающие уменьшение напряжений по режущей кромке и численное прогнозирование распределения износа, анализ влияния технологических параметров на оценку устойчивости самовращения при различных режимах резания;

- результаты экспериментальных исследований влияния режимов резания и конструктивных параметров инструмента на точность и шероховатость обрабатываемой поверхности.

**Апробация работы.** Основные положения диссертации представлены в статье «Analysis of Rotary Cutter Structure», журнал «Russian Engineering Research» №42 (Suppl 1), S.70-73 (2022), входящего в базу данных Scopus (Mechanical Engineering, процентиль 34), в трех статьях, рекомендованных КОКСОНВО МНВО РК, одном патенте на изобретение, одной коллективной монографии, 2 пособиях, в 1 тезисе на конференции, входящей в базу Scopus (процентиль 16), в 7 тезисах на отечественных и зарубежных научно-практических конференциях.

**Диссертационная работа выполнена в рамках:**

- грантового финансирования фундаментальных и прикладных научных исследований молодых учёных по научному и (или) научно-техническому проекту на 2021–2023 годы AP09058231 «Исследование и проектирование ресурсо-энергосберегающих металлорежущих инструментов»;

- грантового финансирования по научному и (или) научно-техническому проекту на 2023–2025 годы AP19678887 «Исследование триботехнических характеристик ресурсо-энергосберегающих металлорежущих инструментов»;

- программно-целевого финансирования по научным и (или) научно-техническим программам на 2024–2026 годы ИРН BR24993003 «Разработка комплекса мероприятий инструментального обеспечения обрабатывающих отраслей экономики РК».

Диссертация в полном объёме доложена и одобрена на научно-техническом совете факультета Инженерии НАО «Торайгыров университет».

**Публикации.** Основные полученные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на различных международных конференциях и опубликованы в 18-ми научных работах:

- 3 статьи в изданиях, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Министерства науки и высшего образования РК:

1) Т.Л. Луб, Ж.К. Мусина, И.А. Шумейко, С.И. Деревягин, А.А. Ткачук Математическое моделирование процесса износа при ротационной обработке

инструментом с самовращающейся кромкой / Наука и техника Казахстана, №1, 2025. - С.128-142;

2) Т.Л. Луб, А.Ж. Касенов, Ж.К. Мусина, А.С. Янюшкин, Л.Р. Мусина Обоснование геометрических параметров режущей пластины ротационного безвершинного поворотного токарного резца // Наука и техника Казахстана, №2, 2024. - С. 106-111

3) T.L. Lub, Zh. Kassenov, Zh. K. Mussina, A. S. Yanushkin, R. B. Kussainov The effect of the design of a rotary peakless turning tool with chipbreaker on the surface roughness / Science and Technology of Kazakhstan, No. 1, 2024. – PP. 39-49.

- 2 статьи в международных рецензируемых журналах, имеющих ненулевой импакт-фактор и индексируемых в базе данных Scopus (перцентиль не менее 16):

1) T.L. Lub, A. Zh. Kassenov, Zh. K. Mussina, A. S. Yanyushkin, K. K. Abishev Peakless Rotary Cutter Design for Finish Turning // Conference paper, Lecture Notes in Mechanical Engineering (LNME) №42, Journal's ISSN: printed: 1068-798X, electronic: 1934-8088, Russian Federation, 2023. – PP. 915-924; Scopus percentile: 38.

2) T.L. Lub, A. Zh. Kassenov, Zh. K. Mussina, G. T. Itybaeva, A. S. Yanyushkin Analysis of Rotary Cutter Structure// Conference paper, Lecture Notes in Mechanical Engineering (LNME), Journal ISSN: printed: 2195-4356, Electronic: 2195-4364, Germany, 2022. – PP. 70-73, Scopus percentile: 16

- отечественные и международные научно-практические конференции:

1) Т.Л. Луб, С.В. Грубый Геометрические параметры и составляющие силы для пластины режущей круглой формы // Всероссийская научно-техническая конференция «Студенческая научная весна : Машиностроительные технологии» : материалы конференции 4 – 8 апреля, 2022. - С.1- 2, Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана. – М.: ООО «КванторФорм», 2022. URL: <https://studvesna.ru?go=articles&id=3330>

2) А.С. Янюшкин, Т.Л. Луб А.Ж. Касенов Инновационные технологии в машиностроении : сборник трудов XIII Международной научно-практической конференции // Юргинский технологический институт. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2022. – 140 с. ISBN 978-5-4387-1074-5. - С.17- 19. URL: <https://earchive.tpu.ru/handle/11683/72725>

3) Т.Л. Луб, А.Ж. Касенов, Д.С. Жолжаксинов Обзор методов мониторинга и прогнозирования износа самовращающихся резцов в условиях интеллектуальной обработки/ Современная наука: Тенденции развития, Международная конференция, Республика Таджикистан, г. Душанбе. Научно-издательский центр «Мир науки», 2025. - С. 17- 22. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=82329037&pff=1>

4) Т.Л. Луб, Д.А. Искакова, А.Ж. Таскарина SWOT-анализ конструкции ротационного безвершинного поворотного резца со стружколомом/ Новые подходы в науке и образовании, Научно-издательский центр «Мир науки», Казахстан, 2024. - С. 10- 19.

URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80319790&pff=1>

- 1 патент РК на изобретение: патент на изобретение № 36087, 10.02.2023г. Ротационный безвершинный поворотный токарный резец со стружколомом // Регистрационный номер заявки: 2021/0494.1. / А. Ж. Касенов, Ж.К. Мусина, Г.Т. Итыбаева, К.К. Абишев, Д.А. Искакова, А.С. Янюшкин

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, 5 разделов и выводов, заключения, списка использованных источников из 192 наименований, изложенных на 198 страницах текста (без учета приложений), содержит 96 рисунков, 35 таблиц и 23 приложения.