

Ульяновский государственный технический университет

Стенографический отчет

**ЗАСЕДАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 99.2.001.02
от 27.12.21**

Повестка дня

**ЗАЩИТА ДИССЕРТАЦИИ Назаровым Михаилом Вадимовичем
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА
ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК**

**«ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА
НЕЖЕСТКИХ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ ПУТЕМ
АВТОМАТИЗАЦИИ ЭТАПОВ ТПП И ВВЕДЕНИЯ В ЗОНУ
РЕЗАНИЯ ЭНЕРГИИ УЗ-ПОЛЯ»**

Специальность:

**2.5.5. - Технология и оборудование механической и
физико-технической обработки**

Официальные оппоненты:

Гузеев Виктор Иванович – д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Южно-уральский государственный университет» (Национальный исследовательский университет), зав кафедрой «Технология автоматизированного машиностроения»;

Приходько Вячеслав Михайлович – чл.-корр. РАН, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Московский государственный автодорожный университет (МАДИ)», кафедра «Технология конструкционных материалов», профессор

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»), г.Пермь

ЗАСЕДАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 99.2.001.02

27 декабря 2021 г.

На заседании присутствовали 16 членов Совета, из них 10 очно, 6 дистанционно, в том числе 10 докторов наук по специальности 2.5.5

1.	Табаков В.П.	д-р техн. наук, профессор	2.5.5 – технические науки	Очный режим
2.	Веткасов Н.И.	д-р техн. наук, доцент	2.5.5 – технические науки	Очный режим
3.	Булыжев Е.М.	д-р техн. наук, доцент	2.5.6 – технические науки	Очный режим
4.	Денисенко А.Ф.	д-р техн. наук, профессор	2.5.5 – технические науки	Очный режим
5.	Епифанов В.В.	д-р техн. наук, доцент	2.5.5 – технические науки	Очный режим
6.	Киселев Е.С.	д-р техн. наук, профессор	2.5.6 – технические науки	Очный режим
7.	Клячкин В.Н.	д-р техн. наук, профессор	2.5.5 – технические науки	Очный режим
8.	Ковальнов В.Н.	д-р техн. наук, доцент	2.5.5 – технические науки	Очный режим
9.	Носов Н.В.	д-р техн. наук, профессор	2.5.6 – технические науки	Очный режим
10.	Унячин А.Н.	д-р техн. наук, доцент	2.5.5 – технические науки	Очный режим
11.	Бобровский Н.М.	д-р техн. наук, профессор	2.5.6 – технические науки	Дистанционный режим
12.	Драчев О.И.	д-р техн. наук, профессор	2.5.5 – технические науки	Дистанционный режим
13.	Захаров О.В.	д-р техн. наук, доцент	2.5.5 – технические науки	Дистанционный режим
14.	Лобанов Д.В.	д-р техн. наук, доцент	2.5.6 – технические науки	Дистанционный режим
15.	Худобин Л.В.	д-р техн. наук, профессор	2.5.6 – технические науки	Дистанционный режим
16.	Янюшкин А.С.	д-р техн. наук, профессор	2.5.5 – технические науки	Дистанционный режим

Председатель
д.т.н., профессор

Учёный секретарь
д.т.н., доцент



A handwritten signature in blue ink, appearing to read "В.П. Табаков".

В.П. Табаков

Н.И. Веткасов

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Объявляется защита диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук Назаровым Михаилом Вадимовичем по теме «Повышение эффективности производства нежестких корпусных деталей путем автоматизации этапов ТПП и введения в зону резания энергии УЗ-поля». Работа выполнена на кафедре «Иновационные технологии в машиностроении» Ульяновского государственного технического университета.

Научный руководитель, д-р техн. наук, профессор, директор Регионального технологического центра промышленного интернета в машиностроении УлГТУ Киселев Евгений Степанович.

Официальные оппоненты:

Гузеев Виктор Иванович, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Технологии автоматизированного машиностроения» Южно-уральского государственного университета (Национальный исследовательский университет);

Приходько Вячеслав Михайлович, член-корреспондент Российской Академии наук, д-р техн. наук, профессор кафедры «Технологии конструкционных материалов» Московского государственного автодорожного университета (МАДИ).

Письменные согласия на оппонирование данной работы от оппонентов были своевременно получены.

Официальный оппонент Гузеев Виктор Иванович присутствует на заседании дистанционно, Вы его видите на экране. Заявление на его участие в дистанционной форме было также своевременно получено.

Оппонент Приходько Вячеслав Михайлович отсутствует на заседании Совета по уважительной причине. Заявление от него на неучастие по уважительной причине также получено.

Ведущая организация - Пермский национальный исследовательский политехнический университет.

Слово предоставляется ученому секретарю – доктору технических наук Веткасову Н.И. для оглашения документов из личного дела соискателя.

Учёный секретарь – д-р техн. наук, доцент Веткасов Н.И.

Уважаемый председатель, уважаемые члены совета! В личном деле соискателя имеются: заявление о принятии диссертации к защите с визой председателя совета, личный листок по учёту кадров, заверенный по месту работы, нотариально заверенная копия диплома магистра по направлению «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», копия диплома об окончании аспирантуры. Имеется заключение Ульяновского государственного технического университета, принятое на расширенном заседании кафедры «Иновационные технологии в

машиностроении», в котором отмечается личное участие автора, степень обоснованности научных положений, научная ценность, и как итог даётся рекомендация о том, что данная работа может быть представлена к защите по специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки». Имеется удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов – все оценки отлично. Имеется список публикаций, включающий 20 наименований, в том числе 6 статей в рецензируемых научных изданиях, включенных в перечень ВАК. Имеется протокол заседания Совета о приёме диссертации к предварительному рассмотрению, положительное заключение экспертной комиссии диссертационного совета, подписанное д-ром техн. наук, профессором Клячкиным В.Н., д-ром техн. наук, доцентом Уняниным А.Н., д-ром техн. наук, доцентом Булыжевым Е.М. о возможности защиты диссертации в нашем диссертационном совете и её соответствии требованиям ВАК. Изложение материалов в диссертации и автореферате соответствует данной специальности 2.5.5. Имеется отзыв научного руководителя, протокол заседания диссертационного совета о приёме диссертации к защите, список рассылки автореферата, а также сведения о ведущей организации и официальных оппонентах, отзывы ведущей организации и официальных оппонентов. Кроме того, представлены 12 пришедших отзывов на автореферат. Все необходимые документы были своевременно опубликованы на сайте университета и в сети интернет, соответствуют требованиям процедуры заседания рассмотрения диссертации.

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Есть ли вопросы по личному делу соискателя к ученому секретарю совета? Нет. Есть ли вопросы к соискателю по личному делу? Нет. Михаил Вадимович, Вам предоставляется слово для доклада основных положений Вашей диссертации.

Соискатель Назаров М.В.

Добрый день, уважаемые члены диссертационного совета, разрешите начать.

В настоящее время в машиностроении и приборостроении используется большое количество деталей, представляющих собой сложное сочетание нежестких элементов, обработка любого из них вызывает затруднения, а в сочетании с подобными по жесткости элементами, делают технологии их изготовления в соответствии с требованиями чертежа весьма затратными и трудоёмкими.

Одной из основных проблем при механической обработке является упругая деформация стенок в процессе фрезерования, которая приводит к вибрации, отклонению формы и выходу за пределы поля допуска геометрических размеров обрабатываемого элемента. Причиной этому является отсутствие рекомендаций по обработке нежестких заготовок со стороны производителя инструмента.

Инженерам-программистам и технологам доступна лишь информация о максимально возможных режимах фрезерования, которые представлены для идеальной, абсолютно жесткой технологической системы.

Другой, немаловажной проблемой при фрезеровании тонкостенных заготовок является затруднённый отвод тепла из зоны резания, приводящий к формированию технологических остаточных напряжений и фазовым превращениям, которые в свою очередь влияют на эксплуатационные свойства готовых деталей.

Наибольшее влияние на деформацию обрабатываемого тонкостенного элемента оказывает радиальная составляющая силы резания. Уменьшить её величину можно занижением режима обработки, что не допустимо в реалиях современного производства. Возможным решением является высокоскоростная обработка, позволяющая за счёт минимизации сечения срезаемого слоя добиться уменьшения сил резания. Однако высокоскоростная обработка предъявляет высокие требования к технологической системе. Возникает необходимость применения высокоскоростных шпинделей, скоростных приводов, отлично сбалансированного режущего и вспомогательного инструментов. К тому же подходы высокоскоростной обработки, по ряду причин, нежелательно использовать на окончательных переходах.

Применение высокоэффективных составов и техники подачи СОЖ также помогает снизить теплосиловую напряженность процесса фрезерования, но даже при кажущейся доступности и простоте реализации имеется ряд недостатков, таких как дороговизна и сложность замены составов СОЖ при единичном производстве деталей из различных сплавов, а также высокая стоимость оснащения обрабатывающих центров новым, более эффективным оборудованием для подачи СОЖ.

Исходя из этого, перспективным решением для уменьшения теплосиловой напряженности процесса фрезерования, которая зависит от величины силы резания, видится в применении дополнительного управляемого воздействия на инструмент или заготовку механических колебаний ультразвуковой частоты. Ранее возможность реализации фрезерования с УЗК ограничивалась необходимостью создания специальных приспособлений и установок для наложения колебаний. В настоящее время компанией DMG MORI разработана линейка станков ULTRASONIC, в которой в конструкцию шпиндельного узла уже встроено устройство наложения УЗК на режущий инструмент. Подобными по конструктиву являются станки AXILE Machining. Так же выпускаются серийно отдельные ультразвуковые оправки, применение которых допустимо на обрабатывающих центрах, оснащенных шпинделями с конусом ISO40 и ISO50.

В современном машиностроении в условиях применения

высокопроизводительного металлорежущего оборудования и инструмента всё чаще возникают ситуации, когда процесс обработки заготовки является менее продолжительным, нежели процесс его технологической подготовки. Таким образом ключом к снижению себестоимости продукции машиностроения являются сокращение затрат на инженерную работу путём использования систем автоматизированного проектирования и автоматизации ряда процессов, требующих многократного повторения.

Одним из таких процессов является назначение режима обработки для каждого планируемого перехода, при котором инженер-технолог должен подобрать рациональное сочетание элементов режима резания, позволяющее выдержать все параметры качества, заданные чертежом и техническими требованиями, начиная с допуска обрабатываемого элемента и шероховатости поверхности, заканчивая состоянием поверхностного слоя, например, уровнем технологических остаточных напряжений с безусловным обеспечением необходимых эксплуатационных характеристик.

Важно отметить, что потребность применения высокоскоростной обработки или использования энергии УЗ поля необходимо определить уже на стадии технологической подготовки, а не после изготовления тестовой детали, что затрудняется отсутствием рекомендаций по обработке нежестких элементов заготовок, а также отсутствием в современных САМ системах возможности учёта введения в зону обработки ультразвуковых колебаний.

Перспективным направлением в решении комплекса вопросов по обеспечению точности фрезерной обработки нежестких заготовок является разработка методик расчета прогиба нежестких деталей в процессе их изготовления. Разработка адекватных математических моделей и автоматизированный расчет элементов режима фрезерования с учетом введения в зону обработки энергии УЗ поля, обеспечивающих точность нежестких деталей, позволит использовать все потенциальные возможности повышения производительности современных обрабатывающих центров.

Для оценки возможностей интенсификации технологической подготовки необходимо понять, решение каких задач занимает большее время при работе инженеров-технологов (программистов).

Представлен алгоритм разработки управляющих программ для станков с ЧПУ (слайд 5).

Пунктиром выделены действия, требующие многократного повторения в рамках проектирования одной управляющей программы. Из заданных действий на САМ систему ложится лишь задача генерации траекторий, однако этот процесс в полной мере зависит от данных, введенных технологом.

В настоящее время автоматизация этих процессов минимальна. Во всех

системах присутствуют шаблоны, использование которых ускоряет процесс технологической подготовки, однако сам процесс их создания достаточно длительный и трудоёмкий. Другим подходом к автоматизации является использование типовых элементов. Алгоритмы САМ систем способны распознавать такие объекты как отверстие, паз, карман, плоскость, тем самым автоматизируя определение типа обрабатываемого элемента, задание метода врезания режущего инструмента и выбор стратегии обработки. Но самый трудоёмкий процесс – назначение режима резания остаётся ручным и в полной мере выполняется технологом.

Таким образом можно сделать вывод, что значительное сокращение затрат времени на технологическую подготовку достигается автоматизацией комплексной задачи по распознаванию типа обрабатываемого элемента, выбору методов подхода режущего инструмента к обрабатываемой поверхности, выбора стратегии и назначения режима резания, которая не решена в настоящее время.

Сейчас существует несколько способов назначения режима резания:

- поиск по каталогам производителей инструмента;
- использование программных продуктов, предоставляемых производителями режущего инструмента, позволяющих подобрать режим обработки для выбранной фрезы.

К недостаткам этих методов можно отнести отсутствие учёта условий обработки, т.к. производители рекомендуют максимально возможные режимы резания.

На основе анализа литературы определены следующие выводы (слайд 8):

1. Существующие современные САМ системы не способны генерировать траектории с учётом жесткости обрабатываемых элементов.

2. К особенностям изготовления нежестких деталей и обработки нежестких элементов заготовок деталей машин следует отнести: низкую виброустойчивость технологической системы, недостаточно интенсивный отвод тепла из зоны резания, склонность к деформациям, как в процессе обработки, так и при релаксации остаточных напряжений.

3. В промышленности наиболее распространены ручной и механизированный метод назначения режима фрезерования.

4. Выявлены основные методы снижения теплосиловой напряженности в зоне резания, к числу наиболее простых при реализации в современных условиях относится введение в зону резания энергии ультразвукового поля, существенно уменьшающие интенсивность фрикционных процессов.

5. Отмечено отсутствие во всех рассмотренных САМ системах возможностей учёта применения УЗК.

Цель работы заключается в повышении эффективности производства

нежестких корпусных деталей в единичном и мелкосерийном производстве за счёт сокращения затрат на технологическую подготовку и интенсификации процесса механической обработки посредством введения в зону фрезерования энергии ультразвукового поля.

Для достижения поставленной цели были решены задачи, представленные на слайде 9.

Предложен новый метод поиска рационального режима фрезерования на основе заданных ограничений (слайд 10). Основным ограничивающим фактором является жесткость обрабатываемого элемента, характеризуемая величиной упругой деформации, которая сравнивается с допуском на линейный размер этого элемента. Если деформация превышает допустимые чертежом значения, элемент принимается нежестким. Далее осуществляется поиск всех возможных сочетаний элементов режима резания с расчётом для каждого величин ожидаемых упругих деформаций, величины технологических остаточных напряжений, удельного съёма материала. На основе полученных данных подбирается максимально производительное сочетание элементов режима резания, обеспечивающее выполнение всех требований, заданных чертежом.

Для функционирования алгоритма необходимо определить тип обрабатываемого элемента. В данной работе рассматривается три типа конструктивных элементов: карман, остров, стенка. Приведён алгоритм распознавания типа обрабатываемого элемента.

Рассматриваются два вида обрабатываемых нежестких элементов (слайд 11): отдельно стоящие стенки и примыкающие к другим конструктивным элементам. Для определения величины их упругой деформации в процессе фрезерования используются две расчётные схемы.

В процессе фрезерования точка приложения силы P_y перемещается по линии, параллельной оси инструмента, что объясняется наличием винтовой линии фрезы. Для расчёта принимаем действие силы в наиболее неблагоприятной, удалённой от основания точки на верхней кромке стенки.

Отдельно стоящая стенка представляется в виде вертикально стоящей пластины, защемлённой в основании. Фреза обрабатывает стенку за один проход. В направлении движения фрезы для расчётов выбирается точка, в которой фреза снимает полный припуск, в то время, когда практически вся стенка уже обработана. В этой точке наблюдается максимальная упругая деформация. Рассчитать координаты этой точки можно по формуле, приведенной внизу слайда.

Величину же упругой деформации стенки определяем по представленной на слайде 11 формуле.

Во втором случае необходимо представлять стенку в виде пластины закреплённой с трёх сторон (слайд 12). Точкой приложения силы P_y принимаем

точку, максимально удалённую от всех заделок, в данном примере это середина верхнего ребра. Расчётная формула представлена также на слайде 12.

Для проверки работоспособности предложенных математических моделей применяли конечно элементный расчёт, который дал расхождение результатов не более 4 %.

Перед расчётом рационального режима резания осуществляется первичная проверка обрабатываемого тонкостенного элемента на жесткость (слайд 13).

В зависимости от конфигурации выбранный элемент представляется в виде отдельно стоящей пластины или пластины защемленной с 3-х сторон и рассчитывается величина упругой деформации при фрезеровании с максимально допустимыми режимами резания.

Если обратная часть стенки обработана, то полученное значение упругой деформации сравнивается с величиной допуска на линейный размер обрабатываемого элемента. В случае необходимости обработки стенки с двух сторон, величина упругой деформации сравнивается с половиной допуска на линейный размер. Если величина деформации не превышает допустимое значение, элемент принимается жестким. Для его обработки назначается рекомендуемый производителем режим фрезерования.

Если деформация превышает допустимые значения, элемент принимается не жестким. Для его обработки необходимо осуществить поиск рационального режима резания.

Поиск рационального режима резания осуществляется методом перебора: для каждого сочетания элементов режима рассчитываются значения упругой деформации, удельного съёма материала и другие ограничивающие факторы.

Формируется таблица выходных данных. Отсеиваются все наборы, расчётная деформация которых превышает допустимое значение.

Среди оставшихся осуществляется поиск максимально производительного режима резания, позволяющего обработать стенку за один проход.

На данном этапе экспериментальных исследований (слайд 15) оценивали влияние энергии УЗ поля на показатели качества поверхностного слоя.

В ходе экспериментов осуществлялась обработка тонкостенных образцов из разных по теплофизическим характеристикам алюминиевых и титановых сплавов. Заготовка закреплялась в установке между ультразвуковым излучателем и отражателем, зафиксированными на универсальном динамометре. Фрезеровали образцы с наложением УЗК и без.

Определяли влияние формы выходного сигнала ультразвуковой частоты на показатели качества. Применили синусоидальную форму сигнала для первого канала и синусоидальную, треугольную и квадратную формы выходного сигнала второго канала с наличием и без смещения фазы.

В ходе исследования определена наиболее эффективная форма выходного сигнала для второго канала – квадратная со смещением фазы на 90 градусов, обеспечивающая наиболее эффективное снижение теплосиловой напряженности зоны резания, влекущее за собой уменьшение величины технологических остаточных напряжений в поверхностном слое обработанных образцов, а также благоприятное изменение фазового состава (слайд 16).

С введением в зону резания УЗК в алюминиевых образцах наблюдается рост упрочняющей S-фазы, благоприятно влияющей на эксплуатационные свойства деталей. Также положительным эффектом является снижение β -фазы, т.к. размер зёрен данной фазы достигает 50 мкм, что негативно влияет на процессы усталостного трещинообразования и коррозионную стойкость.

Предложены регрессионные зависимости для расчёта составляющих сил резания, а также величины технологических остаточных напряжений в поверхностном слое обработанных образцов. Коэффициенты регрессии сведены в представленную на слайде 17 таблицу.

Анализ номенклатуры деталей, выпускаемых достаточно большим перечнем предприятий машиностроения и приборостроения позволил выявить ряд элементов деталей, процесс изготовления которых со снятием припуска вызывает затруднения.

Примерами таких деталей являются тонкие стенки приборных панелей, корпуса приборов, крышки, выполняющие роль радиатора и профили. Обобщив все нежесткие элементы в анализируемой выборке, на примере АО «Ульяновское конструкторское бюро приборостроения», АО «Ульяновского механического завода», «НПК «ЭЛАРА» имени Г.А. Ильинко» и других заводов, разделили их на две группы: стенки с соотношением толщины к высоте 1:10 и 1:20. Длина таких элементов варьируется от 20 мм до нескольких метров, но большая их часть имеет длину около 50 - 100 мм.

Для экспериментальных исследований выбрали следующие образцы:

- материал – алюминиевый сплав Д16Т;
- длина заготовок – $WL = 50$ мм;
- толщина готовой стенки – 2 и 1 мм;
- допуск на толщину стенки 0,05 мм;
- высота обрабатываемой стенки $L = 20$ мм.

Эксперименты производили на фрезерном обрабатывающем центре DMU 50 ecoline.

Обработка происходила с одной стороны образца за один проход, обратная сторона считается обработанной на предыдущих переходах. После завершения цикла фрезерования измеряли положения обработанной поверхности при помощи контактного датчика Renishaw. Величина упругой деформации стенки

определяется через разницу между её планируемым и фактическим положениями.

На следующем этапе исследований (слайд 19) проверяли работоспособность математической модели расчёта величины упругих деформаций в процессе фрезерования. Обрабатывались образцы различной толщины с соотношением толщины стенки к её высоте от 1:5 до 1:30. Выяснили, что реальное положение обработанной поверхности попадает в диапазон значений, полученных при помощи разработанной модели. Расхождение эксперимента и аналитического расчёта достигает 8% в меньшую сторону, что обеспечивает запас по точности.

На следующем этапе (слайд 20) проверяли автоматически рассчитанные рациональные режимы резания для образцов с соотношением толщины к высоте 1:20.

На стадии расчёта рационального сочетания элементов режима резания определена величина упругой деформации. На эту величину смешена траектория режущего инструмента (РИ) в сторону обрабатываемой поверхности.

Реальное положение обработанной поверхности попадало в диапазон, рассчитанный по математической зависимости. Расхождение результатов не превышало 0,002 мм. Таким образом удалось попасть в допуск 0,05 мм на толщину стенки.

На следующем этапе (слайд 21) проверялась возможность интенсификации процесса окончательной обработки за счёт введения УЗК в зону резания.

Обрабатывали такой же образец, как и в предыдущем эксперименте, в расчётах силы резания использовали предложенные ранее регрессионные зависимости. Методом перебора определили режим резания, расчётное значение упругой деформации при котором оказалось максимально близким к деформации без УЗК.

Предложенное программой значение подачи на зуб позволило уменьшить время обработки образца на 10%. При этом толщина стенки также попала в допуск. Расхождение реального и расчётного значения деформации составило 0,003 мм в меньшую сторону, обеспечивая гарантированное попадание в поле допуска.

В качестве объекта для оценки экономической эффективности выбрана деталь «Уголок» из номенклатуры ООО «Рубикон» (слайд 22). Функциональным элементом детали, к которому предъявлены жесткие требования является вертикально стоящая стенка высотой 9 мм, длиной 32 мм, толщиной 1 мм.

Материал заготовки – алюминиевый сплав Д16Т. Обработка осуществлялась на обрабатывающем центре DMG DMU50.

Технологическая подготовка производства осуществлялась в программном комплексе NX.

Отличие нового технологического процесса от базового заключается в отсутствии необходимости выполнения операции доработки изделия после

контрольных замеров обработанных элементов.

Исходные данные для расчёта представлены в таблице.

За счёт автоматизации назначения режима фрезерования, а также отсутствия необходимости проектирования операции доработки, затраты на ТПП сокращены на 46% (слайд 23).

Ускорение процесса механической обработки за счёт рациональной технологии, а также отсутствия операции доработки позволили сократить затраты времени на механическую обработку на 16%.

Таким образом, снижения затрат на изготовление детали «Уголок» за счёт внедрения результатов исследования достигло 25,8%.

Предполагаемый годовой экономический эффект при фонде времени в 2000 часов составил 1 368 400 рублей.

Заключение в виде общих выводов по работе представлено на слайде 24.

Спасибо за внимание, доклад окончен.

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

У кого есть вопросы к соискателю?

Пожалуйста, д-р техн. наук, профессор Носов Николай Васильевич.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Какой квалитет точности изготавляемой стенки? Толщина указана, а какой квалитет точности?

Соискатель Назаров М.В.

Это же принципиальная схема для расчёта.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

На какой квалитет точности вы ориентировались при расчётах?

Соискатель Назаров М.В.

Ни на какой квалитет не ориентировался. Все расчёты основаны на требованиях, которые приведены на чертежах изготавляемых деталей. Будет Н7 – посчитаем для Н7.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Он же должен быть. Или Вы потом вводите точность?

Соискатель Назаров М.В.

У нас есть допуск на обрабатываемый элемент, и мы просчитываем все варианты исходя из него.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Ну а допуск - это квалитет точности. Ну какой допуск?

Соискатель Назаров М.В.

На чертежах разных деталей указаны разные допуски. В зависимости от того, какой указан допуск и выполняются расчеты.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

В расчёте упругой деформации не учитывается допуск?

Соискатель Назаров М.В.

В данном примере он не участвует в расчётах деформации. Такой расчет осуществляется уже на следующих этапах.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

У Вас на плакате написано «Цилиндрическая жесткость стенки». Что это такое?

Соискатель Назаров М.В.

Это аналог жесткости для призматической балки. Для пластин введен показатель цилиндрической жесткости стенки.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Но вы же цилиндр не обрабатываете.

Соискатель Назаров М.В.

Это не цилиндр. Это понятие из сопромата при изгибе пластин.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Жесткость не измеряется же в миллиметрах.

Соискатель Назаров М.В.

Измеряется в Ньютонах на миллиметр.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Здесь ошибка, на плакате вместо знака умножения стоит звёздочка.

Как рассчитывались силы резания?

Соискатель Назаров М.В.

Звездочка на слайде - это знак умножения. Для расчета сил резания использовали справочные зависимости (по Косиловой). Рассчитывали и подбирали коэффициенты, в зависимости от того, какие результаты получали при реальной обработке.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

В диссертации есть все эти расчёты?

Соискатель Назаров М.В.

Да, в работе приведены схемы расчёта.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Могу сказать, что у Косиловой нет таких скоростей резания, как 300 м/мин при фрезеровании.

Соискатель Назаров М.В.

Да, существует такая особенность, если использовать те зависимости в чистом виде, то получаются слишком маленькие значения силы резания.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Нужно было привести на слайде эти формулы для расчёта.

Соискатель Назаров М.В.

С замечанием согласен.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Фрезерование не простой процесс, поэтому связи между Рz, Ру, Rx будут другие. И какие эти связи? Вы не указали взаимосвязи между силами резания.

Вся Ваша работа строилась на двух сплавах. Я так понимаю? Алюминиевом и титановом. Зачем? Если все исследования дальше будут на алюминиевом сплаве.

Соискатель Назаров М.В.

Если это касается вопроса деформаций образцов из разных сплавов – то это задел под дальнейшие исследования.

Сплавы выбраны из соображений их широкого использования в приборостроении и авиастроении и отличием их по своим механическим и теплофизическими характеристикам. Это учитывалось при выборке материалов тех нежестких деталей, которые мы рассматривали при постановке задач. Исследования технологических остаточных напряжений и фазовых превращений производили на титановых и алюминиевых сплавах, но для расчета деформаций использовали только алюминиевые заготовки ввиду того, что алюминий отличается меньшей прочностью и на образцах из него быстрее обнаруживается деформация.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Скажите пожалуйста, вот режущий инструмент – фреза твердосплавная ХАЛТЕК, она с покрытием или нет?

Соискатель Назаров М.В.

Для алюминиевых сплавов она полированная, для титановых с покрытием. Здесь, в экспериментах с заготовками из алюминиевых сплавов, использовалась фреза полированная и без покрытия.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Что значит полированная? Я не знаю таких полированных фрез с твердым сплавом.

Соискатель Назаров М.В.

Фреза, после того как вышлифовываются её канавки, дополнительно полируется на том же станке.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Следующий вопрос. Скажите, Вы СОЖ применяли? И в том, и в другом случае одинаковую? Почему?

Соискатель Назаров М.В.

Это вызвано тем, что использовался универсальный состав СОЖ, который рекомендован для фрезерной обработки титановых и алюминиевых сплавов. В работе сделали акцент на то, что замена составов СОЖ на реальном оборудовании

достаточно длительный, трудоёмкий и дорогостоящий процесс. Существуют одни составы СОЖ, которые прекрасно работают на титане, другие на алюминии, но стоимость этих составов достаточно высока, поэтому она часто не окупается в многономенклатурном производстве.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Понятно. Теперь такой вопрос. Вы снизили скорость резания в два раза, при обработке титана, по сравнению с алюминием. Почему? Какими рекомендациями вы пользовались?

Соискатель Назаров М.В.

Представленные на слайде режимы резания, которые мы использовали – это рекомендации производителей режущего инструмента по обработке именно этих сплавов.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

А на заводе какие режимы применяются?

Соискатель Назаров М.В.

Эти же.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Точно такие же?

Соискатель Назаров М.В.

Всё зависит от металлорежущего оборудования.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Ну, тогда ещё наводящий вопрос, скажите, почему при обработке титана Вы снизили скорость резания?

Соискатель Назаров М.В.

Почему мы её снизили? Рекомендованные значения скорости резания, 80-100 м/мин – это реальные режимы, которые используются при обработке титановых сплавов.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Ну, а почему? Я спрашиваю Вас как будущего учёного. Почему это необходимо делать на титане? Почему не 300 м/мин?

Соискатель Назаров М.В.

Титан обладает большей твёрдостью, большей прочностью, обладает совершенно другими свойствами обрабатываемости.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Но смотрите, мы берём закалённый материал, фрезеруем на скорости 300 м/мин. Эту скорость мы применяем на стали, а почему на титане мы должны её уменьшать?

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Я перебью Вас Николай Васильевич на секундочку. Михаил Вадимович в

принципе начал говорить правильно, титан обладает специфическими свойствами по обрабатываемости.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Какими свойствами? Плакат 17. Вот остаточные напряжения, скажите пожалуйста, почему снижение остаточных напряжений приводит к увеличению точности?

Соискатель Назаров М.В.

Основная причина - разная обрабатываемость.

Задача снижения остаточных напряжений рассматривалась для того, чтобы уменьшить возможные деформации в процессе релаксации остаточных напряжений после обработки. Чем меньше остаточные напряжения по уровню, тем меньше коробление детали.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

В результате чего происходит релаксация?

Соискатель Назаров М.В.

Естественная релаксация происходит за счёт смещения дислокаций в равновесное положение. Это происходит за какой-то период времени после обработки. В данном случае релаксация ускоряется при использовании ультразвуковых колебаний.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Но на производстве ультразвуковые колебания не используются для снятия остаточных напряжений?

Соискатель Назаров М.В.

Используются для снятия остаточных напряжений после обработки. Данная технология, которую мы предлагаем, позволит использовать ультразвук не только с точки зрения снижения теплосиловой напряженности, но и с точки зрения релаксации за счёт виброрезания, микроударов ещё на стадии обработки.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Так, следующий 18 плакат. Как вы закрепляете инструмент? В патроне? Существует несколько разных методов крепления: тепловой, механический и др. Какой используется у Вас?

Соискатель Назаров М.В.

Используется гидропластовый патрон Sandvik.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Вы измеряли точность позиционирования инструмента?

Соискатель Назаров М.В.

Измеряли биение инструмента, которое не превышало двух микрометров. Нет возможности для более точных измерений.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

А как Вы проверяли эти два микрона?

Соискатель Назаров М.В.

При помощи индикатора Mitutoyo, который у нас имеется, с ценой делений 2 мкм. При вращении фрезы индикатор не выходит за пределы одного деления.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Так, дальше, 22 плакат. Вот скажите, что означает термин «единичное многономенклатурное производство»? Единичное, оно же всегда многономенклатурное, или нет?

Соискатель Назаров М.В.

Зависит от предприятия, размеров и длительности изготовления детали, но чаще всего - да.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Значит нужно было писать «единичное», или только «многономенклатурное».

Дальше ещё. Сплав Д16Т. Какая у него термообработка?

Соискатель Назаров М.В.

Это сплав мы использовали в состоянии поставки. Термообработка в процессе изготовления из него деталей не производилась.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Термообработка совсем не производилась?

Соискатель Назаров М.В.

Использовали уже термообработанный прокат.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Ну Вы знаете какая закалка использовалась для сплава Д16?

Соискатель Назаров М.В.

Честно, не задавался этим вопросом.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Так, дальше идём. 23 последний слайд. Используется термин «стоимость проектирований операций доработки». Что это за операция? И почему доработка в одном случае производилась, а в другом случае нет?

Соискатель Назаров М.В.

Разница заключалась в том, что в нашем, втором варианте технологического процесса, уже на стадии разработки программы была определена величина деформации. И на эту величину смешена траектория движения режущего инструмента таким образом, чтобы компенсировать величину деформации, а следовательно - получить элемент детали с размером, который уже попадает в допуск. Поэтому в нашем варианте дополнительной доработки не требуется. Первый вариант – обработка ведется на основе представлений программиста о

возможных деформациях. Данный вариант предусматривает необходимость доработки. В этом случае назначаются режимы резания, в результате использования которых, инструмент смещается, обычно, до 2 сотых мм. Чтобы попасть в пределы поля допуска на заготовках из алюминиевых сплавов, обрабатывают элемент детали. Затем измеряют выход размера за пределы поля допуска, корректируют программу и обрабатывают ещё раз.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Измеряют и фиксируют выход размера за пределы поля допуска? Такие данные есть у Вас? Сколько деталей вышло за пределы поля допуска?

Соискатель Назаров М.В.

В единичном производстве все выходы размера за пределы поля допуска фиксируются на стадии изготовления первой детали. К тому же, это исправляемый брак.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Всё, спасибо, Владимир Петрович. Я извиняюсь за большое число вопросов. Работа интересная.

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Так, еще вопросы пожалуйста. Д-р техн. наук, доцент Епифанов Вячеслав Викторович.

Д-р техн. наук, доцент Епифанов В.В.

Михаил Вадимович, скажите пожалуйста, у Вас написано в названии: «...путём автоматизации этапов технологической подготовки производства». О каких этапах речь идёт?

Соискатель Назаров М.В.

Этап разработки управляющей программы, а именно автоматизация назначения режима обработки.

Д-р техн. наук, доцент Епифанов В.В.

Так это один этап.

Соискатель Назаров М.В.

Да, формально, это один этап из основных этапов технологической подготовки производства с большим числом подэтапов.

Д-р техн. наук, доцент Епифанов В.В.

А почему написано этапов? Технологическая подготовка производства много этапов же включает.

Соискатель Назаров М.В.

Согласен.

Д-р техн. наук, доцент Епифанов В.В.

Скажите пожалуйста, вот у Вас приведены конструктивные элементы карман, стенка, отдельно стоящая стенка, закрепленная стенка. Вы как-то доказали,

что это все исчерпывающие варианты?

Соискатель Назаров М.В.

Бывают элементы, например, похожие на карман, но имеют три стенки. Такой вариант не рассматривался. Для упрощения работы, если у обрабатываемого элемента отсутствует одна из стенок, то прилегающие к ней стенки, считаются отдельно стоящими. Для них нельзя использовать зависимости для закрепленной стенки, поэтому упрощали для себя задачу и рассчитывали как отдельно стоящие стенки.

Д-р техн. наук, доцент Епифанов В.В.

В реальности может быть не совсем так.

Соискатель Назаров М.В.

Возможно. Таких исследований не провели.

Д-р техн. наук, доцент Епифанов В.В.

Вот 11 плакат. Приведена формула (величина деформации). Где и как дальше она используется?

Соискатель Назаров М.В.

Она используется для расчёта величины упругих деформаций. Это малая часть всех тех расчётов, которые на самом деле проводятся. По ней рассчитывается величина деформации в любой точке стенки.

Д-р техн. наук, доцент Епифанов В.В.

Вот Вы начинаете обрабатывать деталь. В данном случае, Вы считаете по этой зависимости?

Соискатель Назаров М.В.

В процессе проектирования управляющей программы, при обработке нежесткого элемента, мы пересчитываем все возможные сочетания элементов режима резания.

Д-р техн. наук, доцент Епифанов В.В.

Как Вы определяете силу Ру в каждом конкретном случае?

Соискатель Назаров М.В.

Исходя из режима резания у нас есть значения подачи на зуб, глубины резания, ширины срезаемого слоя, скорости резания. По формулам рассчитывается величина Ру, которая подставляется в эту зависимость. Для каждого сочетания элементов режима резания определяется величина упругой деформации. При расчётах бывает необходимость в анализе до 100 000 результатов, из которых в итоге лишние отсеиваются. Современные компьютеры позволяют это сделать в пределах нескольких секунд.

Д-р техн. наук, доцент Епифанов В.В.

Для чего Вы конечно-элементный расчёт использовали вместо реального эксперимента?

Соискатель Назаров М.В.

На той стадии, когда происходила разработка моделей, проще было проверить адекватность моделей ещё одним методом, кроме прямого эксперимента. А это конечно-элементный расчёт в NX CAE (в инженерном анализе). Были созданы такие же образцы, также нагружены и получены деформации. Эти значения были крайне близки с тем, что мы получили по предложенным зависимостям. Потом это проверялось прямым экспериментом. Эксперимент дал несколько большие расхождения, нежели конечно-элементный расчёт.

Д-р техн. наук, доцент Епифанов В.В.

Почему УЗК были выбраны как дополнение к этой автоматизации, а не исследовали вариации с СОЖ или другие. Почему именно УЗК?

Соискатель Назаров М.В.

Эксперименты с СОЖ, как упоминалось ранее, достаточно трудоёмкие и длительные. Даже не столько эксперименты, сколько замена СОЖ в реальном производстве. Если мы обрабатываем на одном и том же станке сначала алюминиевые сплавы, потом титановые сплавы, потом стальные заготовки, мы не можем каждый раз осуществлять замену СОЖ. Поэтому в реальном единичном производстве, не в крупносерийном, используются универсальные составы полусинтетических и синтетических СОЖ.

Д-р техн. наук, доцент Епифанов В.В.

Ну, а УЗК просто использовать на станке с ЧПУ?

Соискатель Назаров М.В.

Сейчас существует возможность приобрести ультразвуковую оправку, которую можно вставить в шпиндель любого обрабатывающего центра и наложить ультразвук на инструмент. Поэтому использование такого метода снижения теплосиловой напряженности нам кажется весьма перспективным. Так в начале производства линейка станков с УЗК у DMG MORI включала всего два станка, в основном для фрезерования зубьев зубчатых колес при производстве часов. Сейчас выпускается достаточно большой парк станков для изготовления даже достаточно крупных деталей, которые используются, главным образом, в авиационной промышленности.

Д-р техн. наук, доцент Епифанов В.В.

Какие параметры качества оценивались в работе?

Соискатель Назаров М.В.

Оценивались такие параметры качества поверхностного слоя как технологические остаточные напряжения и фазовые превращения. С точки зрения точностных параметров качества детали рассматривался только обеспечение требуемого допуска размера. Шероховатость не рассматривалась, так как при

выбранных режимах обработки она всегда соответствовала требованиям чертежа. При расчёте деформации по предложенным зависимостям можно определить даже возможность возникновения резонанса деталей на определенных режимах.

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Пожалуйста задавайте ещё вопросы. Д-р техн. наук, профессор Денисенко Александр Фёдорович.

Д-р техн. наук, профессор Денисенко А.Ф.

14 плакат откройте пожалуйста. Первый вопрос. У Вас Sz - это подача? На плакате шаг 0,001 мм, в автореферате 0,002 мм. Где ошибка?

Соискатель Назаров М.В.

Ошибка в автореферате. Изначально считали, что варьирование по 1 мкм достаточно сильно увеличивает количество рассчитанных решений, но исходя из экспериментов поняли, что разница в длительности расчётов в несколько секунд не является критической. Решили производить более точные расчёты, и благодаря этому стали находить лучшие решения.

Д-р техн. наук, профессор Денисенко А.Ф.

И ещё здесь. Вы в автореферате пишете, что рациональный режим определяли по величине упругой деформации и по величине съёма. Т.е. два критерия, вроде бы использовали, или как?

Соискатель Назаров М.В.

Могут быть любые другие ограничивающие факторы. Если у нас есть зависимости для их расчёта, то мы можем их использовать.

Д-р техн. наук, профессор Денисенко А.Ф.

Нет, но вот здесь написаны два только. По последовательности, Вы одновременно их учитывали или был какой-то порядок выбора?

Соискатель Назаров М.В.

В процессе вычислений сначала рассчитываются все значения. Для каждого определяли деформацию и удельный съём материала. Потом из полученных результатов отсеиваются сначала все наборы, деформация в которых превышает допустимые по чертежу значения допуска.

Д-р техн. наук, профессор Денисенко А.Ф.

А вот почему первой вы отсеиваете деформацию, а не другой критерий?

Соискатель Назаров М.В.

А зачем нам использовать высокопроизводительные режимы резания, которые не обеспечивают попадание размера в поле допуска? Поэтому сначала отбрасывается всё, что не проходит по деформации, а затем, по критерию максимальной производительности, т.е. удельного съёма, уже выбирается наиболее производительный режим резания.

Д-р техн. наук, профессор Денисенко А.Ф.

Т.е. вы не многокритериальную задачу решали, а каждый раз ставили однокритериальную.

Соискатель Назаров М.В.

Да, отсеивание происходит по одному параметру. Если этих параметров будет много, можно будет определить их удельный вес, и тогда будет решаться задача какие критерии использовать первыми.

Д-р техн. наук, профессор Денисенко А.Ф.

И ещё один вопрос связанный с получением регрессионных зависимостей. Плакат 17. Вы можете перечислить, какие факторы использовали и какова матрица планирования? Какими факторами Вы варьировали?

Соискатель Назаров М.В.

Скорость резания, подача на зуб, ширина срезаемого слоя и глубина резания. На слайде ошибка – четвертая переменная отсутствует, ввиду технических проблем оборудования для демонстрации слайдов. При исследованиях варьировали четырьмя переменными.

Д-р техн. наук, профессор Денисенко А.Ф.

Взаимодействие этих факторов Вы в регрессионной модели не использовали?

Соискатель Назаров М.В.

Рассматривали. Изначально зависимость была большая и коэффициенты для совместного влияния различных параметров тоже рассматривались. Их вес был настолько мал, что не вносил значимых изменений в результат.

Д-р техн. наук, профессор Денисенко А.Ф.

В диссертации есть эта большая модель? В автореферате и на плакатах её нет.

Соискатель Назаров М.В.

В диссертацию уже не поместили, на стадии подготовки они были отсеяны.

Д-р техн. наук, профессор Денисенко А.Ф.

Всё равно был смысл показать и продемонстрировать значимость этих коэффициентов. А так вы будто ограничили какую-то часть модели.

Председатель заседания - д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Спасибо.

Члены Совета, находящиеся дистанционно, имеют желание задать вопросы?

Пожалуйста, д-р техн. наук, профессор Худобин Леонид Викторович.

Д-р техн. наук, профессор Худобин Л.В.

Михаил Вадимович, будьте любезны, расскажите пожалуйста, как построен технологический процесс изготовления этой коробчатой детали. Что присутствует в операции, которой Вы занимались, и что будет после?

Соискатель Назаров М.В.

Если мы говорим о той детали, которую рассматривали для оценки экономической эффективности, то она обрабатывалась за один установ из алюминиевого листа Д16Т. Если посмотреть обобщённо, базовый и предложенный техпроцессы по результатам внедрения результатов исследования, то отличия наблюдаются только в режимах резания, которые назначались на каждом переходе. То есть, где-то отличалась глубина резания, где-то ширина срезаемого слоя. Никаких новых инновационных методов обработки не вводилось. Для обработки заготовки данной детали не использовался ультразвук.

Д-р техн. наук, профессор Худобин Л.В.

То есть, если я Вас правильно понял, Вы из цельного куска алюминиевого сплава должны выгрызть всё лишнее и получить деталь в окончательном виде?

Соискатель Назаров М.В.

Да. В единичном производстве, практически всегда, детали изготавливают из проката.

Д-р техн. наук, профессор Худобин Л.В.

Скажите пожалуйста, режущим инструментом является концевая фреза диаметром примерно 10 мм и большой длины? Так?

Соискатель Назаров М.В.

Фреза диаметром 6 мм обрабатывала большую часть поверхностей этой заготовки детали. Её вылет из патрона не превышал 30 мм.

Д-р техн. наук, профессор Худобин Л.В.

Обработка вертикальных стенок заготовки происходит также за один проход фрезы или полосами? Всё-таки инструмент достаточно большой длины.

Соискатель Назаров М.В.

На этапе предварительной обработки тонкой стенки по первому варианту техпроцесса была послойная обработка со съёмом 1.5 мм за один проход. Формировалась стенка с припуском 0.1 мм на сторону. В предложенном варианте была обработка на всю высоту стенки с шагом траектории 1 мм на сторону. Каждый раз периферией фрезы снимали 1 мм, при этом ширина резания была 9 мм.

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Всё-таки ширина срезаемого слоя 9 мм.

Соискатель Назаров М.В.

Да, ширина срезаемого слоя 9 мм, глубина 1 мм.

Д-р техн. наук, профессор Худобин Л.В.

В связи с этим Вы получите не плоские стенки сложной конфигурации ввиду изменения жесткости каждой стенки в зависимости от расстояния между фрезой и заделкой. В этом случае у Вас получатся и днище, и стенки несколько «полосатой» формы. Простите за простейший термин. Вас это не смущает?

Соискатель Назаров М.В.

На окончательных переходах обработка, практически, всех поверхностей происходит за один проход. Это осуществляется как раз для того, чтобы убрать следы от проходов режущего инструмента. А то, что поверхности стенок будут не перпендикулярными, то их отклонение не превышало предела поля допуска. И если у нас нет допуска на отклонение формы, то это не запрещается чертежом и деталь может быть признана годной.

Д-р техн. наук, профессор Худобин Л.В.

Последний вопрос. Скажите пожалуйста, почему в математических моделях Вы используете сосредоточенную нагрузку в зоне резания, в то время как, на самом деле, для такой длинной фрезы и такого её диаметра нагрузка получается распределённой? Как вы аргументируете такое, достаточно смелое допущение?

Соискатель Назаров М.В.

На окончательных переходах обычно остаётся достаточно малый припуск. Поэтому, в рассматриваемый момент времени в контакте, практически всегда, находится только один зуб фрезы. В связи с этим, мы рассматривали такой вариант, когда давление фрезы на заготовку осуществляется в самой неблагоприятной точке, на верхней кромке стенки. То есть, рассматривался самый неблагоприятный случай. При увеличении глубины резания и ширины срезаемого слоя конечно возможно резание сразу двумя режущими кромками. Однако, как показали выполненные нами эксперименты, начало резания вторым зубом у основания стенки практически не влияет на деформацию стенки, когда первая режущая кромка контактирует у её вершины.

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Леонид Викторович, есть ещё вопросы? Нет? Тогда, пожалуйста, д-р техн. наук, профессор Драчев Олег Иванович.

Д-р техн. наук, профессор Драчев О.И.

Проводились ли исследования остаточных деформаций во времени? 30 суток, 60 суток? Как ведет себя остаточная деформация во времени?

Соискатель Назаров М.В.

Такие эксперименты не проводили, ввиду того, что алюминиевые сплавы обладают быстрой скоростью релаксации остаточных напряжений. Если замеряем остаточные напряжения через 2 минуты после обработки, то через 30 минут такого уровня остаточных напряжений уже не наблюдается. Проводились эксперименты и в том случае, когда обработанный образец оставляли в станке после замеров. Через разные промежутки времени замеряли положение обработанных стенок: изменений не происходило. Поэтому в рамках наших экспериментальных исследований не возникало такой величины технологических остаточных напряжений, которые привели бы к короблению обработанного элемента.

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Олег Иванович, нет больше вопросов у вас?

Д-р техн. наук, профессор Драчев О.И.

Я всё понял. Спасибо.

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Пожалуйста, д-р техн. наук, профессор Владимир Николаевич Клячкин.

Д-р техн. наук, профессор Клячкин В.Н.

У меня несколько вопросов по математической стороне Вашей работы.
Слайд 11. Вот представлена формула, Вы её сами получили или из каких-то справочников?

Соискатель Назаров М.В.

На основе зависимостей из книги Вайнберга Д.В. «Расчёт пластин». Там автор рассматривает деформацию пластин под разными нагрузками. Используя зависимости, мы получили эту формулу.

Д-р техн. наук, профессор Клячкин В.Н.

А что там в формуле? Косинус понятно, дальше по строчке движемся, там cosh. А это что такое?

Соискатель Назаров М.В.

Гиперболический косинус и гиперболический синус.

Д-р техн. наук, профессор Клячкин В.Н.

Он же не так обозначается.

Соискатель Назаров М.В.

Соглашусь, это описка. В справочниках имеется обозначение ch и sh.

Д-р техн. наук, профессор Клячкин В.Н.

У него же стандартное обозначение sh и ch. Ваше обозначение какое-то не понятное. Нет такого. У того же Вайнберга, какое обозначение было?

Соискатель Назаров М.В.

У него sh и ch.

Д-р техн. наук, профессор Клячкин В.Н.

Второй вопрос. Слайд 17. Каким программным обеспечением Вы пользовались для получения регрессии?

Соискатель Назаров М.В.

Excel и онлайн сервисы, которые позволяют получить регрессионную зависимость со всеми выкладками.

Д-р техн. наук, профессор Клячкин В.Н.

Достаточно Excel. У меня вопрос не об этом. Понимаете? Вы приводите формулы и коэффициенты, но ничего не говорите о точности моделей. Эти регрессии могут давать ошибку до 50 процентов.

Соискатель Назаров М.В.

В рамках эксперимента погрешность была $\pm 15\%$.

Д-р техн. наук, профессор Клячкин В.Н.

Это погрешность эксперимента, а где сами расчёты? Насколько эта модель адекватна этому процессу. Тут как минимум нужно было коэффициент детерминации привести для каждой модели, чтобы утверждать: можно пользоваться этой моделью или нельзя. Иначе совершенно не понятно. Вот был вопрос, стоило ли учсть парное взаимодействие? И тут же новый вопрос, как изменится детерминация без учёта парных воздействий и с учётом их?

Третий вопрос по заключению. Читаем пункт 2. Вот эта Ваша модель позволила определить вероятность выхода размеров за пределы поля допуска. Я не нашел расчёта этих вероятностей. Они где-нибудь есть?

Соискатель Назаров М.В.

Неправильно использовано слово «вероятность». На стадии проектирования мы можем увидеть, какая величина ожидаемых упругих деформаций и сравнить её с допуском. «Вероятность» здесь употребляется не с точки зрения математической статистики.

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Ещё вопросы пожалуйста. Пока члены совета думают, я короткий вопрос задам. По поводу прилагаемой силы. Это сила Ру, или какая-то другая сила?

Соискатель Назаров М.В.

Это проекция силы резания на ось, перпендикулярную обрабатываемой стенки. При съёме малых припусков разница между Ру и Рв мала. Поэтому мы просто подправили коэффициент в расчёте Ру.

Д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Может тогда всё-таки обозначение сделать не Ру, а какое-то другое?

Соискатель Назаров М.В.

В диссертации отмечено, что используется допущение.

Д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Второй вопрос. Повышение эффективности производства за счёт автоматизации и введения в зону резания ультразвука. Вы можете сказать, в повышении эффективности доля чего больше, автоматизации или УЗК?

Соискатель Назаров М.В.

Заранее нельзя точно сказать. Всё зависит от конструктивной формы и материала изготавливаемой детали. Это может быть деталь, которая на станке будет меньше по времени обрабатываться на каждой поверхности, но она сложная конструктивно. Поэтому, будет большая составляющая вспомогательного времени. Данный факт окажет большое влияние на конечный эффект.

Может быть вариант со сложной деталью с точки зрения проектирования программы, а машинное время её обработки достаточно небольшое. В этом случае, сокращение затрат на технологическую подготовку сыграет наибольшую роль. И

таких примеров может быть приведено множество.

Д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

У Вас критерий повышения эффективности-это время обработки?

Соискатель Назаров М.В.

Да, только время обработки.

Д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Хорошо. Такой вопрос, за счёт чего сокращается время обработки при автоматизации этапов ТПП, и за счёт чего сокращается время обработки при использовании УЗК?

Соискатель Назаров М.В.

За счёт автоматизации мы стараемся избавиться от операции доработки. Так как в единичном производстве происходит достаточно много итераций обработки каждого элемента. По своему опыту могу сказать, что элементы обрабатываются несколько раз, замеряются, корректируется программа. Так как на стадии проектирования программы мы уже знаем возможные деформации и можем их учесть на стадии подготовки, следовательно, у нас не будет операций доработки. Отсюда меньшее штучное время изготовления детали.

С точки зрения введения ультразвуковых колебаний – возможность обработки тех же элементов с большей подачей при сохранении параметров качества. За счёт ускорения перемещения инструмента при увеличении подачи мы получаем сокращение машинного времени.

Д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Они ведь как-то взаимосвязаны, режимы резания и ультразвук.

Соискатель Назаров М.В.

Да, конечно, они взаимосвязаны, если на станке есть устройства наложения УЗК. Автоматизация может работать и на обычном станке с ЧПУ.

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Я хотел сказать, не является ли введение УЗК дополнительной возможностью.

Соискатель Назаров М.В.

Введение УЗК является дополнительным способом сокращения машинного времени.

Д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Ещё вопросы пожалуйста. Нет вопросов? У присутствующих дистанционно есть вопросы? Нет вопросов. Тогда предлагаю заканчивать данную процедуру, если нет вопросов.

Михаил Вадимович, садитесь. Технический перерыв будем делать? Не будем. Продолжаем работу, слово предоставляется руководителю работы д-ру техн.

наук, профессору Киселеву Евгению Степановичу.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

Уважаемые коллеги! Михаил Вадимович работает в Региональном технологическом центре промышленного интернета и, собственно говоря, диссертация выполняется не только на кафедре «Инновационные технологии в машиностроении», но и в Региональном технологическом центре. По сути дела, он у нас начальник производства. В его подчинении находится 6 штатных сотрудников и 4 преподавателя, которые работают вместе с ним. В своё время он закончил с отличием нашу кафедру в 2015 году, затем поступил в очную аспирантуру. В очной аспирантуре, можно было бы и побыстрее окончить диссертацию, но поскольку он всё время работал, процесс несколько затянулся. За время обучения все кандидатские экзамены сдал на отличные оценки. Во времена обучения в аспирантуре и будучи студентом, проявил склонность к научной исследовательской работе. Не подходит шаблонно к тем задачам, которые приходится решать и на производстве. Пытается всегда вникнуть в суть процесса. Мы с ним часто дискутируем по разным вопросам с точки зрения обрабатываемости разных материалов. Проявил себя способным к руководству научно-исследовательскими работами и руководит нашими студентами, которые работают у нас в технологическом центре. Дает консультации и подсказывает хорошие технологические и конструктивные решения аспирантам, которые обучаются на младших курсах. Учитывая большую научную и практическую значимость результатов диссертационного исследования, считаю, что Михаил Вадимович подготовлен к работе в качестве научного руководителя и его работа достойна присуждения учёной степени кандидата технических наук. Надеюсь, что в будущем он будет одним из хороших не только научных руководителей, но и педагогов машиностроительного факультета нашего университета.

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Слово предоставляется учёному секретарю – д-ру техн. наук, доценту **Веткасову Николаю Ивановичу** для оглашения заключения организации где выполнялась работа и отзыв ведущей организации.

Ученый секретарь, д-р техн. наук, доцент Веткасов Н.И.

В диссертационный совет поступило заключение Ульяновского государственного технического университета, подготовленное кафедрой «Инновационные технологии в машиностроении». В заключении отмечается, что в период подготовки диссертации соискатель Назаров Михаил Вадимович работал в ООО «Рубикон» и в Региональном технологическом центре промышленного интернета(РТЦПИМ) УлГТУ в должности инженера II-категории.

В 2015 году он с отличием окончил УлГТУ. Диплом об окончании аспирантуры получил в 2019 году. Научный руководитель – д-р техн. наук,

профессор Киселёв Евгений Степанович. На итоговом обсуждении на кафедре было принято следующее заключение: отмечена актуальность темы исследований. Мотивируется это тем, что изготовление нежестких деталей сопряжено с возникновением в поверхностном слое остаточных напряжений, снижение величины и глубины залегания которых может быть достигнуто введением в зону обработки энергии УЗ поля. Перспективные направления решения комплекса вопросов по обеспечению точности фрезерной обработки также свидетельствуют об актуальности представленной наше рассмотрение диссертации. Отмечается научная и практическая значимость работы, в частности разработан алгоритм и методика расчёта рационального режима фрезерования заготовок нежестких деталей.

Основные результаты представлены в 20 публикациях, в том числе в 6 изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 4-х свидетельствах о регистрации программ ЭВМ и 4-х публикациях в изданиях Scopus. Общее число научных публикаций составляет 24 наименования.

Автореферат отражает основное содержание диссертации. Диссертация написана автором самостоятельно. Отмечается личный вклад соискателя. Диссертация является целостной научно-квалификационной работой посвященной решению актуальных научно-технических задач, соответствует требованиям Положения о присуждении учёных степеней. Поставленные в работе задачи раскрыты достаточно полно и последовательно, выводы и рекомендации обоснованы, новые научные результаты, полученные диссидентом, имеют существенное значение для науки и практики. Работа Назарова М.В. соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени научной специальности 2.5.5. – Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки и может быть рекомендована к защите.

Заключение принято на заседании кафедры «Инновационные технологии в машиностроении», присутствовали на заседании 12 сотрудников кафедры, в т.ч. 5 докторов технических наук. Результаты голосования: за - 12, против - 0, воздержались - 0. Протокол заседания №407 от 20 мая 2021 года подписан заведующим кафедрой д-ром техн. наук, профессором Табаковым В.П. и утвержден проректором по научной работе д-ром техн. наук, доцентом Наместниковым А.М.

В диссертационный совет поступил отзыв ведущей организации «Пермский национальный исследовательский политехнический университет». Отзыв подготовлен д-ром техн. наук, профессором Макаровым Владимиром Фёдоровичем и утверждён на расширенном заседании кафедры «Инновационные технологии машиностроения», протокол № 4 от 11 ноября 2021 года и утверждён проректором по науке и инновациям ПНИПУ д-ром техн. наук Коротаевым Владимиром Николаевичем.

В отзыве отмечается актуальность темы диссертации. Отмечается, что учитывая особенности современного механообрабатывающего производства, в машиностроении нарастает актуальность обработки деталей сложной формы и нежесткой конструкции. Рациональное решение данной проблемы позволяет весьма существенно ускорить технологическую подготовку производства и снизить себестоимость изготовления нежестких деталей. Поэтому тема рассматриваемой работы, связанная с автоматизацией расчёта рациональных режимов резания при проектировании управляющих программ для обработки заготовок нежестких деталей машин, является актуальной для машиностроительных предприятий.

Анализируется структура и содержание диссертации. В частности, отмечается что диссертация состоит из введения, пяти глав, библиографического списка из 104 наименований, содержит 193 страницы и 84 рисунка.

В первой главе представлен анализ научно-технической информации по теме работы. Указаны цель работы и задачи исследований.

Во второй главе представлено теоретическое обоснование и разработка нового метода автоматизированного назначения режима резания при проектировании управляющих программ обработки заготовок нежестких деталей машин (на примере фрезерования).

Третья глава содержит методику экспериментальных исследований автоматизированного выбора режима резания для обработки заготовок из титановых и алюминиевых сплавов.

В четвертой главе приведены результаты экспериментального исследования влияния ультразвукового поля на процесс фрезерования заготовок нежестких деталей.

В пятой главе разработаны технологические рекомендации по проектированию технологических операций изготовления нежестких деталей

Приводится оценка соответствия паспорту специальности. Содержание диссертации соответствует следующим областям исследования, указанным в паспорте специальности 2.5.5: п. 2 «Теоретические основы, моделирование и методы экспериментального исследования процессов механической и физико-технической обработки, включая процессы комбинированной обработки с наложением различных физических и химических воздействий»; п. 3 «Исследование механических и физико-технических процессов в целях определения параметров оборудования, агрегатов, механизмов и других комплектующих, обеспечивающих выполнение заданных технологических операций и повышение производительности, а также - качества, экологичности и экономичности обработки».

Отмечены научный уровень и научная ценность диссертации. Новизна работы заключается в следующем: разработана математическая модель расчёта

упругих деформаций обрабатываемых элементов; разработана методика расчёта рационального режима резания; получены результаты теоретико-экспериментальных исследований процесса формирования технологических остаточных напряжений и фазового состава поверхностного слоя.

Отмечается практическая ценность работы, которая заключается в методике и алгоритме автоматизированного назначения элементов режима резания при фрезеровании заготовок нежестких деталей. Их применение на практике способствует обеспечению минимальной себестоимости технологической подготовки единичного и мелкосерийного производства.

Апробация работы проведена путём опубликования 20 работ с результатами исследований, в том числе 6 изданиях, рекомендованных ВАК, 4 свидетельствах официальной регистрации программ для ЭВМ и 4 публикациях в журналах, индексируемых Scopus и Web of Science.

Замечания:

1. Первая глава содержит большое количество информации описательного характера.

2. При разработке математических моделей расчёта упругих деформаций тонких стенок под действием сил фрезерования соискатель не приводит используемые допущения.

3. Расчёт сил резания основан на эмпирических зависимостях, от чего возникает вопрос правильности выбора коэффициентов.

4. Чтобы объяснить влияние формы УЗ сигнала на процесс обработки, необходимо привести и проанализировать сигнал, поступающий с усилителя на преобразователи.

5. Температура не измерялась и не рассчитывалась, поэтому при объяснении полученных результатов строятся предположения о влиянии на температуру элементов режима резания, полученных другими исследователями.

6. Уменьшение теплосиловой напряженности в зоне обработки нежестких элементов заготовок может быть обеспечено не только за счет введения энергии УЗ колебаний в контактные зоны при фрезеровании, но и за счет рационального применения составов и техники подачи СОЖ. Однако соискатель не уделяет в своей работе должного внимания этому факту.

Заключение. Сделанные выше замечания не снижают важности полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы. На основании изложенного считаем, что диссертационная работа по актуальности, научной новизне, теоретической и практической значимости, уровню и объёму выполненных исследований удовлетворяет пунктам 9-14 положения «О присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства №842 от 24 сентября 2013 г., предъявляемых диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а её автор Назаров Михаил Вадимович заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по

специальности 2.5.5 «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

На автореферат диссертации 12 отзывов, все отзывы положительные. Согласны ли члены совета заслушать обзор отзывов или зачитывать их полностью? Как поступим? Обзор. Возражений нет. Пожалуйста, Николай Иванович, отзвучите информацию о обзору отзывов.

Ученый секретарь, д-р техн. наук, доцент Веткасов Н.И.

Я думаю, что и обзор не нужен. Каждый член совета имеет перечень отзывов на автореферат и все замечания, которые сделаны в том или ином отзыве.

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Как члены совета, у Вас имеются на руках и дистанционно перечни? Наверное, согласимся с Николаем Ивановичем.

Д-р техн. наук, профессор Денисенко А.Ф.

Тем более, что там указаны группы, на которые поделены замечания.

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П

Тогда слово Михаилу Вадимовичу для ответов на замечания ведущей организации, а потом и на автореферат. У меня к членам совета есть такое предложение, я тоже внимательно почитал здесь его ответы, группы здесь обозначены правильно, может быть нет смысла зачитывать все ответы на замечания, тем более они здесь имеются, а ответить здесь только на те, что отнесены к 4 группе. Причем, на те из них, на которые соискатель решил ответить (у членов совета имеются ответы соискателя на все замечания). Поэтому, когда я читаю ответ, где он пишет, что с замечанием согласен, а потом на полстраницы идут пояснения. Согласен – значит согласен.

Давайте так, отвечаете на замечания ведущей организации, а затем по отзывам на замечания 4 группы, на которые Вы решили ответить.

Соискатель Назаров М.В.

Замечания в отзывах на автореферат разделены на 4 группы: 1 – замечания, для ответа на которые вся исчерпывающая информация представлена в диссертационной работе; 2 – с пожеланиями согласен; 3 – критические замечания, с которыми согласен; 4 – на которые хотел бы ответить.

Сначала отвечу на замечания ведущей организации.

Первое замечание - глава 1 содержит большое количество информации описательного характера.

С замечанием согласен.

Второе замечание - при разработке математических моделей расчёта упругих деформаций тонких стенок под действием сил фрезерования соискатель не

приводит используемые допущения.

Отчасти согласен, так в диссертации представлена информация по допущениям по силе Ру и вертикальной составляющей силы резания. Однако не объяснено, почему мы используем в расчетах контакт в одной точке.

Третье замечание - расчёт сил резания основан на эмпирических зависимостях, от чего возникает вопрос правильности выбора коэффициентов.

Для расчёта сил резания мы действительно использовали эмпирические зависимости из известных справочников, но их адекватность проверялась с использованием динамометра экспериментально.

Четвертое замечание- чтобы объяснить влияние формы УЗ сигнала на процесс обработки, необходимо привести и проанализировать сигнал, поступающий с усилителя на преобразователи.

С этим замечанием согласен.

Пятое замечание- температура не измерялась и не рассчитывалась, поэтому при объяснении полученных результатов строятся предположения о влиянии на температуру элементов режима резания, полученных другими исследователями.

С замечанием согласен.

Шестое замечание - уменьшение теплосиловой напряженности в зоне обработки нежестких элементов заготовок может быть обеспечено не только за счет введения энергии УЗ колебаний в контактные зоны при фрезеровании, но и за счет рационального применения составов и техники подачи СОЖ. Однако соискатель не уделяет в своей работе должного внимания этому факту.

Вопросами рационального использования СОЖ не занимались ввиду того, что исчерпывающие ответы на них, как нам кажется, уже получены и опубликованы в работах сотрудников научных школ Клушина Моисея Исаковича и Худобина Леонида Викторовича.

Ответы на замечания ведущей организации завершены.

Замечания на автореферат.

Второе замечание заслуженного деятеля науки и техники РФ, д-ра техн. наук, профессора, профессора Брянского государственного технического университета Суслова А.Г.: отсутствует информация о возможностях снижения сил резания за счет рационального применения смазочно-охлаждающих жидкостей.

Ответы на данные вопросы, как упоминалось выше, опубликованы в работах сотрудников научных школ Клушина М.И. и Худобина Л.В.

Четвертое замечание д-ра техн. наук, профессора кафедры «Технология машиностроения» Воронежского государственного технического университета Кириллова О.Н.: неясно, какой научный вклад в работу вносит расчёт экономической эффективности, которой посвящена целая глава в работе (глава 5). Приведенный в ней материал имеет уровень рядовой инженерной разработки.

Наша специальность охватывает одну из прикладных отраслей науки. Учитывая, что любые научные исследования в области механической обработки должны иметь практическую ценность и приводить к увеличению эффективности производства, прежде всего за счёт повышения производительности и качества

изготавливаемой продукции, наиболее убедительным методом доказательства этого, на наш взгляд, является расчёт экономического эффекта от внедрения результатов диссертационных исследований. Подобные методы доказательства использовались и используются в диссертациях по данной специальности во многих научных школах РФ, в том числе и на нашей кафедре

Пятое замечание Кириллова О.Н.: не раскрыта новизна исследований, описываемая формулами (1)-(5). Фактически это известные зависимости и непонятно в чем их оригинальность.

Базовые зависимости (1), (2), (4) являются общеизвестными, однако формула (3) и (5) предложены автором. Новизна же заключается в новом подходе к их применению для поиска рационального режима резания.

Первое замечание лауреата Ленинской Премии СССР, д-ра техн. наук, профессора ФГБУН ИМАШ им. А.А. Благонравова РАН Базрова Б.М.: в научной новизне не раскрыто влияние введения энергии УЗ- поля на результат обработки.

Вопросом введения ультразвуковых колебаний в область резания занималось большое количество учёных, которые подавали синусоидальную форму сигнала на излучатели, например, А.И. Марковым, В.А. Подураевым, Д. Кумабэ, М.С. Нерубаем и др. Модулированным УЗ сигналом занимались – Киселев Е.С, Унягин А.Н., Ковальников В.Н. и др. сотрудники нашей кафедры и РТЦПИМ. В рассматриваемой работе исследована эффективность введения УЗК в зону формообразования тонкостенных нежестких элементов и нежестких деталей в целом. Она оказалась существенно выше в сравнении с обработкой жестких деталей, так как имеется достаточно большая разница в возможностях отвода тепла из зоны резания. Кроме того, в работе приведены исследования с использованием новых видов модуляции, получаемых при использовании ЭВМ на более простой, а следовательно – дешевой установке. Конечным результатом обработки с УЗК является деталь, соответствующая требованиям чертежа, изготовленная с меньшим машинным временем, нежели при обработке без УЗК.

Замечание д-ра техн. наук, профессора, зав. кафедрой «Технология машиностроения» Донского государственного технического университета Тамаркина М.А.: в автореферате не указано как учитывается жесткость остальных элементов технологической системы.

При обработке тонкостенных элементов на окончательных переходах жесткость составляющих деталей станка, приспособления значительно превышает жесткость режущего и вспомогательного инструмента, в связи с этим в расчётах ими пренебрегли.

Первое замечание д-ра техн. наук, профессора, профессора кафедры «Технология машиностроительных производств» Казанского национального исследовательского технического университета Лунёва А.Н.: из автореферата не ясно, какое влияние на упругую деформацию обрабатываемых элементов оказывает введение в зону резания энергии УЗ- поля.

Введение ультразвуковых колебаний позволяет снизить силы резания при фрезеровании, что приводит к уменьшению упругих деформаций.

Второе замечание Лунёва А.Н.: в автореферате не отражено, для какого этапа

механической обработки (черновой или чистовой) используется алгоритм поиска рационального режима резания. Имеются ли отличия в подбое режимов механической обработки для черновой и чистовой операции. Имеются ли рекомендации по подбору припуска на чистовую операцию.

В автореферате, во второй главе отмечено, что алгоритм поиска рационального режима применяется для окончательных (чистовых) переходов.

Предварительные (черновые) переходы дают больше возможности в выборе режимов фрезерования для обработки тонких стенок. Возможна послойная обработка, при которой облегчается возможность формирования равномерного припуска под окончательную обработку. Так же доступна обработка периферией фрезы на всю высоту стенки, обеспечивающая равномерный износ инструмента. Окончательная обработка требует режима фрезерования, обеспечивающего формирование стенки за один проход для минимизации количества следов от проходов режущего инструмента.

Рекомендацией по подбору припуска на чистовую операцию является результат поиска рационального режима фрезерования, который содержит информацию о глубине резания, равной тому припуску, который нужно оставить после предварительных проходов.

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Всё? Садитесь пожалуйста. Начинаем обсуждение диссертации, слово для отзыва предоставляется официальному оппоненту д-ру техн. наук, профессору **Гузееву Виктору Ивановичу**

Уважаемые члены совета, я прошу разрешения не зачитывать полностью отзыв, а остановиться на отдельных моментах.

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Да, Виктор Иванович, по отдельным разделам отзыва просто коротко пройтись, а потом как вы сказали, остановиться на более существенных моментах.

Официальный оппонент – д-р техн. наук, профессор Гузеев В.И.

Хорошо. Спасибо.

Первое, на чём я хочу остановиться, это конечно на актуальности этой темы. Всем понятно, что обработка нежестких заготовок — это всегда проблема для технолога. И особенно, когда речь идёт о корпусных деталях имеющих коробчатую форму, и может быть сама заготовка не жесткая, и соответственно мы знаем, что после обработки возможно коробление готовой детали. Это связано опять же с остаточными напряжениями, которые возникают при механическом воздействии на заготовку, и поэтому я хочу отметить, что эта работа относится к разряду весьма актуальных и, наверное, ещё долго останется актуальной. Поэтому я хочу похвалить автора за то, что он взялся за такую работу. Проблема ещё заключается в том, что сегодня в мелкосерийном производстве время на технологическую подготовку такое сжатое, а если обратиться к существующим автоматизированным системам технологической подготовки и подготовки управляющих программ, то мы же все знаем, что эти системы чисто технологических вопросов не решают.

Особенно, когда речь идёт о таких сложных моментах, связанных с недостаточной жесткостью технологической системы и, в частности, жесткостью обрабатываемой заготовки. Понятно, что все проблемы возникают из-за двух причин: первая – это действительно под действием силы резания происходит деформация заготовки или отдельных её элементов; второе – это влияние остаточных напряжений, в том числе связанных с тепловой нагрузкой в процессе резания.

В связи с этим, разработанные автором математические модели, которые можно использовать при проектировании технологического процесса для прогноза деформаций, которые будут в процессе обработки, и остаточных напряжений, которые останутся после механической обработки, представляют несомненную научную новизну работы.

Практическая ценность заключается в том, что есть реальные алгоритмы, в том числе алгоритмы назначения рациональных режимов резания, опять же при обработке таких сложных деталей коробчатой формы. О режимах резания нужно ещё сказать и то, что если посмотреть справочники по назначению режима резания, то там можно увидеть для фрезерования некие очень грубые оценки: жесткая технологическая система; средней жесткости; маложесткая. Это практически не даёт технологу никаких рекомендаций, приводит к необходимости пробных проходов, пробной обработки и т.д.

Тем не менее в этой работе автор показывает нам возможность назначения режимов уже с учётом прогноза тех деформаций, которые будут при самой механической обработке. А также влияние режимов резания на остаточные напряжения, в том числе автор упоминает и температурные нагрузки, связанные с режимами резания.

В этой связи хочется отметить, что разработанная методика, которая путём применения ультразвуковых колебаний, позволяет значительно уменьшить нарости на инструменте и, соответственно, уменьшить тепловую нагрузку на тонкостенные детали. Особенно это важно при обработке титановых сплавов, кстати говоря, это относится и к расчёту деформаций, и к назначению режимов резания. Потому что мы знакомы с трудностями обработки этих титанов. Тем не менее у автора есть такие рекомендации и это очень здорово.

Работа опубликована в достаточном объёме, все основные положения опубликованы и опробованы на целом ряде научных конференций.

Оформление и структура диссертации вполне соответствует требованиям ВАК. Наверное, как и по любой работе, есть замечания. Я вижу уже, что часть замечаний перекликаются с теми, что были в отзыве ведущей организации и на автореферат.

Первое замечание по поводу отсутствия допущений при разработке математических моделей для расчёта упругих деформаций в процессе обработки.

По второму замечанию был уже ответ о том, что используются степенные зависимости для определения силы резания. Хотя, где автор берет коэффициенты для титановых материалов, не знаю. Пусть ещё раз ответит на это.

Третье замечание - не произведен анализ суммарного ультразвукового сигнала от одновременной работы двух источников.

Четвертое замечание – при исследовании процесса формирования технологических остаточных напряжений и фазового состава поверхностного слоя деталей при механической обработки с ультразвуковыми колебаниями не варьировалась толщина обрабатываемой стенки.

Действительно, понятно, что этот параметр влияет и на деформацию в процессе обработки и, надо полагать, последующее коробление, связанное с остаточными напряжениями.

Пятое замечание – при исследовании упругих деформаций не варьировали скоростью резания.

Шестое замечание по температуре в зоне резания, уже было такое замечание у кого-то. Автор указывает и это, наверное, действительно так, что температура резания влияет на остаточные напряжения и есть взаимосвязь между температурой резания и элементами режимов резания. Этого в работе не прослеживается.

В заключении хочу сказать, что работа Назарова М.В. является научно-квалификационной работой, может быть оценена как совокупность научно-обоснованных технических и технологических решений, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие экономики страны. Отмечаю что работы выполнена на достаточно высоком научно-техническом уровне, результаты опробованы, математические модели подтверждены экспериментами. Эти эксперименты обработаны стандартными средствами обработки экспериментальных данных. Это всё выполнено на хорошем качественном уровне.

Таким образом, по актуальности, техническому уровню, степени обоснованности научных положений, считаю, что эта работа соответствует пунктам 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней» и, соответственно, её автор Назаров Михаил Вадимович заслуживает присуждения учёной степени по специальности 2.5.5 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Спасибо, Виктор Иванович. Михаил Вадимович, пожалуйста, ответьте за замечания оппонента.

Соискатель Назаров М.В.

Хотелось бы поблагодарить Виктора Ивановича за внимательное и доброжелательное изучение моей работы. Замечания будут учтены при разработке рукописей публикаций на основании этой диссертации.

Ответы на замечания.

Основное допущение, принятое в работе – в контакте находится лишь одна режущая кромка инструмента, при этом точка приложения силы находится на верхней кромке обрабатываемой стенки.

В качестве исходных данных приняты нормативные режимы резания, рекомендуемые изготовителями режущего инструмента для обработки титановых и алюминиевых заготовок. Однако, для исключения грубых ошибок на стадии предварительных экспериментов измеряли силы резания в процессе фрезерования при помощи универсального динамометра УДМ-100.

С третьим замечанием я согласен.

Четвертое замечание. По поводу варьирования толщиной стенки. Это не совсем так. Предварительные эксперименты, представленные в главах 3 и 4, затрагивали изменение толщины стенки. В результате было установлено, что уменьшение толщины стенки существенно ухудшает теплоотвод. Это, в свою очередь, приводит к значительным фазовым превращениям и формированию растягивающих ТОН, особенно при фрезеровании очень тонких стенок из титановых сплавов, однако качество обработанных поверхностей (волнистость, шероховатость по $Ra > 12.5$) с введением УЗК было существенно выше, чем без него.

Пятое замечание о варьировании скоростью резания. Часто обрабатываются детали мелкоразмерными фрезами (диаметры от 3 до 10 мм) на обрабатывающих центрах, оснащенных скоростными шпинделями, и возникает проблема достижения рекомендуемых нормативами скоростей резания. Снижение скорости резания приведет к значительному уменьшению минутной подачи режущего инструмента, что в свою очередь приводит к потере производительности. Поэтому предполагалось, что обработка будет осуществляться на максимально возможных скоростях резания для сохранения высоких значений минутной подачи.

Контактная температура в зоне резания действительно не измерялась, а использовались данные, полученные другими исследователями.

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Виктор Иванович, вас устраивают ответы.

Официальный оппонент – д-р техн. наук, профессор Гузеев В.И.

Да, вполне устраивают.

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Спасибо большое, присаживайтесь.

Как я уже говорил, ввиду отсутствия **официального оппонента д-ра техн. наук, члена-корреспондента РАН Приходько Вячеслава Михайловича, его отзыв зачитывает учёный секретарь – Николай Иванович Веткасов.**

Ученый секретарь, д-р техн. наук, доцент Веткасов Н.И.

Уважаемые коллеги, в диссертационный совет поступил отзыв Приходько Вячеслава Михайловича, структура которого включает в себя общую характеристику диссертации, актуальность, научную новизну и научную ценность диссертации, практическую ценность работы, публикации и апробацию работы, оформление материалов диссертации, замечания и заключение.

Диссертационная работа выполнена в ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет» и состоит из введения, пяти глав, общих выводов, библиографического списка (104 наименования) и приложений. Основное содержание работы изложено на 193 с., содержит 84 рис. и 33 таблиц.

С вашего позволения я опущу раздел, посвященный общей характеристике диссертации и отмечу актуальность диссертационного исследования.

В диссертационной работе решается актуальная задача изготовления нежестких деталей из алюминиевых и титановых сплавов, отличающихся от других металлических материалов теплофизическими свойствами, и, соответственно, возникающими деформациями в процессе обработки.

Актуальным является вопрос, связанный с автоматизацией технологической подготовкой производства, решение которого позволит повысить эффективность и качество подготовки производства.

В условиях единичного и мелкосерийного производства достаточно часто возникают ситуации, когда процесс обработки заготовки является менее продолжительным, чем процесс его технологической подготовки. Данная ситуация является, практически, всегда характерной при изготовлении нежестких тонкостенных заготовок из титановых и алюминиевых сплавов, характеризующихся отличными от других металлических конструкционных материалов теплофизическими свойствами. Сокращение затрат на технологическую подготовку производства обеспечивает автоматизация ряда процессов, в том числе процесса назначения режима обработки для каждого планируемого перехода. Однако рекомендации от производителей режущего инструмента по назначению режимов, обеспечивающих требуемые параметры качества нежестких деталей и максимальную производительность обработки, в том числе и с введением в зону формообразования новых поверхностей УЗ колебаний, все шире используемых для уменьшения в контакте режущего инструмента с заготовкой при резании (а, следовательно, и теплофизической напряженности процесса) отсутствуют. Следовательно, тема диссертационной работы, в которой решаются подобные вопросы, является актуальной.

Научная новизна работы соискателя заключается в следующем:

- разработана математическая модель расчёта упругих деформаций обрабатываемых элементов, представленных в виде консольно-закрепленной пластины и стенки, закрепленной с трех сторон, под действием сил резания;

- разработана методика поиска рационального режима резания при учёте обеспечения допустимой деформации обрабатываемого элемента;
- получены новые результаты теоретических и экспериментальных исследований процесса формирования технологических остаточных напряжений и фазового состава поверхностного слоя нежестких деталей при механической обработке с применением УЗ колебаний.

Практическую ценность диссертационной работы представляют методика и алгоритм автоматизированного назначения режима резания при фрезеровании заготовок нежестких деталей машин, обеспечивающие минимум себестоимости технологической подготовки производства в условиях предприятия при заданных ограничениях и технологические рекомендации по использованию результатов исследования при единичном и мелкосерийном производстве нежестких деталей.

Результаты исследований представлены в 20 публикациях, в том числе: в 6-ти изданиях, рекомендованных ВАК РФ; 4-х свидетельствах об официальной регистрации программ для ЭВМ и 4-х публикациях Scopus и Web of Science.

Оформление работы в целом соответствует установленным требованиям. Диссертация написана на достаточно квалифицированном научно-техническом языке, имеет необходимое количество иллюстрационного материала и таблиц, что значительно облегчает восприятие изложенного материала. Автореферат в полном объёме отражает содержание диссертационной работы и позволяет ознакомиться с основными результатами, полученными автором при выполнении данной работы, а также с выводами и рекомендациями.

Основные замечания по работе

1. С нашей точки зрения, в работе отсутствует полный и необходимый для оценки перспектив использования обзор современных возможностей перечисленных САМ-систем.
2. В работе рассмотрены только операции механической обработки со съемом стружки при удалении припусков с тонкостенных элементов заготовки периферией фрезы. Не достаточно уделено внимание операциям обработки торцом твердосплавного режущего инструмента.
3. При расчете составляющих силы фрезерования не учтено влияние современных составов и техники подачи смазочно-охлаждающих технологических средств, оказывающих существенное влияние на теплосиловую напряженность процесса резания. В связи с этим вопрос с выбором исходных данных (коэффициентов) решен не полностью.
4. Исследование процесса формирования ТОН и фазового состава ПС деталей при фрезеровании с применением УЗ колебаний производилось на стационарных

режимах без варьирования амплитуды и частоты колебательных систем. Результаты не сравнивались с обработкой жесткой заготовки.

Заключение

Анализ актуальности, научной новизны и практической значимости результатов выполненных исследований показывает, что рассмотренная диссертация представляет собой завершенную научно-квалификационную работу. Диссертационная работа соответствует п. 9-14 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации.

Диссертация соответствует критериям, установленным Положением о порядке присуждения учёных степеней и званий и требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 - «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки». Её автор, Назаров Михаил Вадимович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук.

Отзыв подписал чл.-корр. РАН, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Технологии конструкционных материалов» МАДИ Приходько Вячеслав Михайлович 7 декабря 2021 года.

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Спасибо. Михаил Вадимович, пожалуйста, ответьте на замечания.

Соискатель Назаров М.В.

С первым замечанием согласен.

По второму. Обработка периферией фрезы вызывает больше затруднений по сравнению с обработкой торцом фрезы. К тому же, на практике редко встречается конструкции деталей, к тонким стенкам которых можно подвести торец фрезы из-за стесненности внутреннего объема кармана. Кроме того, при фрезеровании тонких стенок, как правило, нет возможности подведения дополнительных опор, способных облегчить попадание размера в поле допуска. При необходимости обработки торцом фрезы таких тонких элементов, как дно кармана, возможно проектирование приспособления таким образом, чтобы тонкостенный элемент опирался на дополнительную опору в процессе фрезерования.

По третьему замечанию по поводу применения СОЖ, уже отмечено на замечания в других отзывах.

По четвертому замечанию. Исследование процесса формирования фазового состава проводилось на стационарных режимах ввиду того, что ультразвуковые оправки и станки, которые позволяют накладывать УЗК на инструмент имеют разные характеристики – разные диапазоны частот и возможных амплитуд.

Поэтому, на этой стадии работы, приняли решение провести все исследования только на стационарных режимах.

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Всё, спасибо. Думаю, Вячеслав Михайлович будет удовлетворен такими ответами. Важен был второй вопрос по поводу обработки торцом фрезы, мне кажется соискатель достаточно хорошо, четко ответил. Садитесь, пожалуйста.

У нас осталась предпоследняя стадия обсуждения – выступления. Кто хочет выступить из числа здесь присутствующих и присутствующих дистанционно? Д-р техн. наук, профессор Николай Васильевич Носов.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Я задавал много вопросов, и они связаны, в основном, с тем, что были некоторые непонятные моменты по материалам, изложенным в автореферате, да и при докладе. Мне, конечно, хотелось бы знать степень владения соискателя представленными результатами. Могу сказать, что соискатель на 80% понимает содержание вопросов. У меня есть замечания по работе, безусловно, как и всех оппонентов. Эти замечания как раз связаны с определением сил резания при фрезеровании, это довольно сложный процесс; точек приложения сил фрезерования, так как Вы применили всё-таки винтовой инструмент, и это будет усложнять положение этих точек при фрезеровании. Я бы считал, что лучше рассчитать силы резания используя методики фирмы Sandvik-Coromant. Сейчас мы это применяем везде, и в учебном процессе, потому что эти структурные формулы в справочниках уже себя изжили и было бы интересней для самого диссертанта сравнить их. Желательно было сравнить эти результаты расчета сил резания с теми экспериментальными данными, которые они замеряли динамометром. Хотелось бы, конечно, видеть обобщенную формулу модели деформации всей технологической системы. Она как-то нечётко прозвучала. Соискатель счёл незначительными совместные влияния факторов, однако на основании нашего опыта, мы бы рекомендовали их оценить и продемонстрировать.

Ну а теперь по эффективности применения ультразвука в процессе фрезерования и его влияния на остаточные напряжения. Мы много занимались этим вопросом в нашем университете, но так и не пришли к твердому мнению в результате чего они возникают. Например, обработка алюминиевых сплавов. Явно там очень важен тепловой фактор, а не силовой. А при обработке титана важен силовой фактор, а не тепловой. Это как раз не прозвучало в докладе. Но это всё же вопрос дискуссионный. Ничего здесь не поделать.

Для оценки экономической эффективности я мог бы предложить автору применить немного другую систему. Вы, например, заложили стоимость часа работы станка 3500 рублей. На сколько мне известно, в нашем производстве

стоимость нормо-часа 2500. Если я применю чуть-чуть другой станок, то получу в два раза меньшую стоимость обработки. Поэтому хотелось бы, чтобы эта эффективность была действительно реальной.

Д-р техн. наук, профессор Киселев Е.С.

Она реальная. Здесь 5 осевые станки.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Не нужно применять на этой системе 5 осевые станки. Достаточно применять 3 координатные системы. Я знаю, что такие детали обрабатываются у нас на производстве с помощью 3 координатных фрезерных станков. Поэтому здесь как раз технологический подход. Что наиболее существенно будет влиять на эффективность данного процесса?

Мне очень понравился данный соискатель, он действительно владеет этими методиками эксперимента и расчёта. Очень эрудированный, правильно всё отвечает. Я буду голосовать ЗА присуждение степени.

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Спасибо Николай Васильевич. Кто ещё желает выступить? Пожалуйста, Александр Фёдорович Денисенко, потом Вячеслав Викторович Епифанов.

Д-р техн. наук, профессор Денисенко А.Ф.

Я попросил слово в связи с тем, что по работе совета мне пришлось познакомиться с этой работой подробно на этапе предварительного рассмотрения. Первый раз я её увидел 1.5 года назад. Можно отметить, что, как и любая работа, она имела в то время ряд недостатков, и, что самое приятное, за то время процесс совершенствования работы явно на лицо. Одним из показателей готовности соискателя к научной работе является правильное отношение к тем критическим замечаниям, которые были высказаны в процессе предварительного рассмотрения. Здесь явно видно тенденция улучшения работы.

Что можно сказать по самой работе? Первое, что следует отметить, как я уже сказал, 1.5 года назад, моё видение в отношении того, как должна была быть построена первая глава. Старый вариант сильно отличается от представленного в данной работе. В частности, в начальной стадии работы не были рассмотрены номенклатура нежестких деталей, области применения и т.д. Сегодня мы увидели представителей деталей, которые обрабатываются. Появилась некоторая ясность. Но мне хочется вернуться к тому вопросу, который задавал Николай Васильевич. Какова точность изготовления этих деталей? Потому что из неё вытекает всё следующее, что мы смотрим. Насколько жестко мы должны относиться к тем результатам, которые получил соискатель? Есть ли в этом необходимость? Я смотрю, что в основном изготавливаются детали корпусные, и не думаю, что там необходима какая-то микронная точность. Такую оценку в работе сегодня мы не услышали.

Вопрос вызывает методика, по которой соискатель разделил типы обрабатываемых элементов, так, как это было представлено на 10 слайде. Критерии, положенные в основу этой классификации я не увидел. Если это обработка цилиндрической и торцовой поверхностью – это один вариант, если выделение каких-то стенок, то это немного другое. Отсутствует оценка того, как произведена эта классификация. Кстати, в одном из замечаний на автореферат этот вопрос тоже как-то отмечался.

В качестве пожелания, на будущее: больше внимание необходимо уделить математической стороне результатов обработки заготовок, а также - подготовке регрессионных моделей. Я задавал уже вопрос об этом. Почему Вы отмели часть взаимовлияющих факторов? Это не ошибка, это к пониманию того, как Вы пришли к этому результату? Наверное, это нужно как то показать в своей работе.

В целом необходимо сказать, что соискатель на меня произвел очень приятное впечатление. Чувствуется, что этот человек владеет материалом прекрасно. Не лукавит, когда говорит, что он участвовал во всех этапах, начиная с постановки цели и решения всех задач. Он прекрасно, на мой взгляд, владеет материалом и отвечал на все вопросы достаточно корректно. Поэтому я с удовольствием буду голосовать ЗА.

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Спасибо, Александр Фёдорович. Д-р техн. наук, доцент Епифанов Вячеслав Викторович.

Д-р техн. наук, доцент Епифанов В.В.

Я хотел сказать, что работа действительно актуальна, поскольку объектом исследования являются нежесткие корпусные детали. Заслуживают внимания, конечно, математические модели, адекватность которых проверена как с помощью метода конечных элементов, так и реальным экспериментом. Есть наработки по оптимизации режимов резания.

На мой взгляд, несколько не ясными остались вопросы, даже в названии «путём автоматизации этапов ТПП». Этапов нет, есть один этап. «Автоматизация этапов ТПП» писать, наверное, нехорошо. Путём автоматизации чего? Назначения режима обработки. Но ведь на станках с ЧПУ, по-моему, сейчас режимы резания и программы обработки набираются со стойки станка. А все эти расчёты деформаций, связанных с режимами резания, до того ли, что они должны быть выполнены?

Если уж сказали конструктивные элементы, нужно действительно какую-то классификацию привести, поскольку непонятно, почему диссертант ограничивается именно таким количеством элементов.

Введение в зону резания энергии ультразвукового поля, на мой взгляд, выглядит немного обособленной от центральной линии этой работы. Так две

диссертации могут быть. Поскольку сразу возникает вопрос, почему в качестве дополнительного элемента выделяются ультразвуковые колебания? Почему не исследования по СОЖ? Почему не исследования с покрытиями режущего инструмента? Тем более таких работ тоже много. Почему УЗК то? Эта часть выглядит инженерной, нежели научной, будем так говорить. Здесь не совсем понятно, и поэтому пункт 8 «Выполнен расчёт ожидаемой экономической эффективности от внедрения результатов исследований». О каких результатах идет речь? Об автоматизации или по УЗК? Эти вопросы остались немного не ясными.

Однако, в целом работа, на мой взгляд, состоялась. Сам соискатель хорошо доложил, хорошо отвечал на вопросы, имеет хорошую аprobацию работы в виде представленных публикаций. Думаю, что я буду голосовать ЗА.

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Спасибо. Кто еще хочет выступить? Есть желающие среди дистанционно присутствующих? Пока нет, хочу сам высказать свою точку зрения.

Я тоже смотрел эту работу на разных этапах, много общался с Михаилом Вадимовичем. Хочу начать с того, что, как сказал Евгений Степанович, это наш сотрудник, когда-то был одним из лучших студентов, и действительно, эта рассматриваемая его квалификация сегодня продемонстрирована хорошим владением материалом, сопровождаемая хорошими ответами на все вопросы, которые ему задавались.

Что касается разных моментов работы, по силам резания Николай Васильевич говорил, Леонид Викторович говорил, я думаю, что здесь есть момент, который соискатель не совсем четко изложил. Он сказал, что наличие этой винтовой линии как раз и приводит к тому, что точка единичная. На той ширине фрезерования о которой он говорит, она действительно одна единственная. Там не бывает даже двух, потому что шаг винтовой линии достаточно большой. Но то допущение, которое он привёл, несколько не корректно. Это относится к тому, что силу он приложил к самой вершине стенки. Во время перемещения инструмента она перемещается. Это достаточно сложно учесть, поэтому он взял такой случай, который был бы наиболее существенно влияющим на деформацию заготовки.

Что касается математических зависимостей Косиловой и Sandvik-Coromant. Правильно говорят, что эти зависимости, приведенные в известных справочниках, конечно, вчерашний день, прежде всего, с точки зрения скоростного резания. Но для расчётов того, что сделал соискатель — это вполне приемлемо. Следует иметь в виду, что он их проверил экспериментально. И убедился в том, что этот подход правильный.

Единственное, что хотел сказать по поводу двух частей работы, у меня тоже возникал вопрос об этом. Мы, в своё время, говорили об этом с соискателем.

Ультразвук, действительно рассматривается как один из элементов воздействия на режим резания. Вячеслав Викторович сказал, что вместо ультразвука могут быть износостойкие покрытия на инструмент, СОЖ и др. Тем не менее, он имеет место быть. Единственное, что мне не совсем ясно, какая же доля ультразвуковой обработки вкупе с автоматизацией назначения режима резания вносит в повышение эффективности? Это конечно хотелось бы знать, какой вклад: 20%? 30%? На этот вопрос ответа мы не получили.

И ещё один момент. Леонид Викторович Худобин задавал этот вопрос, как всё-таки происходит обработка этой стенки. Михаил Вадимович сказал, что осуществляется окончательный проход по всей ширине. Но тем не менее, на сколько влияет предварительная обработка на эти деформации и окончательная? Не совсем понятно. Не может ли получиться так, что предварительная обработка не на всю ширину внесёт такие погрешности в деформацию стенки, которые и не выправишь на окончательном проходе. Здесь чёткости нет. Это как раз то, о чём спрашивали и Николай Васильевич и Александр Фёдорович. И что влияет на точность обработки.

Ну а в целом, я считаю, что работа вполне состоялась. Соискатель действительно созрел как хороший исследователь. Важное пожелание научного руководителя о будущей педагогической работе докторанта. Я бы хотел, чтобы оно действительно воплотились в действительность. И с точки зрения дальнейшей научной, и педагогической работы.

Я целиком поддерживаю эту работу и буду голосовать ЗА.

Как я понимаю больше у нас нет желающих, поэтому мы заканчиваем. Заключительное слово предоставляется соискателю.

Соискатель Назаров М.В.

Хочу поблагодарить диссертационный совет за уделённое время и внимание работе, за то, что задали правильные вопросы, которые касаются тонких аспектов работы. Надеюсь, что ответив на ваши замечания, получится довести работу до новой формы и опубликовать её результаты ещё в нескольких статьях, и, скорее всего, в монографии. Спасибо.

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Переходим к голосованию. Порядок учёта голосов при тайном голосовании, когда мы голосуем электронно, предполагает подсчёт голосов, поданных «За» предлагаемое решение совета и подсчёт голосов, поданных «Против».

Как мы с вами предварительно говорили, голосование будет проходить отдельно для членов совета, работающих дистанционно. В протоколе, который появится у вас, вы должны проголосовать «За» или «Против».

Для тех, кто голосует очно. Вот ноутбук – наше место для голосования. Подходим по одному и каждый голосует «Да» или «Нет» за присуждение степени.

Объявляется технический перерыв для голосования.

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Слово предоставляется учёному секретарю для оглашения результатов голосования.

Ученый секретарь, д-р техн. наук, доцент Веткасов Н.И.

Протокол №1 о результатах тайного голосования членов диссертационного совета по диссертации Назарова Михаила Вадимовича на соискание учёной степени кандидата технических наук от 27 декабря 2021 года.

Состав диссертационного совета утвержден в количестве 20 человек на период действия номенклатуры специальностей научных работников, утвержденный приказом Министерством образования и науки РФ от 17 февраля 2015 года № 123. В состав диссертационного совета дополнительно введено 0 человек, присутствовало на заседании 16 членов совета. В обычном режиме 10 человек, в дистанционном – 6 человек. В том числе докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации 10 человек.

Результаты голосования по вопросу о присуждении степени кандидата технических наук Назарову Михаилу Вадимовичу: «За» - 14 человек, «Против» - 1 человек, не голосовал – 1(из-за разрыва у одного члена совета аудиовидеосвязи).

Протокол подписан председателем совета и учёным секретарем совета.

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Результаты голосования Николай Иванович озвучил. Нам нужно их утвердить. У нас 16 человек присутствуют на заседании. Один член диссертационного совета не принимал участия в голосовании из-за разрыва аудиовидеосвязи.

Прошу протокол, содержание которого сейчас зачитал Николай Иванович, утвердить. Кто за, прошу проголосовать. Единогласно.

Таким образом, на основании результатов тайного голосования диссертационный совет при Ульяновском государственном техническом университете признаёт, что диссертация Назарова Михаила Вадимовича представляет собой научно-квалификационную работу, которая содержит решение актуальной задачи повышения эффективности производства нежестких деталей в единичном и мелкосерийном производстве за счёт сокращения затрат на технологическую подготовку производства и интенсификации процессов механической обработки посредством введения в зону обработки энергии ультразвукового поля, соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям (раздел II, п. 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденном Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года), и

присуждает Назарову Михаилу Вадимовичу учёную степень кандидата технических наук по специальности 2.5.5. – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

Поздравляем, Михаил Вадимович!

Соискатель Назаров М.В.

Спасибо.

У всех членов Совета имеется проект заключения по диссертации Назарова Михаила Вадимовича. Есть предложение принять его за основу. Прошу проголосовать. Против и воздержавшихся нет. Принимается.

Обсуждение заключения

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Есть предложение принять проект заключения в целом с учётом высказанных замечаний. Если нет возражений, прошу голосовать. Принимается единогласно.

Заключение диссертационного совета объявляется соискателю

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ОБЪЕДИНЕННОГО ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
99.2.001.02, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «УЛЬЯНОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» И ФЕДЕРАЛЬНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ТОЛЬЯТТИНСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело №_____

Решение диссертационного совета от 27.12.2021 №_____

О присуждении Назарову Михаилу Вадимовичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Повышение эффективности производства нежестких корпусных деталей путем автоматизации этапов ТПП и введения в зону резания энергии УЗ-поля», по специальности 2.5.5 - Технология и оборудование механической и физико-технической обработки, принята к защите 19.10.2021 г., протокол №64, объединенным диссертационным советом 99.2.001.02, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования (ФГБОУ ВО) «Ульяновский государственный технический университет» и ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет»,

Министерства науки и высшего образования РФ, по адресу 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, д. 32, действующим на основе приказа №123/нк от 17.02.2015 г.

Соискатель Назаров Михаил Вадимович, 1992 года рождения. В 2015 году соискатель окончил ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет». В 2019 году соискатель окончил аспирантуру в ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет». Работает инженером II-категории в Региональном технологическом центре промышленного интернета в машиностроении (РТЦПИМ) УлГТУ.

Диссертация выполнена на кафедре "Иновационные технологии в машиностроении" из РТЦПИМ ФГБОУ ВО УлГТУ.

Научный руководитель - Заслуженный работник высшей школы РФ, д-р техн. наук, профессор Киселев Евгений Степанович, директор Регионального технологического центра промышленного интернета в машиностроении, профессор кафедры «Иновационные технологии в машиностроении» УлГТУ

Официальные оппоненты:

Гузеев Виктор Иванович – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Технология автоматизированного машиностроения» ФГБОУ ВО «Южноуральский государственный университет» (Национальный исследовательский университет) (г. Челябинск);

Приходько Вячеслав Михайлович – Член – корреспондент РАН, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Технология конструкционных материалов» ФГБОУ ВО «Московский государственный автодорожный университет (МАДИ)» дали свои положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», в своём положительном заключении, рассмотренном на расширенном заседании кафедры «Иновационные технологии машиностроения» ФГБОУ ВО «ПНИПУ» протокол №4, от 11 ноября 2021 г., подписанном д-р техн. наук, профессором Макаровым Владимиром Фёдоровичем и утвержденном проректором по науке и инновациям д-р техн. наук, профессором Коротаевым Владимиром Николаевичем, указала, что диссертация М.В. Назарова выполнена на достаточно высоком научно-теоретическом уровне, методики и средства выполненных исследований соответствуют решаемым задачам. Тема, цель, задачи и содержание диссертации соответствуют п. 2 и п. 3 заявленной специальности 2.5.5. - Технология и оборудование механической и физико-технической обработки. Диссертационная работа Назарова М.В. «Повышение эффективности производства нежестких корпусных деталей путем автоматизации этапов ТПП и введения в зону резания энергии УЗ-поля» по актуальности, научной новизне, теоретической и практической значимости,

уровню и объему выполненных исследований удовлетворяет требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г., предъявляемым к докторским диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор Назаров Михаил Вадимович заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 - Технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

Соискатель имеет 24 опубликованные работы, в том числе по теме докторской диссертации опубликовано 20 работ, из них 6 статей в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 4 статьи в изданиях, индексируемых Scopus и Web of Science и 4 свидетельства об официальной регистрации программ для ЭВМ. Работы посвящены теоретическим и экспериментальным исследованиям упругих деформаций тонкостенных обрабатываемых элементов, оценке влияния составляющих элементов режима резания на формирование технологических остаточных напряжений (ТОН) и структурно-фазовые превращения в поверхностном слое (ПС) обработанных деталей, автоматизации ТПП (назначения режима фрезерования) и др. Авторский вклад составляет 3,78 п.л., в общем объеме научных изданий 5,81 п.л.

Научные работы соискателя отражают результаты проведенного исследования и раскрывают основные положения, выносимые на защиту. В докторской диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем учёной степени работах. Научные труды представлены статьями в рецензируемых изданиях из перечня ВАК, из базы цитирования Scopus и Web of Science, материалах научных конференций и свидетельствами о регистрации программ ЭВМ. Наиболее значимые научные работы соискателя из числа опубликованных в рецензируемых научных изданиях:

1. Киселев Е.С. Повышение качества твердосплавных инструментов и деталей путем создания заданного уровня остаточных напряжений в поверхностном слое/ Е.С. Киселёв, М.В. Назаров// Вектор науки Тольяттинского государственного университета, 2015, № 2, с.81 - 85
2. Храмов А.В. Особенности импортозамещения металлорежущего инструмента в современных условиях/ А.В. Храмов, Е.Н. Лексин, И.В. Семдякин, М.В. Назаров, Е.С. Киселев// СТИН, 2016, №1, с.21-26
3. Киселёв Е.С. Особенности обеспечения качества нежестких алюминиевых заготовок при фрезеровании с наложением ультразвуковых колебаний / Е.С. Киселёв, Ш.А. Имандинов, М.В. Назаров // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2017. № 12 (207). С. 14-17.
4. Назаров М.В. Автоматизированный выбор технологии изготовления деталей летательных аппаратов/ М.В. Назаров, А.В. Попович, Е.С. Киселёв // Известия

Тульского государственного университета. Технические науки. 2017. № 8-1. С. 147-153.

5. Киселёв Е.С. К вопросам о технологической подготовке и обработке заготовок нежестких деталей машин / Е.С. Киселёв, М.В. Назаров, Н.В. Мезин // Вектор науки ТГУ. 2019. №1 (47). С. 21-29.
6. Назаров М.В. Фрезерование тонкостенных заготовок из алюминиевых сплавов при учете условий жесткости и автоматизации назначения элементов режима обработки на станках с ЧПУ/Назаров М.В., Киселёв Е.С./ Горное оборудование и электромеханика. - 2019. - №6. - С. 42-46.
7. Киселёв Е.С. Наукоёмкая технология повышения эффективности изготовления нежестких деталей из титановых и алюминиевых сплавов / Киселёв Е.С., Назаров М.В. // Наукоемкие технологии в машиностроении. – 2020. №7. – С. 12-19.
8. Kramov A. Improving the performance of metal-cutting tools / A. Kramov, E. Leksin, I. Semdyankin, E. Kiselyov, M. Nazarov//Russian Engineering Research. 2016. T. 36. № 8. pp. 684-689.
9. Nazarov M. Using of machine parts abstract elements in nc-programs developing for the cnc machines / Nazarov M., Kiselev E., Popovich A. // MATEC Web Conf. 2018. №224. pp. 401-404.
10. Nazarov M. Milling of thin walled components from aluminum alloys by considering the conditions of rigidity and automation assignment elements of a cutting mode on CNC machines / Nazarov M., Kiselev E.// MATEC Web of Conferences 297, 01010 (2019)
11. Nazarov M.V. Automatically search of a rational cutting mode for milling non-rigid blanks with the specified quality parameters / Nazarov M., Kiselev E.S., Savelev K.S.// IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 709 044069 (2020)
12. Свид. 2019610381 Российская Федерация. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. Агрегатор параметров операции механической обработки "глубинное фрезерование" в среде Siemens NX / М.В. Назаров, Е.С. Киселёв, А.В. Попович; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО УлГТУ (RU). – №2018664994; заявл. 24.12.18; опубл. 10.01.19, Реестр программ для ЭВМ. – 1 с.
13. Свид. 2019610383 Российская Федерация. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. Фильтр неактуальных параметров операций механической обработки в сам модуле Siemens NX / М.В. Назаров, Е.С. Киселёв, А.В. Попович; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО УлГТУ (RU). – №2018664997; заявл. 24.12.18; опубл. 10.01.19, Реестр программ для ЭВМ. – 1 с.
14. Свид. 2019610384 Российская Федерация. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. Классификатор параметров операции механической обработки в сам модуле Siemens NX / М.В. Назаров, Е.С. Киселёв, А.В. Попович; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО УлГТУ (RU). – №2018664998; заявл. 24.12.18; опубл. 10.01.19, Реестр программ для ЭВМ. – 1 с.

15. Свид. 2020613565 Российская Федерация. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. Расчёт режима резания при учёте условий жесткости и других ограничивающих условий/ К.С. Савельев, М.В. Назаров, Е.С. Киселёв; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО УлГТУ (RU). – №2020612600; заявл. 11.03.2020; опубл. 18.03.20, Реестр программ для ЭВМ. – 1 с.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Отзыв ведущей организации - **ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»**, подписанный д-р техн. наук, профессором Макаровым В.Ф. и утвержденный проректором по науке и инновациям д.т.н., профессором Коротаевым Владимиром Николаевичем. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. Первая глава содержит большое количество информации описательного характера. 2. При разработке математических моделей расчёта упругих деформаций тонких стенок под действием сил фрезерования соискатель не приводит используемые допущения. 3. Расчёт сил резания основан на эмпирических зависимостях, от чего возникает вопрос правильности выбора коэффициентов. 4. Чтобы объяснить влияние формы УЗ сигнала на процесс обработки, необходимо привести и проанализировать сигнал, поступающий с усилителя на преобразователи. 5. Температура не измерялась и не рассчитывалась, поэтому при объяснении полученных результатов строятся предположения о влиянии на температуру элементов режима резания, полученных другими исследователями. 6. Уменьшение теплосиловой напряженности в зоне обработки нежестких элементов заготовок может быть обеспечено не только за счет введения энергии УЗ колебаний в контактные зоны при фрезеровании, но и за счет рационального применения составов и техники подачи СОЖ. Однако соискатель не уделяет в своей работе должного внимания этому факту.

2. Отзыв официального оппонента - **Гузеева Виктора Ивановича**, д-р техн. наук, профессора, зав. кафедрой «Технология автоматизированномашиностроения» ФГБОУ ВО «Южно-уральский государственный университет» (Национальный исследовательский университет). Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. Отсутствуют допущения, используемые при разработке математических моделей расчёта упругих деформаций обрабатываемых стенок под действием сил резания. 2. Для расчета составляющих сил фрезерования использованы не аналитические, а эмпирические зависимости, поэтому возникает вопрос с выбором исходных данных (коэффициентов). 3. Не произведен анализ суммарного УЗ сигнала от двух источников для полноценного объяснения влияния на процесс обработки. 4. При исследовании процесса формирования технологических остаточных напряжений и фазового состава поверхностного слоя деталей при механической обработке с

применением УЗК не варьировали толщиной обрабатываемой стенки.5. Исследования упругих деформаций выполнены без варьирования скорости резания.6. Контактная температура в зоне резания не измерялась. Однако, при объяснении полученных результатов строятся предположения о влиянии на температуру элементов режима резания.

3. Отзыв официального оппонента - **Приходько Вячеслава Михайловича**, Чл.-корреспондента Российской Академии Наук, д-р техн. наук, профессора, профессора кафедры «Технология конструкционных материалов» ФГБОУ ВО «Московский государственный автодорожный университет (МАДИ)». Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. Отсутствует полный и необходимый для оценки перспектив использования обзор современных возможностей перечисленных САМ систем.2. В работе рассмотрены только операции механической обработки со съемом стружки при удалении припусков с тонкостенных элементов заготовки периферией фрезы. Недостаточно уделено внимание операциям обработки торцом твердосплавного режущего инструмента.3. При расчете составляющих силы фрезерования не учтено влияние современных составов и техники подачи смазочно-охлаждающих технологических средств, оказывающих существенное влияние на теплосиловую напряженность процесса резания. В связи с этим вопрос с выбором исходных данных (коэффициентов) решен не полностью.4. Исследование процесса формирования ТОН и фазового состава ПС деталей при фрезеровании с применением УЗ колебаний производилось на стационарных режимах без варьирования амплитуды и частоты. Результаты не сравнивались с обработкой жесткой заготовки.

4. Отзыв на автореферат из **ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»**, г. Брянск, подписанный Заслуженным деятелем науки и техники РФ, д-р техн. наук, профессором, профессором кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» Сусловым Анатолием Григорьевичем. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. Недостаточно или представлена в минимальном объеме информация о предшественниках диссертационной работы как в России (СССР), так и за рубежом. 2. Отсутствует информация о возможностях снижения сил резания за счет рационального применения смазочно-охлаждающих жидкостей.

5. Отзыв на автореферат из **ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»**, г. Воронеж, подписанный д-р техн. наук, профессором, профессором кафедры «Технологии машиностроения» Кирилловым Олегом Николаевичем. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. В автореферате не обнаружено заключение по работе. Это обязательный элемент диссертации. Приведенные общие выводы являются большей частью отчетом о проделанной работе и не отвечают требованиям к заключению. 2. Из п.4 общих

выводов не ясна содержательная часть рекомендаций, как они связаны с целью работы и где применены. 3. Следовало подчеркнуть в выводах значимость предложенный в работе базы данных (глава 2) и осветить её сущность. 4. Не ясно, какой научный вклад в работу вносит расчёт экономической эффективности, которой посвящена целая глава в работе (глава 5). Приведенный в ней материал имеет уровень рядовой инженерной разработки. 5. Не раскрыта новизна исследований, описываемая формулами (1)-(5). Фактически это известные зависимости и непонятно в чем их оригинальность.

6. Отзыв на автореферат из **ФГБОУ ВО МГТУ им. Н.Э. Баумана**, Москва, подписанный д-р техн. наук, профессором кафедры «Инструментальная техника и технологии» Масловым Андреем Руффовичем. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. Много терминологических неточностей. Например «..система инженерного анализа NX CAE...» далее в тексте именуется «...Siemens NX CAE...»; «...уровень ТОН (технологических остаточных напряжений???) вместо «величина остаточных напряжений», которые показаны на рис. 11; «...введение энергии УЗ поля..», а далее «...воздействие механических колебаний УЗ частоты...» и. т.п.2. В описании зависимости (1) n 0 число точек расчётной сетки, а в формуле (4) n – частота вращения, мин-1. Такие неточности затрудняют восприятие автореферата.3. Материалы, посвященные влиянию наложенных УЗ колебаний, неубедительны, о чём свидетельствует п.п. 6 и 8 общих выводов. В целом использование УЗ колебаний выглядит как вошедшее в работу искусственно, не имеющее логической необходимости.4. Данные рис. 11 интересны, но, к сожалению, не раскрыты способы и средства получения этих результатов.

7. Отзыв на автореферат из **ФГБУН ИМАШ им. А.А. Благонравова РАН**, подписанный Лауреатом Ленинской премии СССР, д-р техн. наук, заведующим лабораторией теории модульной технологии профессором Базровым Борисом Мухтарбековичем. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. В научной новизне не раскрыто влияние введения энергии УЗ-поля на результат обработки. 2. Отсутствует информация о базировании заготовки тонкостенных корпусных деталей на станке, оказывающем значительное влияние на качество процесса обработки нежесткой детали. 3. В автореферате не отображена схема включения результатов исследования в САПР.

8. Отзыв на автореферат из **Донского государственного технического университета**, подписанный д-р техн. наук, профессором, профессором и заведующим кафедрой «Технология машиностроения», Тамаркиным Михаилом Аркадьевичем. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. Из автореферата не ясно почему элементы деталей моделируются отдельно стоящей пластиной без учёта их конструкции. 2. В автореферате не указано как учитывается

жесткость остальных элементов технологической системы. 3. В автореферате не обоснованы диапазоны варьирования режимов обработки.

9. Отзыв на автореферат из **ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева**, подписанный д-р техн. наук, профессором кафедры «Технологии машиностроения» Блюменштейном Валерием Юрьевичем. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. На наш взгляд, представление автореферата могло выглядеть более логичным, если бы автор ввел такие важные составляющие, как: объект исследования, предмет исследования, основная научная гипотеза, основная научная идея.

10. Отзыв на автореферат из **ФГБОУ ВО «Ивановский государственный университет»**, подписанный д-р техн. наук, профессором кафедры «Экспериментальная и техническая физика» Годлевским Владимиром Александровичем. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. Формула (1) содержит более десятка измеряемых эмпирических факторов, что должно приводить к большим погрешностям. Не указано, проводились ли для этой зависимости расчёт ошибки косвенного измерения. 2. Указано, что выполняли многофакторное планирование эксперимента с поиском оптимального режима обработки. Итоговое уравнение регрессии по результатам этого эксперимента не представлено, характеристика оптимума не проводится, нет оценки адекватности модели по Фишеру.

11. Отзыв на автореферат из **АО «ФНПЦ «Титан-Баррикады»**, подписанный главным технологом, к.т.н. Ингеманссоном Александром Рональдовичем. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. В автореферате не приведены сведения об анализе статистических данных по отклонению точности размеров, формы и взаимного расположения поверхностей тонкостенных элементов деталей и сборочных единиц, исходя из практики машиностроительных предприятий, а также анализ типовых требований конструкторской документации. 2. В автореферате не приведены режимы УЗ колебаний, вводившихся при механической обработке, с целью определения их рационального диапазона.

12. Отзыв на автореферат из **ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет (КАИ) им. А.Н. Туполева»**, подписанный д-р техн. наук, профессором, профессором кафедры «Технологии машиностроительных производств» Лунёвым Александром Николаевичем. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. Из автореферата не ясно, какое влияние на упругую деформацию обрабатываемых элементов оказывает введение в зону резания энергии УЗ-поля. 2. В автореферате не отражено, для какого этапа механической обработки (черновой или чистовой) используется алгоритм поиска рационального режима резания. Имеются ли отличия в подобие режимов

механической обработки для черновой и чистовой операции. Имеются ли рекомендации по подбору припуска на чистовую операцию.

13. Отзыв на автореферат из **ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева»**, подписанный д-р техн. наук, заведующим кафедрой МС и ПФ профессором Волковым Дмитрием Ивановичем. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. Технологическая подготовка производства заключается не только в назначении режимов резания. Для тонкостенных деталей необходимо проектирование, в том числе, специальной оснастки, особенно, если необходимо подвести ультразвук. В чём будет экономичность разработанной автоматизации при увеличении времени подготовки оснастки. 2. В автореферате не приведены полученные регрессионные модели. Непонятно, какие параметры ультразвукового поля там задействованы.

14. Отзыв на автореферат из **ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»**, подписанный д-р техн. наук, заведующим кафедрой «Технология машиностроения» профессором Братаном Сергеем Михайловичем. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. В общей характеристике работы нет четкого выделения таких основных структурных элементов, как «степень разработанности темы исследования», «теоретическая и практическая значимость работы», «методология и методы исследования» (см. п. 9.2.1 ГОСТ Р 7.0.11-2011), а также «заключение» (п. 9.2.3). 2. В формулах на с. 10-11 знак умножения обозначен в виде звёздочки, а размерность частоты вращения в формуле (4) указана в об/мин, вместо мин⁻¹, что несколько снижает качество оформления полученных автором результатов.

15. Отзыв на автореферат из **ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет»**, подписанный д-р техн. наук, заслуженным работником высшей школы РФ, профессором кафедры «Машиностроительные технологии и материалы» Зайдесом Семеном Азиковичем. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. Из содержания автореферата невозможно оценить идею использования УЗ-поля при фрезеровании тонких стенок, так как не ясно к чему приложен источник, его направление, мощность и т.д. 2. На рис. 11 показано распределение остаточных напряжений по толщине стенки, но не указан способ определения этой зависимости. 3. Автор использует термин «rationальные режимы резания», но не даёт ему пояснения.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что они являются ведущими специалистами в области механической обработки заготовок нежестких деталей, фрезерования тонкостенных заготовок, использования в технологических процессах изготовления деталей в машиностроении энергии ультразвука, имеют научные публикации по данным направлениям в рецензируемых научных изданиях, обладают достаточной

квалификацией, позволяющей оценить новизну представленных на защиту результатов, их научную и практическую значимость, обоснованность и достоверность полученных выводов. В ведущей организации и организациях, в которых осуществляют свою деятельность официальные оппоненты, выполнен значительный объем научных исследований, связанных с изучением процессов, рассматриваемых соискателем в диссертационной работе.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

Разработана методика автоматизированного расчёта рациональных элементов режима резания;

предложена математическая модель расчёта величины упругих деформаций обрабатываемого элемента под действием силы резания, **позволившая определить** величину выхода размеров изготавляемых нежестких деталей за пределы поля допуска с использованием и без использования ультразвуковых колебаний в зоне резания;

доказана перспективность использования ультразвуковых колебаний для повышения производительности операций фрезерования тонкостенных нежестких элементов заготовок из алюминиевых и титановых сплавов;

новые понятия **не вводились**.

Теоретическая значимость исследований заключается в том, что:

доказана возможность сокращения затрат на технологическую подготовку производства нежестких деталей машин за счёт предложенной методики автоматизированного назначения режима фрезерования;

применительно к проблематике диссертации результативно **использован** комплекс существующих базовых экспериментальных методик, многофакторное планирование для получения регрессионных моделей составляющих сил резания и технологических остаточных напряжений в зависимости от элементов режима резания, натурный эксперимент для оценки влияния ультразвуковых колебаний в процессе фрезерования на параметры качества поверхностного слоя и составляющие силы резания;

изложены доказательства влияния ультразвуковых колебаний на повышение производительности обработки нежестких элементов заготовок деталей машин из алюминиевых и титановых сплавов, основанные на результатах исследований влияния УЗК на снижение сил резания и величины технологических остаточных напряжений;

раскрыта взаимосвязь элементов режима резания с величиной технологических остаточных напряжений и фазовыми превращениями в поверхностном слое тонкостенных элементов заготовок деталей машин из алюминиевых и титановых сплавов;

изучены связи и закономерности влияния элементов режима резания на составляющие силы резания;

проведена модернизация известных методик назначения режима резания, позволяющая определить величину возможных упругих деформаций обрабатываемых элементов при окончательном фрезеровании на стадии технологической подготовки производства.

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

Разработана новая методика назначения рационального режима резания, эффективность которой **подтверждена** в производственных условиях ООО «Рубикон» (г. Ульяновск) и Региональном технологическом центре промышленного интернета в машиностроении Ульяновского государственного технического университета; расчётный экономический эффект от **внедрения** результатов исследования в ООО «Рубикон» составил 1 млн 368 400 рублей;

определены перспективы практического использования полученных результатов диссертационного исследования для повышения производительности обработки заготовок тонкостенных нежестких деталей из алюминиевых и титановых сплавов;

представлены и переданы для использования в производственных условиях ООО «Рубикон» технологические рекомендации автоматизации назначения режима фрезерования при обработке тонкостенных элементов заготовок.

Оценка достоверности результатов исследований выявила:

для экспериментальных работ использованы современные измерительные средства, результаты получены на сертифицированном оборудовании, показана воспроизводимость результатов исследований, полученных в лабораторных и производственных условиях;

теоретические исследования (теория) построены на известных проверяемых теоретических и экспериментальных данных и согласуются с опубликованными экспериментальными данными других исследователей по тематике диссертации;

идея диссертационного исследования построена на основе анализа практики обеспечения качества поверхностного слоя деталей, а также на обобщении передового производственного опыта обработки тонкостенных заготовок деталей из алюминиевых и титановых сплавов;

использовано сравнение данных, полученных автором, с результатами полученными ранее другими авторами по тематике диссертации;

установлено совпадение результатов, полученных автором с результатами, представленными в независимых источниках периодической и справочной печати по тематике исследования;

использованы современные методики сбора и обработки исходной

информации, сравнение данных, полученных автором по разработанным моделям, с данными, полученными в ходе прямых экспериментов, других учёных, а также с производственными данными.

Личный вклад соискателя состоит в:

- участии на всех этапах процесса, определении цели, задач, непосредственном выполнении научных исследований, как теоретического, так и экспериментального характера, необходимых для решения поставленных задач и достижения цели диссертационной работы: разработка **математической модели** упругих деформаций обрабатываемых тонких стенок, разработка **методики расчёта** рационального режима резания при учёте условий жесткости, разработка **методики автоматизированного** расчёта рационального режима резания, **экспериментальные исследования** влияния элементов режима фрезерования на составляющие силы резания, технологические остаточные напряжения и фазовый состав поверхностного слоя обработанных деталей;
- личном участии в опытно-промышленной апробации результатов исследования;
- обработке и интерпретации экспериментальных данных;
- подготовке основных публикаций по выполненной работе.

Результаты исследований рекомендуется использовать:

на предприятиях машиностроительной отрасли и прежде всего – авиационной промышленности, занимающихся изготовлением единичных и мелкосерийных нежестких деталей из алюминиевых и титановых сплавов;

на приборостроительных предприятиях, производящих тонкостенные единичные и мелкосерийные корпуса для своих изделий из алюминиевых и титановых сплавов.

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием плана исследований и основной идейной линии, взаимосвязью поставленных задач и полученных результатов, содержит новые научные результаты, свидетельствующие о личном вкладе автора диссертации в науку.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены научные результаты.

Диссертационный совет пришел к выводу, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая содержит решение задачи повышения эффективности производства нежестких деталей в единичном и мелкосерийном производстве за счёт сокращения затрат на технологическую подготовку производства и интенсификации процесса механической обработки посредством введения в зону обработки энергии ультразвукового поля,

позволяющие существенно уменьшить себестоимость изготовления машиностроительной продукции.

Работа соответствует критериям, установленным в разделе II «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденном Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842.

На заседании 27 декабря 2021 г. диссертационный совет принял решение присудить Назарову М.В. учёную 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 16 человек, из них 10 докторов наук по специальности 2.5.5 -Технология и оборудование механической и физико-технической обработки, участвующих в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, дополнительно введенные в разовую защиту 0 человек, проголосовал: за присуждение учёной степени - 14 человек, против – 1. Один из членов совета не участвовал в тайном голосовании из-за разрыва аудиовидеосвязи.

Председатель заседания – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Поздравляем еще раз соискателя с успешной защитой! Защита окончена. Есть ли замечания по процедуре защиты? Нет. Благодарю членов совета и всех участников.

Председатель
диссертационного совета
д-р техн. наук, профессор



Табаков Владимир Петрович

Ученый секретарь
диссертационного совета
д-р техн. наук, доцент

Веткасов Николай Иванович