

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.281.03,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «ВЛАДИМИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ АЛЕКСАНДРА ГРИГОРЬЕВИЧА И НИКОЛАЯ ГРИГОРЬЕВИЧА  
СТОЛЕТОВЫХ» ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 02.10.2024 г. №6/24.

о присуждении Леквеишвили Марии Анатольевне, гражданке РФ, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Повышение износостойкости концевых фрез путем расчетно-экспериментального обоснования геометрических параметров режущей части инструмента» по специальности 2.5.5. – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки» принята к защите 30.06.2024 г. (протокол заседания № 5/24) диссертационным советом 24.2.281.03, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (ВлГУ), по адресу: 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87, приказ о создании совета от 12 октября 2022 г. № 1166/НК Министерства образования и науки Российской Федерации.

Соискатель Леквеишвили Мария Анатольевна, 1985 года рождения, в 2007 году окончила Московский государственный технический университет «МАМИ» с присуждением квалификации инженер по специальности «Автоматизация технологических процессов и производств (машиностроение)» и работала в должности старшего преподавателя кафедры «Автоматизированные станочные системы и инструменты (АССИ)». В настоящее время является младшим научным сотрудником Научно-образовательного центра внедрения лазерных технологий (НОЦ ВЛТ) ВлГУ.

Диссертация выполнена в НОЦ ВЛТ ВлГУ. Научный руководитель - Давыдов Николай Николаевич, гражданин РФ, доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник НОЦ ВЛТ ВлГУ.

Официальные оппоненты:

Михайлов Станислав Васильевич, гражданин РФ, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Автоматика, микропроцессорная техника и технология машиностроения» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Костромской государственной академии инженерных наук», г. Кострома;

Киселев Игорь Алексеевич, гражданин РФ, доктор технических наук, доцент кафедры «Прикладная механика» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Москва, дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановский государственный энергетический университет



имени В.И. Ленина», г. Иваново, в своем положительном отзыве, подписанном заведующей кафедрой «Технология машиностроения», к.т.н., доцентом Ведерниковой Ириной Игоревной и утвержденном проректором по научной работе д.т.н., профессором Тютиковым В.В., указала, что диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно-обоснованные технические решения и разработки, а ее автор достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5. – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Соискатель опубликовал по теме диссертации 13 научных работ, из них 5 статей в журналах, рекомендованных ВАК, 2 работы, индексируемые в базах SCOPUS и Web of Science, 4 доклада в сборниках трудов научных конференциях различного уровня, включая международные, получено 1 свидетельство о государственной регистрации разработанной соискателем программы для ЭВМ и 1 патент на полезную модель.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Леквеишвили, М. А. Расчет силовых параметров процесса формообразования заготовок концевыми фрезами / М. А. Леквеишвили, А. Б. Люхтер, Н. Н. Давыдов. – Текст: непосредственный // iPolytech Journal. – 2023. – Т. 27. – № 4. – С. 645–654.

2. Леквеишвили, М. А. Методика расчета геометрии режущей части концевой фрезы. Расчет геометрии зуба на цилиндрической части концевой фрезы / М. А. Леквеишвили. – Текст: непосредственный // Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П. А. Соловьева. – 2023. – №2 (65). – С.109-115.

3. Lekveishvili, M. A. Improvement of Analytical Model for Oblique Cutting— Part I: Identification of Mechanical Characteristics of Machined Material / M. Storchak, M. A. Lekveishvili. – Текст: электронный // Metals. – 2023. –Vol. 13. –1750.

На диссертацию и автореферат поступили следующие отзывы:

- официального оппонента д.т.н., профессора Михайлова С.В. с замечаниями: на стр.24, рис.1.2 дано количественное сравнение расчетных значений главной составляющей силы резания  $R_z$  по формулам двенадцати авторов (от Тиме И.А. до Силина С.С., Кушнера В.С. и др.). Расчетные значения сравнивались с экспериментальными данными Зорева Н.Н., полученными с помощью индикаторного динамометра и опубликованными в 1956г. Поскольку сами вычисления в диссертации не представлены, то сложно оценить выводы о точности моделей; в выводах в конце каждой главы нет указаний на значение полученных результатов для достижения цели исследования; в автореферате на стр. 8 уравнение сил резания названо уравнением энергетического баланса. Согласно тексту диссертации это уравнение мощности, приходящейся на единицу скорости резания; разработанная методика назначения передних углов не учитывает прочность концевых фрез. Большие передние углы ослабляют режущую часть инструмента, поэтому величина передних углов ограничивается прочностью лезвия инструмента, которая зависит от большого количества факторов, в том числе от свойств материала фрезы. В основном по этой причине на практике передние углы определяют экспериментальным путем; предложенная модель сил резания не учитывает реальные температуры резания, возникающие при фрезеровании, что может сказаться на точности вычислений; в тексте встречаются опечатки и неудачные формулировки. Например, непонятен термин «рабочий инструмент» (стр.25 диссертации). Спорным является название винтового и торцового зубьев фрезы; в диссертации даются ссылки на источники с буквой А, которые отсутствуют в списке литературы (см., например, стр.32 источники 59А, 152А);



- официального оппонента д.т.н. Киселева И.А. с замечаниями: на рисунке 1.2 в диссертации сравнение расчетных значений главной составляющей силы резания  $P_z$  по рассмотренным моделям с экспериментальными данными приведено только для одного случая (варианта технологического процесса), что может являться частным случаем; графическая зависимость, приведенная на рисунке 2.20, не позволяет наглядно оценить заявленное увеличение на 24% доли давления резания, расходуемого на пластическую деформацию, при увеличении угла наклона главной режущей кромки с 0 до 55°. В рассматриваемом случае предпочтительным было бы построение графика в относительных величинах (по отношению к значению рассматриваемого параметра при угле наклона главной режущей кромки 0°); предлагаемая методика расчета силовых параметров процесса резания концевыми фрезами не учитывает влияние скругления режущей кромки на процесс резания. Разработанные методы расчета ориентированы на применение для острозаточенного инструмента; разработанная модель расчета сил резания не учитывает влияние тепловых процессов в зоне резания и их влияние на механические характеристики обрабатываемого материала в зоне резания; при проведении экспериментальных исследований сил резания при обработке вращающимся инструментом не было измерено и не учитывалось радиальное биение режущих кромок и его влияние на неравномерность регистрируемых пиковых значений сил резания для отдельных зубьев фрезы, что могло повлиять на оценку погрешности разработанной модели по отношению к экспериментальным данным. Вероятно, с учетом влияния указанного фактора точность расчетного прогнозирования сил резания при помощи разработанной модели окажется выше, чем указано в работе;

- ведущей организации ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина» (подписала к.т.н., доцент Ведерникова И.И., утвердил д.т.н., профессор Тютиков В.В.) с замечаниями: в работе не рассматривается влияние смазочно-охлаждающей жидкости на физико-химические процессы при резании; из текста диссертации не ясно, что понимается под пластичными металлическими материалами; предлагаемая методика расчета силовых параметров резания концевыми фрезами не учитывает влияние температурно-скоростного фактора на физико-механические характеристики обрабатываемого материала в процессе обработки; эксперименты по фрезерованию двузубой фрезой с целью определения экспериментальных значений для сопоставления их с расчетными данными проведены только на чистовых режимах; из диссертации не ясно, подходит ли предложенная методика проектирования для концевых фрез с количеством зубьев более двух.

На автореферат поступило 9 отзывов:

- АО «Новые инструментальные решения», г. Рыбинск Ярославской области. Отзыв подписал д.т.н., профессор, генеральный директор Коряжкин А.А. Замечания: из автореферата не ясно, на каком основании выполняется выбор задних углов торцового и винтового зубьев; в представленной работе при выборе геометрических параметров режущего инструмента за целевую функцию принята сила резания. При этом прочность лезвия, изменяющаяся при изменении геометрии, не учитывается как ограничивающий фактор.

- Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьёва, г. Рыбинск Ярославской области. Отзыв подписал д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Мехатронные системы и процессы формообразования имени С.С. Силина» Волков Д.И. Замечания: необходимо пояснить, на каком основании выбирались значения угла наклона винтовой канавки для фрез по обработке стали 45 и титанового сплава ВТ6; в автореферате не



указано, какое значение коэффициента усадки стружки принимается в методике для расчета силовых параметров резания концевыми фрезами.

- МГТУ "СТАНКИН", г. Москва. Отзыв подписал д.т.н., профессор, заведующий кафедры «Инструментальная техника и технологии формообразования» Кузнецов В.А., д.т.н., доцент, профессор кафедры «Инструментальная техника и технологии формообразования» Домнин П.В. Замечания: не приведены данные о повышении производительности труда при использовании проектируемых концевых фрез; не дана оценка возможных преобразований в структуре управления производственным участком фрезерной обработки.

- Южно-Российский государственный политехнический университет имени М.И. Платова, г. Новочеркасск Ростовской области. Отзыв подписали д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Мехатроника и гидропневмоавтоматика» Шошиашвили М.Э. и к.т.н., доцент Круглова Т.Н. Замечания: в основных результатах работы на стр. 18 автореферата указаны процентные расхождения между методикой и экспериментальными значениями. Однако в выводах хотелось бы видеть, на сколько повысилась точность предложенной автором методики; на стр. 13 автореферата приведена аппроксимация зависимости напряжения течения  $\sigma_s$  от величины деформации  $\epsilon$ . По всей видимости, в формуле  $\sigma_s = f(\epsilon)$  ошибка: вместо  $\Delta\epsilon$  должно быть  $\epsilon$ . Также не ясно, зачем линейная зависимость описана предложенной формулой вместо традиционной линейной зависимости  $\sigma_s = \sigma_{s0} + b \cdot \epsilon$ , где  $b = (\sigma_2 - \sigma_1) / \Delta\epsilon$ , и какой смысл тогда в приведенном значении параметра  $b$  играет параметр  $\sigma_1$  в знаменателе.

- Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань. Отзыв подписал д.т.н., профессор кафедры «Прикладная математика и искусственный интеллект» Мосин С.Г. Замечания: разработанная физико-математическая модель не учитывает свойства инструментального материала; как оценивается эффективность других возможных вариантов построения силовой схемы обработки пластичных материалов; непонятно как в модели учитывается косоугольное резание.

- Омский государственный технический университет, г. Омск. Отзыв подписал д.т.н., профессор кафедры «Инженерная геометрия и САПР» Янишевская А.Г. Замечания: учитывается ли в расчетно-экспериментальной методике температурно-скоростной фактор при построении кривых упрочнения, а значит и в самой физико-математической модели; в автореферате не приведена информация о сопоставлении достигнутых результатов алгоритмизации и моделирования процессов в сравнении со сторонними библиотеками и базами данных.

- ЗАО «Специальное конструкторское бюро», г. Пермь. Отзыв подписал к.т.н., технический директор Крохин А.Н. Замечания: в ходе эксперимента при обработке стали 45 спроектированными двузубыми фрезами при засверливании заготовки с осевой подачей инструмента не проведены исследования в зависимости от величины передних углов торцового зуба; в автореферате не указано, какие конструкционные и геометрические параметры режущего инструмента учитываются при расчете по предлагаемой методике.

- ООО «Ядро Фаб Дубна», г. Дубна Московской области. Отзыв подписал к.т.н., инженер по производству Осин А.В. Замечания: не приведены результаты исследования проектируемого режущего инструмента на прочность и упругую деформацию; не приведены результаты экспериментального исследования опытных образцов фрезы при обработке заготовок скругленной в процессе эксплуатации инструмента режущей кромкой.

- УСИУ «СИЛА», НИЦ "Курчатовский институт", г. Москва. Отзыв подписал к.т.н., ведущий инженер-конструктор Болбуков В.П. Замечания: в автореферате не указано, почему сравнительные ускоренные испытания на стойкость модернизированной фрезы проведены на



заготовках из титанового сплава ВТ6, а не на настоящих деталях в производственных условиях; необходимо пояснить, с какой целью использовался метод осадки цилиндрического образца при построении экспериментальных кривых упрочнения.

Все отзывы положительные и содержат вывод о том, что диссертация соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а соискатель заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 - «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их широкой известностью, благодаря научным публикациям по схожей с диссертационной работой тематике, а также научной и практической деятельностью в области, которую затрагивает диссертация.

Наиболее важные замечания, прозвучавшие на защите:

1. Из текста диссертации не ясно, что понимается под пластичными металлическими материалами?

Ответ соискателя:

Известно, что в соответствии с ГОСТ 1497-84 «Металлы» (см. страница 9, пункт 4.9.3) под малопластичными металлами понимаются материалы с относительным удлинением  $\delta \leq 5\%$ .

2. Предлагаемая методика расчета силовых параметров резания концевыми фрезами не учитывает влияние температурно-скоростного фактора на физико-механические характеристики обрабатываемого материала в процессе обработки.

Ответ соискателя:

В диссертации (см. страница 67, таблица 2.2. и страница 72, таблица 2.3.) определено, что при скорости обработки титанового сплава ВТ6 до 150 м/мин температурно-скоростной фактор не влияет на процесс резания, и расчетные и экспериментальные данные удовлетворительно согласуются. При скорости обработки выше 150 м/мин необходимо учитывать влияние температурно-скоростного фактора, что обеспечивает предлагаемая методика расчета силовых параметров резания концевыми фрезами.

3. На рисунке 1.2 в диссертации сравнение расчетных значений главной составляющей силы резания  $P_z$  по рассмотренным моделям с экспериментальными данными приведено только для одного варианта технологического процесса, что может являться частным случаем.

Ответ соискателя:

В обзорной главе 1 диссертации сравнение расчетных значений главной составляющей силы резания  $P_z$  по рассмотренным моделям с экспериментальными данными носит информационный и ознакомительный характер. Из-за отсутствия в опубликованных источниках информации о фактических значениях физико-механических характеристик и добавочных коэффициентов сравнение приведено для доступного варианта технологического процесса.

4. Из диссертации не ясно, подходит ли предложенная методика проектирования для концевых фрез с количеством зубьев более двух?

Ответ соискателя:

В тесте диссертации не оговорено, но согласно выполненным диссертационным исследованиям методика распространяется на концевые фрезы с любым количеством зубьев.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

**разработана** расчетно-экспериментальная методика определения силовых параметров резания концевыми фрезами в зависимости от геометрических параметров режущего клина лезвия;



**созданы** физико-математическая модель, алгоритмы и программа расчета рациональных значений переднего угла для винтового и торцового зуба режущей части для режима косоугольного резания;

**исследованы** взаимозависимости процессов упрочнения и деформации материала при резании стали 45 и титанового сплава ВТ6;

**предложен** дополнительный исходный параметр расчета и определена удельная работа разрушения материала для стали 45 и титанового сплава ВТ6;

**доказано** повышение периода стойкости концевой фрезы на 15 % при обработке уступа и до 36 % при засверливании титанового сплава ВТ6.

Теоретическая и практическая значимость исследования обоснована тем, что:

**обоснованы** методы и средства расчета силовых параметров резания концевыми фрезами из условия минимальной силы резания;

**разработана** методика и алгоритмы расчета силовых параметров режима фрезерования при обработке уступа и засверливания заготовки с осевой подачей, учитывающие деформационное упрочнение и удельную работу образования новых поверхностей обрабатываемого материала;

**определена** погрешность оценки силовых параметров резания концевыми фрезами в результате аналитического сопоставления полученных расчетных значений и экспериментальных данных при исследовании процесса косоугольного резания вращающимся инструментом;

**разработана** методика экспериментального исследования периода стойкости и испытания проектируемых концевых фрез на аттестованном промышленном оборудовании;

**установлены** зависимости технологических составляющих силы резания  $P_x$ ,  $P_y$ ,  $P_z$  от скорости резания, подачи, глубины и ширины резания и от переднего угла винтового зуба при обработке уступа, а также зависимости осевой силы резания  $P_z$  от скорости резания и подачи режущего инструмента при засверливании.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

**разработаны и внедрены** в научно-производственную деятельность промышленного предприятия ООО «Технологические покрытия» (г. Москва) средства методического и программного обеспечения, используемые при расчете геометрических параметров режущей части проектируемых концевых фрез, а также в научно-образовательную и опытно-конструкторскую деятельность научных подразделений и учебных кафедр ВлГУ (г. Владимир);

**создан** программный комплекс «EndMills» (Свидетельство РФ о государственной регистрации программы для ЭВМ №2024614116) для расчета и выбора переднего угла винтового и торцового зубьев проектируемой цельной концевой фрезы;

**спроектирована** износостойкая цельная концевая фреза (Патент РФ на полезную модель №226849), предназначенная для обработки титанового сплава ВТ6.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

**идея базируется** на положениях теории резания и пластического течения материала, характеризующегося деформационным упрочнением;

**использованы** и развиты результаты ранее проведенных исследований в области моделирования и экспериментального исследования процессов механической обработки, проектирования, расчета и определения геометрических параметров режущей части рабочего инструмента, а именно цельных концевых фрез;

**установлено**, что достигнутые результаты не противоречат выводам, полученным другими учеными при исследовании схем и режимов резания пластичных металлов вращающимся инструментом – концевой фрезой;

**использованы** современные методы объектно-ориентированного программирования на языке C#2.0, а также программный комплекс Matlab и средства автоматизированного проектирования КОМПАС-3D и AutoCAD.

Личный вклад соискателя состоит в самостоятельной постановке научных задач, в разработке физико-математических и расчетно-аналитических моделей проектирования режущего рабочего инструмента, в разработке методики расчета силовых параметров резания концевыми фрезами на основе модели косоугольного резания.

Соискателем лично проанализированы полученные в работе результаты исследования и даны рекомендации по их применению. Информационно-патентные исследования объекта и предмета научной работы, а также структурно-функциональная разработка средств технического оснащения и планов проведения экспериментальных исследований выполнены при непосредственном участии соискателя ученой степени.

На заседании 2 октября 2024 г. диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, в которой, на основании выполненных автором исследований, изложены новые научно-обоснованные технические решения и разработки, имеющие важное хозяйственное значение для развития технологии и оборудования механической обработки и принял решение присудить Леквешвили Марии Анатольевне ученую степень кандидата технических наук по специальности 2.5.5. – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 5 докторов наук по специальности 2.5.5. – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки», участвующих в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - 13, против - нет, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель диссертационного  
совета д.т.н., профессор

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



В. В. Морозов

А. В. Жданов