

ЗАСЕДАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 999.003.02

Повестка дня:

ЗАЩИТА ДИССЕРТАЦИИ КУРЫЛЕВЫМ ДМИТРИЕМ ВАЛЕРЬЕВИЧЕМ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ *КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК*

«Основы многокоординатного формообразования межлопаточных каналов осевых моноколес при предварительном прорезании кольцевым инструментом»

Специальность:

05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки

Официальные оппоненты:

Макаров Владимир Федорович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Инновационные технологии машиностроения» ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

Агапов Сергей Иванович, доктор технических наук, доцент, доцент кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет».

Ведущая организация – ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П.А. Соловьева».

ЗАСЕДАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 999.003.02
от 27 декабря 2016 года

на заседании присутствовали члены Совета:

- | | | | |
|-----|--|----------------------|------------------------------|
| 1. | Табачков В.П., (председатель совета) | д.т.н., профессор | 05.02.07 – технические науки |
| 2. | Веткасов Н.И., (ученый секретарь совета) | д.т.н., доцент | 05.02.07 – технические науки |
| 3. | Булыжев Е.М. | д.т.н., доцент | 05.02.08 – технические науки |
| 4. | Горшков Б.М. | д.т.н., профессор | 05.02.07 – технические науки |
| 5. | Денисенко А.Ф. | д.т.н., профессор | 05.02.07 – технические науки |
| 6. | Дьяконов А.А. | д.т.н., доцент | 05.02.08 – технические науки |
| 7. | Захаров О.В. | д.т.н., доцент | 05.02.07 – технические науки |
| 8. | Кирилин Ю.В. | д.т.н., доцент | 05.02.07 – технические науки |
| 9. | Киселев Е.С. | д.т.н., профессор | 05.02.08 – технические науки |
| 10. | Клячкин В.Н. | д.т.н., профессор | 05.02.07 – технические науки |
| 11. | Ковальногов В.Н. | д.т.н. | 05.02.07 – технические науки |
| 12. | Носов Н.В. | д.т.н., профессор | 05.02.08 – технические науки |
| 13. | Салов П.М. | д.т.н., профессор | 05.02.08 – технические науки |
| 14. | Унянин А.Н. | д.т.н., доцент | 05.02.07 – технические науки |
| 15. | Худобин Л.В. | д.т.н., профессор | 05.02.08 – технические науки |

Председатель Совета,
д.т.н., профессор

В.П. Табаков

Ученый секретарь Совета,
д.т.н., доцент

Н.И. Веткасов



У.В.С.

Председатель заседания, д.т.н., профессор Табаков В.П.:

Уважаемые коллеги !

На повестке дня защита диссертации **Курылевым Дмитрием Валерьевичем** на соискание ученой степени кандидата технических наук по теме: **«Основы многокоординатного формообразования межлопаточных каналов осевых моноколес при предварительном прорезании кольцевым инструментом»**. Специальность 05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

Официальные оппоненты:

Макаров Владимир Федорович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Инновационные технологии машиностроения» ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

Агапов Сергей Иванович, доктор технических наук, доцент, доцент кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет».

Напоминаю Вам, что у нас ведётся видеосъёмка, поэтому выходим только на технических перерывах.

На заседании объединенного диссертационного совета Д 999.003.02 из 20 членов совета присутствуют 15 человек. Необходимый кворум имеем.

Членам совета повестка дня известна. Какие будут суждения по повестке дня? Утвердить? (принято единогласно).

По специальности защищаемой диссертации **05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки** (технические науки) на заседании присутствуют 9 докторов технических наук.

Наше заседание правомочно.

Председатель:

Объявляется защита диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук **Курылева Дмитрия Валерьевича** по теме: **«Основы многокоординатного формообразования межлопаточных каналов осевых моноколес при предварительном прорезании кольцевым инструментом»**.

Работа выполнена в Казанском национальном исследовательском техническом университете им. А.Н. Туполева-КАИ.

Научный руководитель – д.т.н., профессор кафедры «Технологии машиностроительных производств» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ» Лунев Александр Николаевич.

Официальные оппоненты:

Макаров Владимир Федорович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Инновационные технологии машиностроения» ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

Владимир Федорович здесь присутствует.

Агапов Сергей Иванович, доктор технических наук, доцент, доцент кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет».

Сергей Иванович тоже здесь присутствует.

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

Ведущая организация – ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П.А. Соловьева».

Слово предоставляется **ученому секретарю** диссертационного совета д.т.н. **Н.И. Веткасову** для оглашения документов из личного дела соискателя.

Ученый секретарь, д.т.н., доцент Веткасов Н.И.:

Уважаемые коллеги! В деле соискателя имеются следующие документы, представленные к защите (зачитывает):

– личный листок по учету кадров, из которого следует, что Курьлев Дмитрий Валерьевич, 1988 года рождения закончил в 2011 году Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева по направлению 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» и получил диплом магистра техники и технологии. В 2015 закончил аспирантуру по специальности 05.07.02 «Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов» при Казанском национальном исследовательском техническом университете им. А.Н. Туполева. В настоящее время работает ассистентом на кафедре «Технологии машиностроительных производств» этого же университета;

– выписка из расширенного заседания кафедры «Технологии машиностроительных производств» этого же университета. На этом заседании было принято заключение по диссертации, в котором отмечается личное участие автора, степень обоснованности научных положений, научная ценность и, как итог, дается рекомендация о том, чтобы данная работа была защищена по специальности 05.02.07.

– нотариально заверенная копия диплома об окончании Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева;

– удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов со следующими оценками: английский язык – «отлично», история философии и науки – «хорошо» и специальная дисциплина «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки» – «отлично»;

– список научных публикаций Курылева Дмитрия Валерьевича включающий в себя 11 наименований, из них 3 научных публикации в журналах из перечня ВАК и 1 патент на полезную модель;

– заявление соискателя, которое было представлено при подаче документов в диссертационный совет, с подписью председателя диссертационного совета;

– протокол заседания о приеме диссертации к предварительному рассмотрению и заключение экспертной комиссии в составе докторов технических наук Унянина А.Н., Клячкина В.Н., Киселева Е.С. о возможности защиты диссертации в нашем диссертационном совете и о соответствии требованиям ВАК по изложению материала в автореферате и о соответствии данной специальности;

– отзыв научного руководителя по диссертационной работе;

– протокол заседания диссертационного совета о приеме диссертации к защите;

– список рассылки автореферата, включающий в себя 75 адресов, в которые были направлены авторефераты;

– сведения о ведущей организации и официальных оппонентах;

– отзывы ведущей организации и официальных оппонентов;

– 11 отзывов на автореферат.

Все необходимые документы были вовремя опубликованы на сайте университета, в Интернете в соответствии с требованиями процедуры рассмотрения и защиты диссертаций.

Сегодня пришло еще несколько отзывов, но в соответствии с положением, если отзыв пришел в день защиты, то он не должен учитываться.

Председатель:

Вопросы к Николаю Ивановичу есть? (Нет).

К Курылеву Дмитрию Валерьевичу по личному делу нет вопросов? (Нет).

Вам предоставляется слово для изложения диссертации.

Соискатель: Здравствуйте, уважаемые председатель, члены совета, оппоненты, гости.

Я хочу представить Вам свою диссертационную работу, посвященную обработке межлопаточных каналов кольцевым инструментом (*слайд 1*).

Лопаточные машины используются в различной технике авиационной, транспортной и аэрокосмической промышленности. Основными элементом

лопаточных машин является рабочее колесо, которое состоит из диска, лопаток и лопаточного венца. Конструкция рабочего колеса может быть представлена в виде отдельных лопаток и диска, а также в виде моноколеса (*слайд 2*).

Развитие конструкции рабочих колес происходило от сборного колеса к моноколесу типов «блиск» и «блинг». Преимуществом данных конструкций является снижение массы рабочего колеса и увеличение критического числа оборотов двигателя до 50 – 80 тысяч (*слайд 3*).

В настоящее время существуют три основных варианта изготовления моноколес: из профилированных заготовок, полученных литьем, штамповкой либо выращиванием; изготовление путем соединением сваркой изготовленных отдельно лопаток и диска; и последний, наиболее широко распространенный в производстве вариант – изготовление моноколес из непрофилированных заготовок путем механической обработки межлопаточных каналов (*слайд 4*).

В настоящее время известны четыре основных способа обработки межлопаточных каналов: фрезерование концевой и сфероконической фрезой, электрохимическая и гидроабразивная обработка и фрезерование дисковой фрезой. Наиболее широко распространённой в производстве является обработка концевой и сфероконической фрезой. Однако при этом многими авторами указано, что при данной технологии характерна низкая производительность предварительной обработки (*слайд 5*).

Для повышения производительности предварительной обработки в Казанском авиационном институте в 2004 году предложена схема фрезерования межлопаточных каналов кольцевым инструментом. Данный способ основан на схеме нарезания зубьев резцовой головкой, изобретенной в 60-х годах (*слайд 6*).

К настоящему времени были разработаны и запатентованы четыре варианта конструкции кольцевого инструмента, а также различные способы формообразования межлопаточных каналов (*слайд 7*).

В связи с этим целью моей работы является повышение производительности изготовления осевых моноколес из непрофилированных заготовок. Для этого в диссертации решены шесть задач. Во-первых, определены зависимости конфигурации и размеров кольцевого инструмента от параметров моноколеса. Затем была определена область применения кольцевого инструмента для различных решеток. Далее были разработаны кинематические схемы и математические модели формообразования кольцевым инструментом. Также с использованием численного эксперимента определено влияние количества управляемых координат на погрешность формообразования. Экспериментально опробована обработка межлопаточных каналов кольцевым инструментом. Разработаны практические рекомендации по применению кольцевого инструмента (*слайд 8*).

В диссертационной работе установлена зависимость конфигурации и размеров режущей части инструмента от геометрических параметров комплекса тракторных поверхностей осевых моноколес. На данном слайде

представлено осевое моноколесо и его основные геометрические параметры (*слайд 9*).

На данном слайде представлен кольцевой инструмент и его основные геометрические параметры. При этом в работе были рассмотрены три параметра: глубина внутренней полости и диаметры режущей части, наружный и внутренний (*слайд 10*).

Эти параметры интересны потому, что в процессе обработки кольцевой инструмент в виде чашки должен помешаться в межлопаточный канал, при этом не должен происходить зарез остальных поверхностей заготовки. В работе получена математическая зависимость для расчета наружного диаметра режущей части. Данную формулу можно представить в виде произведения диаметра моноколеса на некий коэффициент, который зависит от основных параметров моноколеса, таких как угол поворота, относительная высота и верность (*слайд 11*).

Далее была получена формула для определения максимально допустимой ширины режущей части. При этом данное значение должно быть больше некоторого значения, которое определяется прочностью и жесткостью инструмента (*слайд 12*).

Используя полученную формулу, были проанализированы различные типы решеток из атласов Венедиктова и Дейча. Анализ показал, что для некоторых моноколес – зеленых (*на диаграмме*) значение ширины режущей части получилось выше рекомендованной стандартом. Это значит, что данные решетки можно обработать кольцевым инструментом до дна канала. Красным представлены те виды решеток, для которых либо совсем не возможна обработка каналов кольцевым инструментом, либо обработка возможна только верхней ее части. Также можно увидеть, что для моноколес с высокими лопатками количество возможных для обработки решеток уменьшается (*слайд 13*).

Также была выведена формула для определения глубины внутренней полости в зависимости от размера кольцевого инструмента и геометрических параметров моноколеса. Далее был сделан сравнительный анализ полученного аналитического метода с графо-аналитическим методом с использованием 3D моделей рабочих колес семи ступеней. Анализ показал, что полученные значения близки друг другу (*слайд 14*).

Также была исследована кинематика формообразования межлопаточного канала в зависимости от количества управляемых координат. При однокоординатном формообразовании кольцевой инструмент устанавливается относительно заготовки в исходное положение. Затем в процессе обработки инструмент движется вдоль одной координаты (*движение S_z*). В результате чего образуется межлопаточный канал. Для реализации данного вида обработки необходимо определить значения управляемой координаты и установочные параметры (*слайд 15*).

На данном слайде представлены полученные аналитические зависимости для расчета установочных параметров. Также следует сказать, что положение

центра инструмента относительно базовой точки детали находится из систем уравнений (3.4) и (3.5). Аналитически данные системы решить невозможно, потому что в этих формулах используются параметрические уравнения поверхностей межлопаточного канала (*слайд 16*).

При двухкоординатном формообразовании добавляется еще одна управляемая координата – вращение заготовки. При этом для данного вида обработки необходимо определить закон управления поворотом заготовки в процессе обработки. Данный закон можно найти из систем уравнений (3.6) – (3.9) (*слайд 17*).

При трехкоординатной обработке добавляется перемещение инструмента вдоль оси X . Законы управления движения инструмента в процессе обработки находятся из системы уравнений (3.10) – (3.11) (*слайд 18*).

Для четырех- и пятикоординатной обработки мне не удалось получить аналитические зависимости для расчета траектории движения инструмента, поэтому с использованием CAD/CAM системы Siemens NX с помощью дополнительного построения поверхности "псевдо"-спинки был произведен расчет траектории движения в автоматизированном режиме (*слайд 19*).

Теоретически была исследована возможность обработки кольцевым инструментом с механизмом изменения размера диаметра режущей части. На данный инструмент был получен патент на полезную модель (*слайд 20*).

Технологу для использования кольцевого инструмента необходимо решить следующие задачи. Во-первых, необходимо определить основные размеры инструмента. Затем выбрать для исследования схемы обработки межлопаточного канала по количеству управляемых координат. Для этих схем рассчитать траекторию движения инструмента. Затем смоделировать обработку канала, в результате чего определить технико-экономические показатели. Выбрать из данных схем рациональный вариант. И в конце разработать технологический процесс с учетом выбранной схемы (*слайд 21*).

Данная методика была проведена на примере обработки моноколеса вертолетного двигателя. На слайде представлена 3D модель полученной лопатки после однокоординатной обработки. С использованием данной модели были определены погрешности формообразования. В итоге при однокоординатной обработке максимальная погрешность составила 9 мм (*слайд 22*).

При двухкоординатной обработке данная погрешность незначительно уменьшилась до 8 мм (*слайд 23*).

При трехкоординатной обработке наблюдается значительное уменьшение погрешности с 8 мм до 3 мм. Далее четырехкоординатная обработка позволила еще уменьшить до 1,2 мм, а при пятиосевой обработке погрешность незначительно уменьшилась. На графике видно, что погрешности близки друг другу (*слайд 24*).

Был произведен натурный эксперимент, включающий в себя обработку межлопаточных каналов кольцевым инструментом по схеме с одной до четырех управляемых координат на фрезерном станке с ЧПУ. Полученный

после обработки полуфабрикат был измерен на автоматизированном томографе, который в результате дал координаты облака точек данного полуфабриката, с помощью которых была построена 3D модель изготовленного полуфабриката. Анализируя полученные 3D модели, установили, что значения погрешностей, которые получены аналитическим путем и после измерений, близки друг другу (*слайд 25*).

Из-за того, что даже при пятиосевой обработке не удалось полностью убрать погрешность формообразования, в технологический процесс изготовления осевого моноколеса приходится вводить дополнительную операцию для выравнивания припуска. Было проведено сравнение имеющейся технологии обработки межлопаточных каналов концевой фрезой с формообразованием кольцевым инструментом при различном количестве управляемых координат с учетом последующего выравнивания припуска. В итоге, для данного моноколеса получили, что минимальное машинное время предварительной обработки достигается при двухкоординатной обработке кольцевым инструментом с последующим выравниванием припуска (*слайд 26*).

Результаты диссертационной работы были переданы в Казанское моторостроительное производственное объединение, а также в КАИ-Лазер (*слайд 27*).

Основные выводы моей работы: Во-первых, получены математические зависимости для расчета геометрических параметров. Также была установлена область применения. Были получены кинематические схемы. Установлено то, что с увеличением числа управляемых координат погрешность уменьшается, при этом при пятосевом формообразовании происходит незначительное уменьшение погрешности. Экспериментально опробованы различные схемы формообразования. Установлено, что формообразование кольцевым инструментом позволяет снизить машинное время обработки моноколес на 30% по сравнению с обработкой концевой фрезой. Научные и практические результаты работы приняты на машиностроительных предприятиях (*Слайд 28*).

Всем спасибо за внимание.

Председатель: Так, пожалуйста, вопросы. Евгений Михайлович Булыжев.

д.т.н., доцент Булыжев Е.М.: Скажите, пожалуйста, по Вашему мнению, изменение числа управляемых координат приводит к достаточно большим результатам. Тогда почему там, где координат 5 – 6 результат вроде маленький, а в середине большой. Я понял так, что это зависит от того какая часть лопатки обрабатывается. Объясните физику процесса.

Соискатель: Да это так. Переключите слайд. На слайде видно, что больше всего погрешность формообразования возникает в корневой части лопатки. Это связано с тем, что в данной части межлопаточного канала

ограничиваем положение инструмента ограничивается не только спинкой и корытом, но также дном канала и сопряжениями, поэтому даже при увеличении числа управляемых координат не происходит снижение погрешности в корневой части. В концевой части увеличение числа управляемых координат дает эффект. Мы можем в этой части сманеврировать инструмент так, чтобы уменьшить погрешность. А в корневой части такой возможности нет.

д.т.н., доцент Булыжев Е.М.: Хорошо. А вот чем Вы объясняете, что погрешность изменяется от корневой части к концевой. В одном случае она уменьшается, а в другом случае увеличивается?

Соискатель: Вы имеете в виду то, что при одном и двухкоординатном погрешность ведет себя по-разному. Это происходит из-за того, что при однокоординатном формообразовании положение инструмента находится так, чтобы объем снимаемого слоя был максимальным. Это достигается, если будет минимальная погрешность формообразования в корневой части. А из-за того, что межлопаточный канал расширяется от корневой части к концевой, происходит увеличение погрешности. Это касается однокоординатной обработки. При двухкоординатной обработке наблюдается тот же эффект.

д.т.н., доцент Булыжев Е.М.: И последний вопрос. У Вас от числа управляемых координат зависит объем удаленного материала из заготовки моноколеса. Простите, а разве он не зависит от формы колеса? Есть заготовка и конечное колесо. Шестикоординатное или однокоординатное формообразование, но мы должны получить из заготовки одно колесо. И оно задано не координатами, а чертежом. Спрашивается, почему имеется различия в объеме удаленного материала?

Соискатель: Здесь (*на слайде*) представлен объем удаленного металла из межлопаточного канала при прорезании. При 100% мы получаем лопатку с припуском под чистовую обработку. При однокоординатной обработке мы снимаем большое количество металла, но остается металл у кромок, то, что является погрешностью. Все снять кольцевым инструментом нельзя, поэтому приходится вводить дополнительную операцию по выравниванию припуска.

д.т.н., доцент Булыжев Е.М.: Хорошо, а насколько этот объем отличается? На 10%, на 20?

Соискатель: При однокоординатной обработке кольцевым инструментом удаляется 71%, а 29% к удаляется концевой фрезой.

Председатель: Евгений Михайлович, все, так еще вопросы. Прошу Олег Владимирович Захаров.

д.т.н., доцент Захаров О.В.: Насколько я понял, у Вас сама лопатка описана какой-то функцией?

Соискатель: Лопатка не может быть описана функцией потому, что профиль лопатки состоит из сложных поверхностей. Обычно профиль лопатки задают сечениями. В работе я описание поверхности получил в виде линейчатой поверхности Кунса. Используя инструменты САД системы, параметризировал граничные кривые и через них получил функцию для описания определенной поверхности лопатки. А так она математически не описывается, в чертеже обычно профиль лопатки задается через координаты сечений.

д.т.н., доцент Захаров О.В.: Я понял. Но, безусловно, можно попытаться сделать и макроописание, но видимо такой задачи не стояло

Соискатель: Да такой задачи не стояло.

д.т.н., доцент Захаров О.В.: И у меня второй вопрос. Вот Вы сказали, что не удастся обработать полностью, но я не увидел исследований по оптимизации параметров установки инструмента относительно заготовки. Может быть, в этом направлении есть какой-то скрытый резерв?

Соискатель: Согласен с этим. Возможно, что есть. Но пока такие исследования не проводились.

д.т.н., доцент Захаров О.В.: Есть такой вопрос или предложение. Если не удастся одним инструментом обработать с достаточной точностью, может быть удастся комплектом из 2 – 3 инструментов. Вы такую возможность не рассматривали?

Соискатель: Такая возможность была рассмотрена, но при этом увеличивается себестоимость обработки. Потому что для обработки межлопаточных канала необходимо уже два кольцевых инструмента. Они не так распространены, как концевые фрезы, поэтому я боюсь, что по себестоимости можно проиграть, если использовать комплект кольцевых инструментов. Но возможно и обратное.

д.т.н., профессор Салов П.М. (реплика): Каждый раз нужно считать.

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П.: Все, да. Так еще вопросы, пожалуйста. Прошу Салов Петр Михайлович.

д.т.н., профессор Салов П.М.: Из какого материала сделана заготовка?

Соискатель: Из алюминиевого сплава Д16. Натурный эксперимент проводился на кафедре Казанского авиационного института.

д.т.н., профессор Салов П.М.: На каких скоростях работали?

Соискатель: Частота вращения инструмента была 700 об/мин. А скорость 15 м/мин.

д.т.н., профессор Носов Н.В.(реплика): Вы ошиблись, наверное, 150 м/мин.

Соискатель: Да я оговорился, скорость резания была порядка 150 м/мин.

д.т.н., профессор Салов П.М.: Как затачивали режущий инструмент?

Соискатель: Вопросы, которые касаются конфигурации кольцевого инструмента и формы режущей части, в диссертационной работе не рассматривались. Использовались стандартные инструменты.

Председатель: Дмитрий Валерьевич понятно, что инструмент стандартный. Фреза сразу была заточена?

Соискатель: Да. Инструмент был со сменными резцами.

д.т.н., профессор Киселев Е.С.: А можно еще вопрос.

Председатель: Нет пока. Николай Васильевич вопрос задает.

д.т.н., профессор Носов Н.В.: Скажите, пожалуйста, какую схему припуска Вы предусматривали многолезцовый головкой? И как она зависит от количества координат?

Соискатель: В данной работе использовалась плунжерная схема обработки. Когда инструмент за один проход идет от корневой части к концевой. Рассматривалась только эта схема в связи сложностью процесса, так как для каждой схемы обработки необходимо получить аналитическую модель управления траекторией. Поэтому использовалась самая простейшая схема, а именно плунжерное формообразование

д.т.н., профессор Носов Н.В. (реплика): Я не совсем понял, что значит плунжерная схема.

Соискатель: Откройте слайд. Инструмент перемещается за один проход от корневого сечения к концевому. При этом число управляемых координат может быть от одной до шести.

д.т.н., профессор Носов Н.В.: Я хотел бы уточнить, прорезание канала по какой схеме идет. Вот многорезцовый инструмент круговой. Как зубья расположены? Какие зубья наружный контур фрезеруют, а какие внутренний? И как это влияет на координатную обработку.

Соискатель: При однокоординатной обработке канал получаем за один проход, поэтому наружные и внутренние резцы одновременно действуют.

д.т.н., профессор Носов Н.В.(реплика): Режущие пластины смещены?

Соискатель: Да смещены на ширину резания.

д.т.н., профессор Носов Н.В.: Значит, есть режущие пластины и они смещены. Вот Вы эти смещения как-то устанавливаете? Как Вы установили ширину резания? Это как раз и является схемой снятия припуска. То есть Вы разбиваете ширину реза.

Соискатель: Откройте, пожалуйста, 10 слайд. Вот формула для определения ширины резания. А как конструктивно это реализовать в диссертации не рассматривалось, мы брали готовую конструкцию инструмента.

д.т.н., профессор Носов Н.В.: Конструктивно не известно. А как же Вы на практике это установили? Вы натуральный эксперимент, с использованием каких фрез, делали?

Соискатель: На практике мы определили максимальную ширину и выбрали инструмент, ближайший по параметрам.

д.т.н., профессор Худобин Н.В. (реплика): И по диаметру?

Соискатель: И по диаметру, по ширине и по глубине внутренней полости. По трем параметрам.

Председатель: Может Николай Васильевич имел в виду, сколько режущих кромок участвуют в резании.

Соискатель: Одновременно участвуют торцовая, наружная и внутренняя.

д.т.н., профессор Носов Н.В.: А Как они расположены? И какая последовательность снятия припуска?

Соискатель: Можно открыть слайд. При первом проходе инструмента работают все кромки. Наружные кромки обрабатывают у поверхности корыта, и внутренние кромки обрабатывают у поверхности спинки соседней лопатки. Это при первом проходе. При втором проходе в зависимости от того какой элемент межлопаточного канала обрабатывается. Например, если сначала обрабатывается корыто, а при втором проходе спинка, тогда наружные режущие кромки не участвуют. Работают только торцовые и внутренние кромки.

д.т.н., профессор Носов Н.В.: Но пока я не услышал, как снимается припуск. Какая последовательность съема? Начертить можно было бы припуск, который Вы снимаете, и разделить его по тем направлениям.

Соискатель: При одном обороте часть припуска, которая будет равна ширине режущей части, удаляется внешними и внутренними режущими пластинами.

д.т.н., профессор Носов Н.В. (реплика): Какая пластина первая врезается? Боковая, наружная или внутренняя

Соискатель: Это зависит от того, как инструмент будет располагаться относительно заготовки. Может быть наружный резец первым режет, может внутренний.

д.т.н., профессор Носов Н.В.: Вот, сколько режущих кромок на наружном резце?

Соискатель: Две. С наружной части и с торцовой.

д.т.н., профессор Носов Н.В.: А какая ширина торцовой части, которой фрезеруете? Если бы Вы прорезали сначала доньшко, а потом наружные и внутренние части подчищали. Вот это и называется схема. А здесь не так, я не вижу как. Значит, как получится что ли.

Председатель: Леонид Викторович хотите задать вопрос? Пожалуйста, профессор Худобин.

д.т.н., профессор Худобин Л.В.: Дмитрий Валерьевич, Вы рассматривали эффективность только одной операции предварительной

обработки межлопаточных каналов. Нельзя оценить, если не учитывать последующие операции. Так вот вопрос. А какая последующая обработка после Вашей операции? Если даже при пятикоординатной обработке, как я понял, остается неудалённым 30% металла. Правильная цифра? Как же их удалить эти 30% и еще при этом обеспечить геометрические параметры межлопаточного канала, включая шероховатость, волнистость и т.д. Что Вы там вводили?

Соискатель: Я вводил дополнительную операцию – обработка концевой или сфероконической фрезой на пятикоординатном станке.

д.т.н., профессор Худобин Л.В.: Ну и что. 70% удалится, 30 останется. Это же огромный припуск. Его надо как-то удалять.

Соискатель: Как раз его удаляют концевой фрезой. Но при этом удаляется не весь канал, а только эти 30%.

д.т.н., профессор Худобин Л.В.: Но когда Вы оцениваете суммарную производительность Вашей операции, учитываете последующую операцию?

Соискатель: Да. Я учитывал время на выравнивание припуска. Но окончательную и отделочную операции я не рассматривал.

д.т.н., профессор Худобин Л.В.: Получается, что даже не рассматривая эти операции, все равно получается какой-то эффект?

Соискатель: Да. Вот можно увидеть (*показывает на слайд*), что при однокоординатной обработке происходит небольшое уменьшение машинного времени, а, при четырех-, наоборот, происходит увеличение машинного времени.

д.т.н., профессор Худобин Л.В. (реплика): Как увеличение машинного времени. Значит потеря производительности.

Соискатель: Да. При четырехкоординатной обработке для данного моноколеса получилось даже уменьшение производительности.

д.т.н., профессор Худобин Л.В.: Тогда естественно возникает вопрос и какова же область рационального применения этого вида обработки?

Соискатель: Для рассматриваемого моноколеса получилось, что двухкоординатное формообразование. Для другого возможны другие соотношения.

д.т.н., профессор Худобин Л.В.: Когда эффективно применять, а когда не эффективно?

Соискатель: Для этого нужно проводить анализ.

д.т.н., профессор Худобин Л.В.: А как? Вы что методику предлагаете?

Соискатель: Откройте предыдущий слайд. Для каждой схемы рассчитывается траектория, потом получаем 3D модель полуфабрикатов. Производим моделирование обработки с использованием моделей полуфабриката, изделия и заготовки. В CAD/CAM системе можно производить автоматизированный расчет траектории движения концевой фрезой при выравнивании. И в итоге получить машинное время обработки.

д.т.н., профессор Худобин Л.В.: Ну хорошо. А какие предшествующие операции?

Соискатель: Я согласен это минус моей диссертационной работы. Не рассматривалась способы получения непрофилированной заготовки.

д.т.н., профессор Худобин Л.В.: А как ее получают?

Соискатель: Непрофилированная заготовка может быть получена либо прокатом, либо, чаще всего, штамповкой.

Председатель: Все? Прошу, Евгений Степанович Киселев.

д.т.н., профессор Киселев Е.С.: Вот на 6 слайде, на рисунке 1.4 написано, что фрезерование межлопаточных каналов предложено Луневым А.Н. и Моисеевой Л.Т. Открываем предпоследнюю страницу автореферата. Здесь патент Лунева А.Н. и Курылева Д.В. Чем отличаются патенты?

Соискатель: На слайде представлен патент на способ формобразования, а у меня в диссертации на инструмент.

д.т.н., профессор Киселев Е.С.: Ну и чем он отличается? В диссертации ведь вообще не рассмотрена конструкция. Способ есть, а инструмент?

Соискатель: Был получен патент на инструмент с изменяемым диаметром режущей части.

д.т.н., профессор Киселев Е.С.: В патенте после запятой пишут, чем он отличается от известных вариантов. Так чем он отличается?

Соискатель: Отличается тем, что в процессе обработки изменяет диаметр режущей части.

д.т.н., профессор Киселев Е.С.: В процессе обработки изменяет размер режущей части инструмента что ли? За счет чего?

Соискатель: За счет использования механизма развода.

д.т.н., профессор Киселев Е.С.: То есть, такого инструмента у Вас вообще нет и не использовался?

Соискатель: Рассматривалась только теоретическая возможность использования данного инструмента.

д.т.н., профессор Киселев Е.С.: Теоретически возможно, а на самом деле его нет.

Соискатель: Мы нашли патент в Китае на подобный инструмент, так что принципиально такой инструмент может быть получен.

д.т.н., профессор Киселев Е.С.: Хорошо, спасибо нет больше вопросов.

Председатель: Вопросы? Пожалуйста, Александр Николаевич Унянин.

д.т.н., доцент Унянин А.Н.: Вы можете сказать ориентировочные значения припуска на окончательную обработку? Какой остается после фрезерования концевой фрезой и вашими способами? В каких пределах оставляем припуск?

Соискатель: Обычно в зависимости от обрабатываемого материала припуск составляет от 1 мм под окончательную обработку.

д.т.н., доцент Унянин А.Н. (реплика): Это концевой фрезой.

Соискатель: Да. А окончательно обрабатывается сфероконической фрезой.

д.т.н., профессор Унянин А.Н.: А при Вашем способе?

Соискатель: При моем способе припуск получился от 1 мм до 3 мм. Один из минусов то, что после обработки получали неравномерный слой, поэтому необходимо выравнивание припуска.

д.т.н., доцент Унянин А.Н.: Вот что меня беспокоит, а не получится, что при окончательной обработке концевой фрезой машинное время окажется в разы ниже, чем при Вашем способе.

Соискатель: Перед окончательной обработкой вводим дополнительную операцию, чтобы получить такую же геометрию, какую и при обработке концевой фрезой. Перед окончательной обработкой выравниваем припуск.

д.т.н., доцент Унянин А.Н.: А вот это время выравнивания сюда (*показывает на слайд*) вошло? Это время выравнивания вошло в машинное время?

Соискатель: Да в таблице есть это время. Итоговое машинное время получилось суммированием двух составляющих.

д.т.н., доцент Унянин А.Н.: А по поводу точности нет опасений?

Соискатель: Вопросы по обеспечению точности при окончательной обработке не рассматривались.

Председатель: Все Александр Николаевич? (Да) Борис Михайлович, пожалуйста.

д.т.н., профессор Горшков Б.М.: Дмитрий Валерьевич скажите, пожалуйста, кольцевой инструмент, который Вы используете, он используется для черновой обработки?

Соискатель: Да только для черновой.

д.т.н., профессор Горшков Б.М.: А после неё, какой следующий вид обработки?

Соискатель: Получистовая обработка для выравнивания припуска.

д.т.н., профессор Горшков Б.М.: Выравнивание концевой фрезой. А дальше?

Соискатель: А дальше окончательная обработка сфероконической фрезой либо электрохимическая обработка.

д.т.н., профессор Горшков Б.М.(реплика): Тоже фрезой, но не шлифование.

Соискатель: Шлифование используется при отделочной операции. Полируют и шлифуют обычно в конце.

д.т.н., профессор Горшков Б.М.: Скажите, режимы резания мы слышали, а вот кольцевой инструмент требует подачи СОЖ в зону резания?

Соискатель: Мы производили обработку с СОЖ и без нее. Исследования по влиянию СОЖ на процесс обработки пока не проводились. Но вследствие того, что не вся часть инструмента находится в зоне резания, инструмент не нагревается в процессе обработки, как и деталь. Он (*инструмент*) успевает остывать.

д.т.н., профессор Горшков Б.М.: Отвод тепла все равно из зоны резания необходим. Моя цель вопроса касается инструмента. Вы запатентовали инструмент, как я понял. А почему тогда не предусмотрели инструмент, который оснащен системой подвода СОЖ. Это было бы сделать довольно легко.

Соискатель: Пока не рассматривали такой вопрос.

д.т.н., профессор Горшков Б.М.: Спасибо.

Председатель: Еще вопросы есть? Николай Иванович, пожалуйста.

Ученый секретарь: Скажите, пожалуйста, какую долю составляют моноколеса изготавливаемые из непрофилированных заготовок в общем количестве моноколес, которые изготавливают на производстве?

Соискатель: По сравнению с другими способами?

Председатель(реплика): Да Вы три способа называли.

Соискатель: (*показывает на слайде*) Первый способ чаще всего используется при массовом производстве и то не для всех видов моноколес. Из литературы следует, что наиболее распространен способ изготовления моноколес из непрофилированных заготовок. А именно по процентам сейчас не могу сказать. Такой информации не находил.

Ученый секретарь: Нет смысла заниматься разработкой такой теорией, если моноколес несколько штук.

Соискатель: В настоящее время конструкция моноколес, сразу скажу, не так распространена. Они используются обычно на авиационных двигателях вследствие того, что необходимо уменьшить массу и увеличить критическое число оборотов. Но при этом при их производстве чаще всего используется метод изготовления из непрофилированных заготовок. Потому

что с помощью сварки мы получаем меньшую прочность моноколеса из-за наличия сварного шва. А получение выращиванием или штамповкой более затратное для небольшого количества моноколес, данный способ применим при массовом производстве.

Ученый секретарь: Тогда еще один вопрос. Почему работа называется «многокоординатное формообразование» если речь идет всего лишь о двухкоординатной обработке?

Соискатель: Теоретически в работе рассматривалась формообразование межлопаточного канала до шести управляемых координат. Да в результате получилось то, что оптимальна двухкоординатная обработка. Но я еще раз повторяю, что для другого моноколеса возможна и трех-, четырехкоординатная обработка будет выгодна и для неё необходимо рассчитывать траекторию.

Ученый секретарь: Накладывают какие-либо особенности на процесс обработки материал заготовки, материал режущего инструмента.

Соискатель: Конечно.

Ученый секретарь: Как это учтено в диссертации?

Соискатель: У меня только первоначальный этап. И вопросы определения режимов резания, вопросы расчета траектории движения инструмента с учетом режимов резания и обрабатываемого материала не решались. Но в дальнейшем я займусь данными вопросами.

Председатель: Скажите, пожалуйста, 21-й слайд откройте. Вот я правильно понимаю, что эти практические рекомендации для производственных условий сделаны для какого-то одного типо-размера моноколеса?

Соискатель: В принципе нет. Зависимости были разработаны для различных видов моноколес.

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П.: Нет, я имею в виду, что для другого типо-размера моноколеса, другого вида канала надо все заново проводить, чтобы определить оптимальный вариант?

Соискатель: Да, все заново надо рассчитывать.

Председатель заседания д.т.н., профессор Табаков В.П.: А вот нельзя сделать какую-нибудь универсальную программу, чтобы можно было бы как-

то смоделировать и заранее подсказать рациональный вариант. Может быть такое реализовано? Нет?

Соискатель: В принципе возможно, но пока такое не реализовано.

Председатель: Вот Вы определяете диаметр вашего инструмента, его ширину, и они будут зависеть от размеров моноколеса. И такую процедуру нужно каждый раз производить.

Соискатель: При определении размеров можно автоматизировать расчет, так как не много параметров входят в математические зависимости.

Председатель: И последний вопрос. Вы проводили обработку на сплаве алюминия. А из каких еще материалов изготавливаются моноколеса?

Соискатель: Они изготавливаются также из титановых и жаропрочных сплавов.

Председатель: А если перенести эти ваши выводы, то что самое главное, по поводу формирования профиля канала. И если материал титановый они (*выводы*) будут такими же для такого же типо-размера?

Соискатель: В принципе, да.

Председатель (реплика): Не будут ли какие-либо изменения?

Соискатель: Нет, изменения, конечно, будут. Но эффект по производительности происходит за счет увеличения режущей части и использования более массивного инструмента.

Председатель: Николай Иванович, появился вопрос?

Ученый секретарь (реплика): Вопрос по третьему выводу работы.

Соискатель: Откройте последний слайд с выводами.

Ученый секретарь: В третьем выводе написано, что управляемых координат от одной до шести, при этом шестой управляемой координатой является диаметр режущей части. Мне непонятно, как может диаметр режущей части быть шестой управляемой координатой?

Соискатель: Как раз на инструмент с изменяемым диаметром получен патент. Можно переключить слайд (*идет поиск слайда*).

Председатель: То есть это Ваше предположение?

Соискатель: Да, то, что в процессе обработки можно изменять диаметр инструмента.

Ученый секретарь(реплика): Но все равно как координату ее можно назвать.

Соискатель: Эта координата будет изменять размер инструмента.

Ученый секретарь: А почему она управляемая?

Соискатель: Потому что в процессе обработки она изменяется, то есть мы ей управляем.

Председатель: Так, вопросы еще есть? Будем делать технический перерыв? Продолжаем. Слово предоставляется научному руководителю, доктору технических наук, профессору Луневу Александру Николаевичу.

Научный руководитель, д.т.н., профессор Лунев А.Н.: Добрый день. Мой аспирант Курьлев Дмитрий Валерьевич учился в нашем университете. Сначала в Елабужском филиале по специальности «Технология машиностроения». После окончания бакалавриата поступил в магистратуру. После окончания магистратуры поступил в аспирантуру, которую успешно закончил в прошедшем учебном году. Будучи еще студентом, Дмитрий Валерьевич принимал активное участие в студенческой работе. Уже тогда занимался наукой и ездил в Москву и в другие города, в Казани выступал на конференциях. И когда он поступил в аспирантуру, то одна из идей, которой он уже владел к этому моменту, была как раз обработка блисков, этой перспективной конструкции. Учился по специальности немножко другой авиационной специальности – «Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов». Но диссертационная работа вылилась в эту специальность, которую он представляет. У Дмитрия Валерьевича есть опыт производственной работы. Будучи аспирантом, он по совместительству работал у нас на Казанском моторостроительном производственном объединении в должности инженера-конструктора в отделе главного технолога, где занимался подготовкой производства, а именно проектированием средств технологического оснащения. Поэтому опыт в этой работе у него есть. Очень хорошо владеет автоматизированными системами, в том числе Unigraphics по старому, по-новому это система CAD/CAM NX. Для нас это очень ценный специалист. Выполненная его работа, конечно, на сегодняшний момент, я считаю, очень актуальная. Потому что развитие двигателестроения, а именно газотурбинных двигателей идет как раз по пути увеличения оборотов, т.к. это позволяет уменьшить объемы двигателя. Блисковая конструкция, конечно, является одним из вариантов достижения

этих параметров. Все что я могу сказать, я как руководитель считаю, что Дмитрий Валерьевич на сегодняшний день является достаточно установившимся ученым и заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук. Спасибо.

Председатель: Спасибо Александр Николаевич. Садитесь. Слово предоставляется Николаю Ивановичу для оглашения заключения организации, где выполнялась работа, и отзыва ведущей организации.

Ученый секретарь: С Вашего позволения я в кратком виде изложу заключение Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева, где выполнялась работа по диссертации. Это заключение подписано проректором по научной и инновационной деятельности д.т.н., профессором Михайловым С.А. В заключении отмечается личное участие автора в получении научных результатов, степень обоснованности научных положений и достоверности полученных результатов, степень научной ценности и новизны полученных результатов, практическая значимость работы. Отмечается, что работа достаточно хорошо апробирована в публикациях, одном патенте на полезную модель и материалах конференций, в которых участвовал соискатель. В заключении организации делается вывод, что работа Курылева Дмитрия Валерьевича отвечает всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней, тема диссертационной работы полностью соответствует специальности 05.02.07 и рекомендуется к защите по данной специальности. Заключение принято на расширенном заседании кафедры «Технологии машиностроительных производств» Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева.

(Заключение прилагается)

Председатель: Так, нет вопросов? Николай Иванович прошу отзыв ведущей организации.

Ученый секретарь: В диссертационный совет поступил отзыв ведущей организации – Рыбинского государственного авиационного технического университета им. П.А. Соловьева. Отзыв подписан заведующим кафедрой «Мехатронные системы и процессы формообразования имени С.С. Силина», д.т.н., профессором Волковым Д.И., и утвержден проректором по науке и инновациям, д.т.н., профессором Кожинной Т.Д. Отзыв положительный. Также как и в заключении Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева, в отзыве ведущей организации отмечается актуальность темы, новизна диссертационной работы, степень обоснованности, достоверность полученных результатов, практическая значимость результатов полученные лично соискателем,

публикации и апробация работы. Вместе с тем, в отзыве имеются ряд замечаний, которые я с Вашего позволения зачитаю.

1. Предлагаемый в работе метод имеет существенные ограничения. В частности, он не применим при обработке более сложных диагональных моноколес.

2. Увеличение производительности обработки связано с существенным увеличением длины режущих кромок кольцевого инструмента по сравнению с концевой фрезой, а это приводит к значительному увеличению силового воздействия на технологическую систему и в первую очередь на обладающие малой жесткостью элементы детали. Поэтому возникает вопрос о возникающих деформациях лопаток при обработке.

3. Применение данного метода на операциях предварительного прорезания межлопаточных пазов предполагает формирование равномерного припуска на окончательную обработку в пределах 0,5 мм, а если это не выполняется, то требуется решение проблемы технологического наследования.

4. Увеличение количества управляемых координат уменьшает жесткость технологической системы, поэтому погрешности обработки при 4 – 5 управляемых координатах уменьшаются незначительно, особенно в корневых сечениях пера лопатки (рис. 4.9)

5. Сравнение стратегий обработки межлопаточных каналов по машинному времени (табл. 4.8) показывает, что кольцевой инструмент эффективен только при 1 – 2 управляемых координатах. Возникает вопрос, зачем в названии диссертации присутствует многокоординатное формообразование.

В заключении отзыва ведущей организации отмечается, что работа представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, имеющая существенное значение для решения задач по повышению производительности изготовления осевых моноколес из непрофилированных заготовок и соответствует Положению ВАК о присуждении ученых степеней.

(Заключение прилагается)

Председатель: Есть вопросы Николаю Ивановичу? На автореферат диссертации поступило 11 отзывов все они положительные. Как всегда будем слушать обзор на отзывы? *(Предлагается ограничиться обзором поступивших на автореферат отзывов)* Возражений нет. Пожалуйста, Николай Иванович.

Ученый секретарь зачитывает обзор отзывов на автореферат

(Отзывы прилагаются)

Все отзывы положительные и содержат от одного до трех замечаний.

1. Отзыв ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет», подписанный заведующим кафедрой «Технология автоматизированного машиностроения», д.т.н., профессором Гузеевым В.И. и доцентом кафедры «Технология автоматизированного машиностроения», к.т.н. Батуевым В.В. Замечания:

- 1) Из автореферата не ясно, оказывают ли влияние динамические характеристики процесса резания кольцевым инструментом на шероховатость и точность обрабатываемой поверхности.
- 2) Из автореферата не ясно, каким образом производится назначение режимов резания, и какое влияние они оказывают на производительность и точность обработки.

2. Отзыв ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», подписанный профессором кафедры «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», д.т.н., профессором, Тарапановым А.С. Замечания:

- 1) Из автореферата неясно почему, если формообразование кольцевым инструментом является лишь предварительным (даже при схеме с четырьмя управляемыми координатами, погрешность обработки спинки лопасти около 4 мм, корыта – 1,2 мм (стр. 14 автореферата), шероховатость поверхности явно выше достигаемой шлифованием и ЭХО (стр. 6 автореферата), автор не рассматривал возможное повышение трудоемкости окончательных операций с учетом наследственного влияния погрешностей исследуемого процесса?
- 2) Неясно, что означает фраза: «Для моноколес, у которых расчетное значение ширины режущей части δR_{\max} меньше, чем регламентированная стандартом δR_c » (стр. 16 автореферата, вывод 2)?
- 3) Зачем в заключении приводится вывод 5 и вторая фраза вывода 6 (стр. 17 автореферата)? На наш взгляд, в них не содержится какой-либо полезной информации.

3. Отзыв ФГБОУ ВО «Московский государственный технологический университет "СТАНКИН"», подписанный профессором кафедры «Станки», д.т.н., профессором Сабировым Ф.С.; доцентом кафедры «Станки», к.т.н. Чурилиным А.В. Замечания:

- 1) В автореферате не приведены режимы резания, на которых проводились эксперименты.
- 2) В таблице сравнения стратегий предварительной обработки межлопаточных каналов отсутствуют данные по итоговому машинному времени для 5-ти и 6-ти координатной обработки кольцевым инструментом, и поэтому нельзя определить эффективность этих способов.

4. Отзыв ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», подписанный профессором кафедры «Технология и оборудование машиностроительных производств», д.т.н., профессором Пономарёвым Б.Б. Замечания:

- 1) На стр.15 автореферата заявлено: «Приведенные выше результаты относятся к рассмотренному моноколесу...». Возникают вопросы: Представленные выкладки носят общий характер или справедливы только для частного случая? Насколько универсальны предложенные автором методики и рекомендации?
- 2) Из описания содержания четвертой главы, представленного на стр. 12 автореферата, не ясно, каким должен быть план проведения расчетов? До трех координат, отмечается в автореферате, расчеты проводятся по зависимостям,

предложенным автором, а далее предполагается переход в Siemens NX. Означает ли это, что для колеса другой геометрии следует придерживаться такой же последовательности расчетов и использовать исключительно указанную CAD/CAM систему? Что делать, если предполагаемый пользователь не располагает Siemens NX?

3) Автор не совсем корректно использует термин «погрешность формообразования», понимая под ним не погрешность обработки, то есть отклонение размера, полученного после обработки, от номинального размера, а отклонение размеров получаемой поверхности после фрезерования кольцевым инструментом от её номинальной геометрии. При этом совершенно ясно, что исследуемый метод прорезания межлопаточных каналов позволяет добиться значительного повышения производительности и не предназначен для получения поверхностей лопаток в окончательном исполнении с высокой точностью.

5. Отзыв ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет» подписанный доцентом кафедры «Технология машиностроения», к.т.н. Щелкуновым Е.Б. Замечание:

В автореферате не представлены результаты исследования производительности обработки кольцевым инструментом и эффект, полученный по сравнению с традиционно применяемыми методами обработки моноколес.

6. Отзыв ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», подписанный профессором кафедры «Технология производства двигателей», д.т.н., профессором Проничевым Н.Д. Замечания:

1) Из текста автореферата неясно, в какой степени, предложенные математические зависимости и методики расчета траектории движения кольцевого инструмента применимы при обработке осевых моноколес других типоразмеров конкретного изделия.

2) На стр.15 автореферата представлено сравнение стратегий предварительной обработки межлопаточных каналов в зависимости от числа управляемых координат и конструкции режущего инструмента. Однако в автореферате нет информации по назначению режимов резания для каждого варианта и поэтому не совсем понятно, почему при увеличении количества управляемых координат возрастает машинное время прорезки канала кольцевым инструментом.

7. Отзыв ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» (СГТУ имени Гагарина Ю.А.), подписанный заведующим кафедрой «Оборудование и технологии обработки материалов», д.т.н., профессором Насад Т.Г. Замечания:

1) Из автореферата не ясно, из какого материала и по какой технологии был изготовлен инструмент и анализировались ли его физико-механические свойства?

2) Изготовление оригинального инструмента сопряжено с дополнительными затратами, вызывающими повышение себестоимости изготовления детали.

8. Отзыв ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени Б.Н. Ельцина», подписанный профессором кафедры «Технологии машиностроения», старшим научным сотрудником, д.т.н., профессором Красильниковым А.Я. Замечания:

- 1) Некорректно сделан рисунок 1 стр. 6. Разрез А-А (на рисунке почему-то «сечение» (при выполнении сечения за ним не рисуются габариты детали)) не имеет знака - «повернуто», и перо лопатки должно быть заштриховано.
- 2) На рисунке 3, стр. 7 на виде б) показан параметр δR (нет его расшифровки, а по тексту на стр. 9 фигурирует параметр δR_{\max}).
- 3) В формуле (2) стр. 9 нет расшифровки параметра t .
- 4) В автореферате много математических формул и часть параметров в них не расшифрованы по тексту, что приводит к трудностям анализировать правильность написания этих формул.

9. ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», г. Санкт-Петербург» подписанный заведующим кафедрой «Технология машиностроения», к.т.н., доцентом Любомудровым С.А. Замечание:

В автореферате отсутствуют данные о режимах обработки, при которых проводился эксперимент (скорость резания, обороты и т.д.).

10. Отзыв ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» подписанный заведующим кафедрой «Авиастроение», заместителем управляющего директора ПАО «Роствертол», д.т.н., профессором Флек М.Б., профессором кафедры «Авиастроение», заведующим лабораторией авиационных систем Южного научного центра академии наук, д.т.н., доктором технических наук, профессором Шевцовым С.И. Замечания:

- 1) Приводя важнейшие для рассматриваемого процесса соотношения (1) – (4), автор не указывает, каким методом эти соотношения получены, использовались ли какие-либо допущения и т.п., что является неотъемлемой частью описания любого соотношения, моделирующего процесс или явление, эмпирические формулы для показателей сложности технического обслуживания и т.д. (стр. 6 – 9 автореферата), что не позволяет сделать вывод об обоснованности приводимых соотношений.
- 2) К сожалению, приводя важные соотношения (9) и ссылаясь при этом на параметрические уравнение 3D поверхности, автор не указывает, в какой системе координат эти поверхности параметризуются.
- 3) В заключительной главе автор рекомендует осуществлять выбор схемы формообразования, исходя из наличного станочного парка, программы выпуска моноколес, затрат на производство и других факторов. Весьма полезным и убедительным было бы привести сопоставление показателей эффективности для 2 – 3 рассмотренных схем, примененных к реальным производственным условиям.

11. Отзыв ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», подписанный, профессором кафедры «Инструментальные и метрологические системы», д.т.н., профессором Валиковым Е.Н. Замечания:

1) Рассмотренные схемы многокоординатного формообразования каналов кольцевым инструментом отличаются не высокой точностью, что не позволяет использовать их для окончательной обработки и приводит к увеличению числа технологических операций (или переходов).

2) По нашему мнению с целью повышения точности и производительности формообразования межлопаточного канала целесообразно рассмотреть схему трекоординатной обработки с использованием управляемых координат по оси z (поступательное перемещение инструмента), S_{ω} (поворот заготовки) и S_D (изменение диаметра режущей части).

Во всех отзывах отмечается соответствие темы диссертации специальности 05.02.07. приводятся рекомендации по присвоению Курылеву Дмитрию Валерьевичу ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.07.

Председатель: Спасибо. Дмитрий Валерьевич, пожалуйста, ответьте на замечания по заключению и отзывам, которые сейчас заслушали.

Соискатель: По замечаниям от ведущей организации.

Первое замечание насчет ограничения использования инструмента. Да, я согласен с замечанием. Также в работе было исследование области применения. Второе замечание о возможности деформации лопаток при обработке. Да, я согласен с этим замечанием. В работе не исследовано влияние динамики процесса формообразования. Я учту данное замечание в последующих моих работах. Третье замечание про формирование окончательного припуска. Да, я согласен с замечанием. После обработки кольцевым инструментом обязательно необходимо вводить дополнительную операцию для выравнивания припуска. А выполнение минимального припуска достигается путем использования в формулах параметра "припуск на последующую обработку". Четвертое замечание про то, что при увеличении количества управляемых координат уменьшается жесткость. Да, согласен с этим замечанием. Также согласен с тем, что происходит незначительное уменьшение погрешности в корневых сечениях, на данный вопрос я уже отвечал. И последнее замечание о присутствии в названии «многокоординатное формообразование». Согласен с замечанием. На данный вопрос я уже отвечал Николаю Ивановичу.

Теперь замечания на отзывы на автореферат. Замечания авторов Гузеева В.И. из Южно-Уральского университета, Чарулинна А.В. из Московского университета "СТАНКИН", Любомудрова С.А. из Санкт-Петербургского университета и Проничева Н.Д. из Самарского университета на счет того, что в автореферате не приведены режимы резания и методика их выбора. Я согласен с данными замечаниями. В автореферате нет данной информации, однако в диссертации она приведена. Замечания Великова Е.Н. из Тульского университета и Торопанова А.С. из Орловского университета на счет того, что не исследовалась производительность обработки. Да, я согласен с данными

замечаниями. Исследовалось только машинное время. Я приму к сведению данные замечания в следующих своих работах. Также замечания Красильникова А.Я. из Уральского университета и Флек М.Б. из Донского университета на счет оформления рисунков и пояснений формул. Согласен с данными замечаниями, но считаю, что данные замечания не влияют на выводы и результаты моего исследования. Замечания из Саратовского университета на счет отсутствия сведений о материале инструмента и повышении себестоимости изготовления данного инструмента. Я согласен с этим. В диссертационной работе данный вопрос не решался, но постараюсь в следующих своих работах учесть данные замечания. Остальные замечания носят рекомендательный характер, они не противоречат моим результатам. Я постараюсь их всех учесть в последующих моих работах.

Председатель: Спасибо. Слово для отзывов предоставляется официальному оппоненту **доктору технических наук, профессору Макарову Владимиру Федоровичу.**

д.т.н., профессор Макаров В.Ф.: Уважаемый председатель, уважаемые члены диссертационного совета. Сегодня мы рассматриваем достаточно интересную работу, которая посвящена, может быть, расширению наших знаний научных и практических в области технологии обработки газотурбинных двигателей. Мы начинаем приступать уже к обработке новых двигателей – это серия ПД14 для нового российского пассажирского самолета МС – 21, где эти проблемы, которые сегодня мы обсуждаем, имеют место для того, чтобы повысить эффективность нашего производства. Здесь показаны лопатки (показывает на слайде). Хотел пояснить потому, что было много вопросов, и не совсем верно соискатель ответил на них, но я как специалист в этой области хотел Вам пояснить, что сегодня большинство дисков и лопаток изготавливаются отдельно. То есть отдельно изготавливается лопатка. Это (показывает на слайде) замок лопатки «ласточкин хвост». Сам профиль изготавливается вместе с этим замком на отдельном оборудовании, на отдельных многокоординатных станках. И протягивается паз в диске компрессора «ласточкин хвост». Вот такая сложная операция. Мы стыкуем лопатки с этим диском. Причем каждая лопатка предварительно взвешивается, они все имеют разный вес. Для того чтобы мы не имели дисбаланс, устанавливаем тяжелые лопатки друг напротив друга и так постепенно набираем по всей оси примерно 100 – 120 лопаток в одном диске. Затем проводится балансировка. Если у нас не получается балансировка, то мы снова их разбираем эти лопатки и снова начинаем перетасовывать их. Такая сложная работа проводится сейчас на ПС90, на тех самолетах и двигателях, которых мы сейчас выпускаем. Сегодня представлена новая технология «блисков» – изготовление за одно целое и дисков и лопаток. Технология изобретена не у нас в России, а американцами. Этой технологией занимаемся и мы в Перми достаточно

долго, где-то лет 5. В чем недостаток фрезерования концевой фрезой – когда у нас фреза диаметром в 5 мм врезается на всю глубину, то происходит, во-первых, изгиб этой фрезы. Во-вторых, сама лопатка начинает изгибаться. Придуманная товарищами из Казани схема прорезки с помощью «коробки» с резцами, она более жесткая. И если мы прорезаем сначала половину лопатки по всему контуру. Потом дальше начинаем постепенно врезаться, чтобы не отгибалась фреза и лопатка. То здесь можно, в принципе, сразу всем этим кожухом обработать сверху до самого дна. В этом, мне кажется, ценность этой работы. Поэтому Лунев А.Н. изобрел эту схему применительно казанским двигателям. Но вот у нас в Перми мы можем тоже попробовать такую систему, такую технологию вместо концевой фрезерования. В этом я хотел пояснить, в чем актуальность этой темы. Действительно, применяя эту технологию, дисбаланс у нас постоянный будет, меньше операций для стыковки лопатки. Я думаю что, согласно данным соискателя, если мы возьмем двухкоординатную обработку, то здесь производительность процентов на 30 – 40% будет выше при снятии чернового припуска. Конечно это черновая обработка. И у нас остается припуск и по вершинкам и внизу, который надо потом концевой фрезой дорабатывать. Но здесь он показал машинное время для выравнивания припуска. И если взять вторую время составляет где-то 5 минут. Поэтому в принципе это можно реализовать. Я считаю, что данная работа действительно имеет и практическое и научное применение. Является весьма актуальной. Не буду перечислять первую, вторую и третью главу. Потому что подробно в автореферате изложено и достаточно хорошо это совпадает. Я хотел бы остановиться, в чем новизна полученных результатов и на замечаниях. Прежде всего, новизна заключается в том, что соискателю удалось привязать конструкцию кольцевого инструмента к конструкции самого блиска, его диаметру, ширине блиска, углу наклона. Такая математическая строгая постановка работы и расчеты достаточно сложные, которые учитывают все эти параметры и по высоте и по углам, расширение канала. Это все надо было учитывать. И соискатель справился с этим делом. Я считаю что, это одна из первых главных заслуг соискателя. Мы можем пользоваться данными формулами при расчете конструкции нового инструмента. Второе достижение этой работы – расчет траектории. Тоже достаточно сложный расчет для разных управляемых координат. Это тоже достаточно сложная работа и соискателю удалось и с этой интересной работой с помощью расчетных методов хорошо справиться. Эти два достижения я хотел бы отметить действительно новые, которые пока мы нигде не видели в технологии авиационного двигателестроения. Что касается практической значимости, то действительно я повторяюсь, но данный способ позволяет быстрее снять основной припуск в каналах между лопаток процентов на 30. Это позволит нам поднять производительность. Дело в том, что мы должны уже к 20-му году выпускать 200 двигателей ПД14. А эта работа как раз и будет резервом, заложенным в повышение

производительности производства и выпуска нашей продукции. Дело в том, что один авиационный двигатель выпускается в течение 9 месяцев. Конечно, нам надо делать быстрее. Потому что у американцев это делается быстрее за 6 – 7 месяцев. Поэтому нам надо двигаться в этом направлении повышения производительности и эффективности наших продуктов. Поэтому это имеет действительное практическое значение и мы, наверное, у нас в Перми будем использовать в своих работах. Достоверность полученных автором результатов обеспечивается большой проработкой статистических данных, совпадением теоретических и практических результатов работы. Естественно, что в такой большой работе, безусловно, были **замечания**, которые я хотел бы сейчас зачитать.

1) Вы, наверное, обсуждали тему этой работы. Но вот если Вы посмотрите на цель работы и тему работы, то я считаю, что цель правильно сформулирована. Это повышение производительности обработки межлопаточных каналов с помощью новой конструкции головки. А тема сформулирована «основы...», это уже на докторскую работу тянет. Основы теорий и т.д. Конечно, здесь основ таких больших нет.

2) В математических зависимостях формы и размеров кольцевого инструмента отражено влияние только геометрических параметров моноколес и не учитываются физико-химические свойства обрабатываемых материалов. Вот он на алюминии делал обработку, а у нас есть колеса титановые, стальные и из жаропрочных материалов (И787, П742, И698 и т.д.) это очень прочные материалы. И там видимо схему и т.д. надо немножко корректировать с учетом механических свойств, химического состава этих материалов. Одно дело алюминий обрабатывать, другое дело жаропрочные сплавы.

3) При проектировании кольцевого инструмента нет обоснования выбора материала, геометрии и способа крепления. Вот здесь были вопросы, как пластинки крепятся, какие режущие кромки. Действительно этому меньше внимание уделяется, а больше геометрии, расчетам и т.д. Точность изготовления корпуса, этот корпус вращается с достаточно большой скоростью 700 оборотов. Поэтому дисбаланс возможен, ведь пластинки по краям разные. И здесь тоже вопрос не решен. А какой дисбаланс будет, начнется биение этой головки. Дальше этот вопрос надо прорабатывать.

4) При сравнении стратегий предварительной обработки межлопаточных каналов не рассмотрены вопросы выбора рациональных режимов резания. Здесь задавали вопросы: какая скорость с трудом соискатель ответил на этот вопрос. Какая стойкость кольцевого инструмента, сколько можно сделать таких пазов одним инструментом. Тоже нет ответа. Ну и СОЖ, правильно вопрос задавали: а какая СОЖ, почему здесь нельзя здесь СОЖ применить. Вполне возможно ее применить. И действительно ее подавать через тело этой головки, даже будет эффект более высокий. Этот вопрос тоже надо дальше рассматривать и продолжать эту работу. Она интересная, нужная не только в Казани, но и у нас она тоже нужна.

5) На рис. 2 во второй главе не ясно, из-за чего при изменении относительной высоты лопатки и веерности уменьшается количество профилей межлопаточных каналов, которых можно обработать кольцевым инструментом. Этот вопрос тоже не ясен.

Общая характеристика работы

В целом диссертация представляет собой законченную научную квалификационную работу, обладающую внутренним единством и оформленную в виде специально подготовленной рукописи. Предложенные автором решения аргументированы и оценены в сравнении с известными решениями. В материалах диссертации содержатся сведения об использовании полученных результатов. Эта работа обладает всеми признаками законченного научного исследования, что вытекает из ее структурного построения. Написана грамотно, с использованием современной, корректной терминологии, хотя есть, конечно, опiski, грамматические ошибки. Достаточная апробация результатов в научно-технических изданиях, на конференциях различного уровня. Диссертация соответствует паспорту научной специальности 05.02.07. Основные результаты диссертации получены лично автором и при его непосредственном участии, что подтверждается 11 научных работами. Автореферат в полном объеме отражает содержание диссертационной работы и позволяет ознакомиться со всеми основными результатами. Результаты диссертационной работы рекомендуется использовать на предприятиях, производящих осевые моноколеса из непрофилированных заготовок, например, у нас на АО «ОДК – ПМ» в г. Перми при производстве современного перспективного газотурбинного двигателя ПД14 для нового российского самолета МС – 21, а также в учебном процессе при подготовке инженерно-технических и научно-педагогических специалистов.

Заключение

В диссертации Курылева Дмитрия Валерьевича изложено научно-обоснованное техническое решение повышения производительности производства моноколес осевых компрессоров и турбин, имеющее существенное значение для развития нашей страны.

По актуальности темы, научной новизне и обоснованности научных положений, выводов, научной и практической значимости, полученных результатов можно сделать вывод о том, что представленная диссертация отвечает критериям, изложенным в требованиях п. 9.14 Положения ВАК предъявляемых к кандидатским диссертациям, а автор Курылев Д. В. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.07 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки». Благодарю за внимание.

Председатель: Спасибо, присаживайтесь. Дмитрий Валерьевич отвечайте на замечания.

Соискатель: На счет первого замечания по поводу формулировки, согласен с замечанием. Возможно, я не совсем корректно сформулировал название и цель работы. Далее замечание на счет не достаточности исследования конструкции кольцевого инструмента и выбора его параметров. Я согласен с этим замечанием. В данной работе я многие необходимые аспекты не рассматривал. Надеюсь, в дальнейшем я их решу. Далее вопрос на счет диаграммы, можно открыть 13 слайд. За счет чего уменьшается количество допустимых профилей для обработки кольцевым инструментом. Для моноколес с высокими лопатками из-за того, что у них большая глубина межлопаточного канала, необходимо использовать при обработке кольцевой инструмент с большим диаметром. И поэтому у инструмента увеличивается минимально допустимый размер режущей части по прочности. Из-за этого большое количество допустимых профилей с низкими лопатками, для высоких лопаток данные профили уже нельзя обработать до дна канала.

Председатель: Владимир Фёдорович, Вас устраивают ответы?

д.т.н., профессор Макаров В.Ф.: Да.

Председатель: Слово предоставляется официальному оппоненту доктору технических наук, доценту Агапову Сергею Ивановичу.

д.т.н., доцент Агапов С.И.: Уважаемые коллеги. Данная работа посвящена предварительному прорезанию межлопаточных каналов моноколес. На производстве основным методом является прорезанию межлопаточных каналов инструментом малой жесткостью и малой производительности. Данная диссертационная работа посвящена методике прорезания данных каналов кольцевым высокопроизводительным инструментом. Диссертант разбивает прорезание канала на предварительное и чистовое. Чистовую обработку он оставляет за темой своей диссертации. Используя полученные закономерности можно разрабатывать новые технологии, обеспечивающих повышение производительности изготовления осевых моноколес. Данная работа посвящена именно решению этой задачи. Достоверность полученных результатов и выводов подтверждена корректным использованием основ технологии машиностроения, методов математической статистики, аттестованных приборов и средств измерения. В результате исследования получены математические зависимости размеров кольцевого инструмента, учитывающих геометрические параметры межлопаточных каналов осевых моноколес осевых компрессоров и турбин. Установлена область применения кольцевого режущего инструмента для прорезания межлопаточных каналов моноколес различной конфигурации. И получены кинематические схемы многокоординатного формообразования межлопаточных каналов с числом управляющих координат от одной до

шести. Основные положения диссертации опубликованы в 11-ти печатных работах, в том числе, в 4-х статьях, входящих в перечень ВАК и получен патент на полезную модель. Практическая ценность работы заключается в установлении зависимости размеров кольцевого инструмента учитывающих геометрические параметры межлопаточных каналов моноколес. Получены кинематические схемы многокоординатного формообразования межлопаточных каналов кольцевым инструментом с числом управляющих координат от одной до шести. На основе этого предложены кинематические схемы многокоординатного формообразования межлопаточных каналов кольцевым инструментом. Результаты исследования приняты для практического использования на АО «КМПО» при изготовлении осевого компрессора вертолетного газотурбинного двигателя. Содержание работы соответствует требованиям ВАК. Список литературных источников содержит 108 наименований. Диссертация изложена на 134 страницах, содержит большое количество рисунков и 15 таблиц. Содержание диссертации было здесь подробно рассказано я её опушу. Замечания по диссертации следующие:

- 1) Целью диссертационной работы является повышение производительности изготовления моноколес, однако, говоря об увеличении производительности, обычно приводят режимы резания, от которых зависит производительность, в диссертации этого нет.
- 2) Непонятно, почему автор при описании кинематики формообразования использует термин «количество управляемых координат». Более правильно было бы говорить о количестве движений, т.к. при этом в формулировку «количество управляемых координат» не входят вращательные движения.
- 3) Во второй главе диссертации вместе с размерами режущего инструмента надо было бы привести марку режущей части инструмента, углы его заточки, а также конструкцию инструмента (сборный инструмент или с напаянными пластинками).
- 4) В диссертации нет обоснования выбора формы зубьев кольцевой фрезы, не ясно, почему автор выбрал именно острозаточенную фрезу. Не приведен анализ других форм зубьев режущего инструмента.
- 5) В диссертации нет обоснования, почему за основу принят кольцевой инструмент «Сверла алмазные кольцевые...», хотя в России и за рубежом есть довольно большой выбор кольцевых фрез. У выбранных сверл алмазных кольцевых совершенно другая режущая часть и габариты, они не предназначены для обработки металлических заготовок.

Однако отмеченные замечания носят частный характер и не влияют на общее качество работы. Основные положения выполненных исследований соответствуют паспорту специальности 05.02.07, а именно пунктам № 2,3,4,5 и 6. Полученные результаты достаточно полно представлены в опубликованных научных работах. Автореферат соответствует основному содержанию работы. Считаю, что диссертационная работа Курьлева Дмитрия Валерьевича является законченным научным исследованием, содержащим решение

актуальной научной и практической задачи в области многокоординатного формообразования межлопаточных каналов осевых моноколес при предварительном прорезании кольцевым инструментом, которое выполнено автором самостоятельно на высоком научном уровне. Разработанные математические зависимости, алгоритмы, методики и полученные результаты являются научно-обоснованными решениями, внедрение которых вносит существенный вклад в развитие технологии авиамоторостроения. Диссертация написана в целом грамотно, аккуратно, язык и стиль изложения четкие и понятные. Диссертационная работа является квалификационной, поскольку содержит решение важной научно-технической задачи, имеющей большое значение для ряда отраслей авиамоторостроения и машиностроения. По общему содержанию, объёму материала, научному уровню и практической ценности она полностью отвечает требованиям ВАК РФ, предъявляемым к работам на соискание ученой степени кандидата технических наук, а её автор, Курьлев Дмитрий Валерьевич, заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.07 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Председатель: Все? Спасибо Сергей Иванович.

д.т.н., профессор Худобин Л.В.: Замечание можно?

Председатель: Да, пожалуйста.

д.т.н., профессор Худобин Л.В.: Нельзя писать заслуживает присвоения. Вы пишете отзыв до защиты. Откуда Вы знаете, что заслуживает он или нет. Поэтому дело оппонентов, как мне представляется, заключается только в том, чтобы оценивать саму работу, а не защиту. А Вы выходите далеко за рамки.

д.т.н., доцент Агапов С.И.: Я учту данное замечание.

Председатель: Так, пожалуйста отвечайте на замечания.

Соискатель: С замечанием на счет режимов резания согласен. Понимаю, что в работе необходимо привести дополнительные данные о режимах обработки. Согласен с этим. Со вторым замечанием на счет формулировки «количество управляемых координат» в целом согласен. Я в работе использовал данный термин из-за того, что данная формулировка кинематики более технологична, как реализация данного процесса формообразования. С третьим, четвертым и пятым замечаниями по поводу недостаточного исследования конструкции кольцевого инструмента согласен. В дальнейших исследованиях постараюсь данный вопрос решить.

Председатель: Спасибо. Сергей Иванович, удовлетворяют Вас ответы?

д.т.н., доцент Агапов С.И.: Да, устраивают.

Председатель: Спасибо. Давайте приступаем к обсуждению. Кто желает выступить? Если есть, вопросов было много, спорили между собой достаточно много. Кто начнет? Николай Васильевич?

д.т.н., профессор Носов Н.В.: Хорошо. Работа технологически сложная много вопросов и много вариантов. Вот Владимир Федорович как производственник сказал: да интересно, но не оптимально.

д.т.н., профессор Макаров В.Ф.(реплика): Не до конца еще.

д.т.н., профессор Носов Н.В.: Не до конца. Потому что да кольцевой инструмент интересен, да его можно применить, но в качестве лабораторной практики. Очень не эффективно будет использование его на производстве. Да вот он разработал во всех вариантов. Но более, допустим, эффективно применять просто дисковые фрезы для прорезания каналов.

д.т.н., профессор Худобин Л.В. (реплика): Нет не будет.

д.т.н., профессор Носов Н.В.: Ничего подобного, все нормально будет. Вы пригласите меня я Вам сделаю дисковые фрезы, которые будут более производительны, оставлять меньше припуска и будут обрабатывать все внутренние поверхности. Поэтому, конечно, нужно было бы, если предлагается инструмент, его нужно хорошо разработать конструктивно и не применять те, которые мы все в своем быту применяли. Кольцевые фрезы, которые работали очень не стабильно. Во-первых, применять их достаточно сложно. Ни какие нормы точности не выполнены. Деление припуска очень важно для кольцевого инструмента, потому что они, эти зубья, по-разному работают. Они должны в целом образовывать, так называемую, генераторную схему резания, которую надо применять. Да применяйте, но надо ее применить. А для этого нужно разработать инструмент. А применить такой инструмент для таких сложных и ответственных деталей очень сложно. Я вот вспомнил о плунжерном фрезеровании, подзабыл эти вопросы. А это единственный метод, плунжерное фрезерование кольцевым инструментом, который можно использовать. Он единственный. Да периодически вытаскивать, убирать и применять СОЖ, причем обязательно. То есть вот эту технологическую часть диссертант немножко отодвинул. Я говорит, инструментом заниматься не буду. А было бы интересно, конечно.

Председатель (реплика): Будет потом этим заниматься.

д.т.н., профессор Носов Н.В.: Ну это он говорит, что потом. Сам диссертант мне понравился. У него большой потенциал. И его можно направить туда куда нужно. И он все сделает. Вот если Вы хотите его подключить к этой теме, берите. Но, а мы ему подскажем, если он хочет. Вот он сейчас уже получили запас некоторых идей. Но, конечно, идея с шестой координатой это здорово. Просто шестая координата, при всем моем уважении это очень сложно. Да можно невыполнимую идею просто привести. Но сами по себе выводы и работа. Он сложившийся специалист в этой области, поэтому я буду голосовать за.

Председатель: Спасибо, Николай Васильевич. Так еще желающие? Пожалуйста. Олег Владимирович Захаров.

д.т.н., доцент Захаров О.В.: Соискатель вполне убедительно показал, что его работа нужна производству. Здесь нет никаких сомнений. Достаточно развитая теоретическая часть мне она понятна, потому что у нас традиционно на кафедре занимались вопросами формообразования. В каких-то моментах у нас продвинулись чуть дальше. То есть можно описывать сложные поверхности, можно применять аффинные преобразования. Далее немножко более сложный уровень. С появлением компьютеров иногда можно довериться CAD/CAM системам, но в разумных пределах. Потому что это закрытые системы и насколько корректно они работают до конца, гарантировать мы не можем. Есть вопросы, которые у меня все-таки остались. Это очень важный вопрос о стойкости инструмента. То есть его экономический эффект будет зависеть от стойкости. А стойкость будет зависеть, как уже упоминали, от распределения припуска, от углов. И этот вопрос в дальнейшем, конечно, было бы интересно исследовать. В целом я оцениваю работу положительно и желаю успехов в дальнейшем соискателю.

Председатель: Спасибо, Олег Владимирович. Так еще желающие? Александр Николаевич, пожалуйста.

д.т.н., доцент Унянин А.Н.: Несколько об актуальности данной работы. Понятно, что предварительная обработка концевой фрезой, маложестким инструментом малопроизводительна. Поэтому поиск путей повышения производительности обработки является актуальной задачей. Как мне представляется, выбор такого кольцевого инструмента продиктован формой этого канала. Профиль и след от этого инструмента наиболее близок к межлопаточному профилю. Поэтому, наверное, этот метод является тем методом, который стоит развивать. Хотя есть альтернативные методы. Что мне импонирует в этой работе это большое количество математических моделей, в том числе моделей, которые описывают профиль инструмента, погрешность формообразования. Но с другой стороны, наверное, как и в

любой работе, есть недостатки. Опасения у меня возникли. Я задавал вопрос по поводу припуска. Диссертант сказал, что припуск от 1 мм. Вроде бы большой припуск с точки зрения влияния температуры на структуру. На глубине 1 мм едва ли возникнет температура, которая даст необратимые структурные изменения. То есть в этом плане, наверное, не нужно учитывать технологическую наследственность. А вот по поводу деформации элемента лопатки здесь нужно было бы рассмотреть. Тем более автор неплохо владеет автоматизированным расчетом, автоматизированными CAD/CAM системами и использует тот же самый NX. Он мог бы посчитать на одном примере деформацию лопатки, возможно, она будет весьма существенной сопоставимой с припуском. И вот еще что. По поводу экономической эффективности применения этого метода. Было рассчитано время на обработку, но, мне кажется, нужно был бы привести не совсем сложной расчет экономической эффективности. Ведь при использовании этого метода использовался не пятикоординатный станок, который имеет управление по пяти координатам, а более дешевый станок. Так? Поэтому это работало бы на автора. В целом учитывая диссертацию, неплохие и обстоятельные ответы диссертанта, я считаю что, как и диссертация, так и автор соответствует необходимым требованиям, поэтому я буду голосовать за.

Председатель: Спасибо, Александр Николаевич. Пожалуйста, профессор Худобин Леонид Викторович.

д.т.н., профессор Худобин Л.В.: Уважаемы коллеги. Я буду краток и скажу скорее не о сложившейся ситуации, а о предыстории этой работы. Совершенно четко ясно и даже дилетанту видно, что вопросами разработки и тем более оптимизации режимов резания, также как конструкции фрезы, с точки зрения параметров её режущей части и всего прочего соискатель не занимался. Эта работа дважды или трижды, я уже может быть ошибаюсь, слушалась на нашем довольно известном семинаре. Слушалась активно в более узком кругу. Мы очень долго пытались доводить эту работу до тех кондиций, которые сегодня были Вам представлены. Вроде бы неплохо выглядит. Но что это такое, недоработка или это граница поставленной задачи перед соискателем. Вот отсутствие разработки режимов резания и физических основ резания межлопаточных каналов. Но мы в конечном итоге пришли к выводу, что иначе не выпустили эту работу на защиту. Что и того материала представленного и сосредоточенного в этой диссертации вполне достаточно для её высокой оценки. Достаточно на наш взгляд. Может быть, мы ошибаемся, вот сейчас совет нас рассудит. Есть ли тут все элементы квалификационной законченной кандидатской работы или нет. Мне представляется, что по сравнению с глобальным средним уровнем тех кандидатских диссертаций, которые сейчас защищаются, бесконечный поток присылаются авторефератов, это очень не плохая работа. А её новизна искушает те, будем говорить, недоработки, которые на первый взгляд видны в

этой диссертации. Поэтому я буду, конечно, голосовать за. Раз мы её выпустили.

Председатель: Так, наверное, на этом заканчиваем? Просто я тоже хотел сказать. Леонид Викторович может сказать так хорошо, что потом вроде и замечаний к работе нет. Тем не менее, пару слов скажу. Я тоже считаю, что работа очень интересная, может, поэтому тяжелая и конечно пионерская в этом плане, потому что предложена новая кинематика, новый инструмент, новый процесс формообразования. И понятно, что те вопросы, которые нас всегда интересуют, такие как физика процесса, это уже отдельная диссертация. Действительно в этой области не початый край вопросов, которые надо решать. И с инструментом и с режимами резания и с тем и другим и третьим. Вопросов действительно было очень много и, наверное, если бы все-таки соискатель предоставил дополнительную информацию. Вот схема припуска то ли генераторная, то ли профильная. Надо было бы какие-то схемы привести, профиль канала и показать, как обрабатывается профиль, какие режущие кромки работают там по спинке и т.д. И многие вопросы были бы сняты. Ведь процесс совершенно новый. По крайней мере, его тяжело в голове воспроизвести. И когда были бы такие схемы обработки, наверное, можно было бы много вопросов объяснить. А их было достаточно много. И я полностью согласен с Леонидом Викторовичем в том, что тот материал, который мы заслушивали, вполне нас устраивает с точки зрения кандидатской диссертации. Я тоже, естественно, буду голосовать за. На этом мы с Вами заканчиваем. Так? И заключительное слово предоставляется соискателю.

Соискатель: Я хочу поблагодарить членов совета за Ваши конструктивные замечания. Также хочу поблагодарить оппонентов. То, что им понравилась моя работа. Они тоже хорошие замечания мне дали. И хочу поблагодарить научного руководителя, он в свое время дал мне хороший импульс для написания этой работы. У меня всё.

Председатель: Спасибо. Переходим к голосованию. Нам надо выбрать счетную комиссию. Предлагаю такой состав: Клячкин Владимир Николаевич, Ковальногов Владислав Николаевич и Захаров Олег Владимирович.

Есть возражения? Нет. Давайте так. Счетная комиссия, пожалуйста, приступайте к работе. И объявляется технический перерыв для голосования.

(Счетная комиссия организует тайное голосование)

Председатель: Так, продолжаем нашу работу. Слово предоставляется председателю счетной комиссии.

Оглашается протокол счетной комиссии.
(Протокол счетной комиссии прилагается).

Кто за? (Все).

Кто против? (Нет).

Кто воздержался? (Нет).

Протокол счетной комиссии утверждается единогласно.

Председатель: Таким образом, на основании результатов тайного голосования (за – 15 , против – нет, недействительных бюллетеней – нет) объединенный диссертационный совет Д 999.003.02 на базе Ульяновского государственного технического университета и Тольяттинского государственного университета признает, что диссертация **Д.В. Курылева** соответствует требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г., № 842, с изменениями и дополнениями, и представляет собой научно-квалификационную работу, в которой содержится решение задачи, заключающейся в разработке способа и схем формообразования межлопаточных каналов осевых моноколес, имеющее существенное значение для развития технологии механической обработки. Диссертационный совет присуждает **Курылеву Дмитрию Валерьевичу** ученую степень кандидата технических наук по специальности **05.02.07 - Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки)**.

Переходим к проекту заключения, который Вам раздали. Примем его за основу, если нет возражений. Нет, да? Принимается. Какие будут замечания, дополнения к проекту заключения?

(Обсуждение проекта).

Председатель:

Еще есть замечания, предложения? (Нет). Если нет, тогда проголосуем. Принимаем заключения в целом с учетом редакционных замечаний, нет возражений?

Кто за? (Все).

Кто против? (Нет).

Кто воздержался? (Нет).

Принимается единогласно.

(Заключение диссертационного совета объявляется соискателю)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 999.003.02
НА БАЗЕ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ульяновский государственный технический университет» и федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тольяттинский государственный университет» по диссертации

НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА
ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело N _____

решение диссертационного совета от 27.12.2016 г. № 26

О присуждении Курылеву Дмитрию Валерьевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Основы многокоординатного формообразования межлопаточных каналов осевых моноколес при предварительном прорезании кольцевым инструментом» по специальности 05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки принята к защите 24.10.2016 г., протокол № 24 объединенным диссертационным советом Д999.003.02, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения (ФГБОУ) высшего образования (ВО) «Ульяновский государственный технический университет» Министерства образования и науки Российской Федерации, 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, д. 32 и ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет» Министерства образования и науки Российской Федерации, 445667, Самарская область, г. Тольятти, ул. Белорусская, д.14, приказ о создании диссертационного совета № 123/нк от 17 февраля 2015 года.

Соискатель Курылев Дмитрий Валерьевич, 1988 года рождения, в 2011 году окончил ГОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ».

В 2015 году окончил очную аспирантуру ГОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ».

Работает ассистентом кафедры «Технологии машиностроительных производств» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре «Технологии машиностроительных производств» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский

технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Лунев Александр Николаевич, профессор кафедры «Технологии машиностроительных производств» ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ».

Официальные оппоненты:

Макаров Владимир Федорович, д.т.н., профессор, профессор кафедры «Инновационные технологии машиностроения» ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»;

Агапов Сергей Иванович, д.т.н., доцент, доцент кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», дали **положительные** отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П.А. Соловьева» в своем положительном заключении, подписанном Волковым Дмитрием Ивановичем д.т.н., профессором, заведующим кафедрой «Мехатронные системы и процессы формообразования имени С.С. Силина», утвержденном Кожинной Татьяной Дмитриевной д.т.н., профессором, проректором по науке и инновациям ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П.А. Соловьева» – указала, что диссертация Курылева Дмитрия Валерьевича на тему «Основы многокоординатного формообразования межлопаточных каналов осевых моноколес при предварительном прорезании кольцевым инструментом», представленная к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.07 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки», является научно-квалификационной работой, в которой содержатся новые научные результаты, развивающие теорию и практику технологии машиностроения и, в частности, обработку межлопаточных каналов осевых моноколес.

Соискатель имеет 11 опубликованных научных работ, из них по теме диссертации 11 работ, в том числе 4 статьи в рецензируемых научных изданиях по Перечню ВАК. Объем научных изданий – 2,93 печатных листа, из них авторский вклад – 1,9 печатных листа. Получен патент на полезную модель.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Курылев Д.В. Исследование стратегий формообразования межлопаточных каналов моноколес кольцевым инструментом / Д.В. Курылев // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. – 2016. – № 2. – С. 123–127.
2. Курылев Д.В. Обзор прогрессивных методов изготовления осевых моноколес авиационных газотурбинных двигателей / Д.В. Курылев, А.Н. Лунев // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 6 (часть 1) [Электронный журнал], URL: <http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=40375>.
3. Курылев Д.В. Снижение кинематической погрешности при механической обработке межлопаточных каналов моноколеса кольцевым режущим инструментом / Д.В. Курылев, А.Н. Лунев // Сборник докладов Международной

научно-практической конференции АКТО – 2014. – Казань 2014: Изд-во Казан. нац. иссл. техн. ун-та им. А.Н. Туполева. – 2014. – Том I. – С. 393-395.

4. Курылев Д.В. Определение геометрических параметров кольцевой фрезы для предварительной обработки межлопаточных каналов осевых моноколес / Д.В. Курылев // Сборник докладов Международной научно-практической конференции АКТО-2016. – Казань 2016: Казан. нац. иссл. техн. ун-та им. А.Н. Туполева. – 2016. – Том I, – С. 483 – 488.

5. Патент на полезную модель № 162205 РФ, МПК U1 B23C5/14. Инструмент для обработки сложнопрофильных межлопаточных каналов моноколеса газотурбинного двигателя [Текст]/ А.Н. Лунев, Д.В. Курылев заявитель и патентообладатель Казан. нац. иссл. техн. ун-т. им. А.Н. Туполева-КАИ – № 2015120192/02; заявл. 27.05.15 ; опубл. 27.05.16, Бюл. № 13. – 3 с.: ил.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

Отзыв ведущей организации – ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П.А. Соловьева», подписанный заведующим кафедрой «Мехатронные системы и процессы формообразования имени С.С. Силина», д.т.н., профессором Волковым Д.И., утвержденный проректором по науке и инновациям, д.т.н., профессором Кожиной Т.Д. Отзыв положительный. Замечания: 1. Предлагаемый в работе метод имеет существенные ограничения. В частности, он не применим при обработке более сложных диагональных моноколес. 2. Увеличение производительности обработки связано с существенным увеличением длины режущих кромок кольцевого инструмента по сравнению с концевой фрезой, а это приводит к значительному увеличению силового воздействия на технологическую систему и в первую очередь на обладающие малой жесткостью элементы детали. Поэтому возникает вопрос о возникающих деформациях лопаток при обработке. 3. Применение данного метода на операциях предварительного прорезания межлопаточных пазов предполагает формирование равномерного припуска на окончательную обработку в пределах 0,5 мм, а если это не выполняется, то требуется решение проблемы технологического наследования. 4. Увеличение количества управляемых координат уменьшает жесткость технологической системы, поэтому погрешности обработки при 4 – 5 управляемых координатах уменьшаются незначительно, особенно в корневых сечениях пера лопатки (рис. 4.9) 5. Сравнение стратегий обработки межлопаточных каналов по машинному времени (табл. 4.8) показывает, что кольцевой инструмент эффективен только при 1 – 2 управляемых координатах. Возникает вопрос, зачем в названии диссертации присутствует многокоординатное формообразование.

Отзыв официального оппонента профессора кафедры «Инновационные технологии машиностроения» ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», д.т.н., профессора Макарова В.Ф. Отзыв положительный. Замечания: 1. Формулировки названия темы работы и цели проведения исследований по смыслу существенно отличаются друг от друга; 2. В математических зависимостях формы и размеров кольцевого инструмента отражено влияние только геометрических параметров моноколес и

не учитываются физико-химические свойства обрабатываемых материалов, например, вязких алюминиевых сплавов и твердых и прочных титановых сплавов, а также методы получения непрофилированной заготовки блисков, что может привести к изменению погрешности формообразования при резании кольцевым инструментом. 3. При проектировании кольцевого инструмента нет обоснования выбора материала, геометрии и способа крепления режущих пластин, точности изготовления корпуса и его балансировки; 4. При сравнении стратегий предварительной обработки межлопаточных каналов не рассмотрены вопросы выбора рациональных режимов резания, полученной стойкости кольцевого инструмента, применения СОТС; 5. В математических зависимостях, представленных в третьей главе, не учитывается действие радиальной составляющей силы резания, деформирующей профиль лопатки в процессе обработки. 6. По рис. 2.9 во второй главе не ясно, из-за чего при изменении относительной высоты лопатки с 1,9 до 7 и ее ширины с 5 до 7 уменьшается количество профилей межлопаточных каналов, которых можно обработать кольцевым инструментом.

Отзыв официального оппонента доцента кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», д.т.н., доцента Агапова С.И. Отзыв положительный. Замечания: 1. Целью диссертационной работы является повышение производительности изготовления моноколес, однако, говоря об увеличении производительности, обычно приводят режимы резания, от которых зависит производительность, в диссертации этого нет. 2. Непонятно, почему автор при описании кинематики формообразования использует термин «количество управляемых координат». Более правильно было бы говорить о количестве движений, т.к. при этом в формулировку «количество управляемых координат» не входят вращательные движения. 3. Во второй главе диссертации вместе с размерами режущего инструмента надо было бы привести марку режущей части инструмента, углы его заточки а также конструкцию инструмента (сборный инструмент или с напаянными пластинками). 4. В диссертации нет обоснования выбора формы зубьев кольцевой фрезы, не ясно, почему автор выбрал именно острозаточенную фрезу. Не приведен анализ других форм зубьев режущего инструмента. 5. В диссертации нет обоснования, почему за основу основных размеров кольцевого инструмента принят ГОСТ 26339-84 «Сверла алмазные кольцевые...», более правильно было бы выбрать за основу основные размеры фрез кольцевых, выпускаемых в России (Станкогидросервис) или за рубежом (фирмы PFERD, Woodwork, Karmach, EUROBOOR). У выбранных сверл алмазных кольцевых совершенно другая режущая часть и габариты, они не предназначены для обработки металлических заготовок.

Отзыв ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет», подписанный заведующим кафедрой «Технология автоматизированного машиностроения», д.т.н., профессором Гузеевым В.И. и доцентом кафедры «Технология автоматизированного машиностроения», к.т.н. Батуевым В.В. Отзыв положительный, замечания: 1. Из автореферата не ясно, оказывают ли

влияние динамические характеристики процесса резания кольцевым инструментом на шероховатость и точность обрабатываемой поверхности. 2. Из автореферата не ясно, каким образом производится назначение режимов резания и какое влияние они оказывают на производительность и точность обработки.

Отзыв ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», подписанный профессором кафедры «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», д.т.н., профессором, Тарапановым А.С. Отзыв положительный, замечания: 1. Неясно почему, если формообразование кольцевым инструментом является лишь предварительным (даже при схеме с четырьмя управляемыми координатами, погрешность обработки спинки лопасти около 4 мм, корыта - 1,2 мм. (стр. 14 автореферата), шероховатость поверхности явно выше достигаемой шлифованием и ЭХО (стр. 6 автореферата), автор не рассматривал возможное повышение трудоемкости окончательных операций с учетом наследственного влияния погрешностей исследуемого процесса? 2. Неясно, что означает фраза: «Для моноколес, у которых расчетное значение ширины режущей части δR_{\max} меньше, чем регламентированная стандартом δR_c ...» (стр. 16 автореферата, вывод 2)? 3. Зачем в заключении приводится вывод 5 и вторая фраза вывода 6 (стр. 17 автореферата)? На наш взгляд, в них не содержится какой-либо полезной информации.

Отзыв ФГБОУ ВО «Московский государственный технологический университет "СТАНКИН"», подписанный профессором кафедры «Станки», д.т.н., профессором Сабировым Ф.С.; доцентом кафедры «Станки», к.т.н. Чурилиным А.В. Отзыв положительный, замечания: 1. В автореферате не приведены режимы резания, на которых проводились эксперименты. 2. В таблице сравнения стратегий предварительной обработки межлопаточных каналов отсутствуют данные по итоговому машинному времени для 5-ти и 6-ти координатной обработки кольцевым инструментом, и поэтому нельзя определить эффективность этих способов. **Отзыв ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет»**, подписанный профессором кафедры «Технология и оборудование машиностроительных производств», д.т.н., профессором Пономарёвым Б.Б. Отзыв положительный, замечания: 1. На стр.15 автореферата заявлено: «Приведенные выше результаты относятся к рассмотренному моноколесу...». Возникают вопросы: Представленные выкладки носят общий характер или справедливы только для частного случая? Насколько универсальны предложенные автором методики и рекомендации? 2. Из описания содержания четвертой главы, представленного на стр. 12 автореферата, не ясно, каким должен быть план проведения расчетов? До трех координат, отмечается в автореферате, расчеты проводятся по зависимостям, предложенным автором, а далее предполагается переход в Siemens NX. Означает ли это, что для колеса другой геометрии следует придерживаться такой же последовательности расчетов и использовать исключительно указанную CAD/CAM систему? Что делать, если предполагаемый пользователь не располагает Siemens NX? 3. Автор

не совсем корректно использует термин «погрешность формообразования», понимая под ним не погрешность обработки, то есть отклонение размера, полученного после обработки, от номинального размера, а отклонение размеров получаемой поверхности после фрезерования кольцевым инструментом от её номинальной геометрии. При этом совершенно ясно, что исследуемый метод прорезания межлопаточных каналов позволяет добиться значительного повышения производительности и не предназначен для получения поверхностей лопаток в окончательном исполнении с высокой точностью.

Отзыв ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет» подписанный доцентом кафедры «Технология машиностроения», к.т.н. Щелкуновым Е.Б. Отзыв положительный, замечание: В автореферате не представлены результаты исследования производительности обработки кольцевым инструментом и эффект, полученный по сравнению с традиционно применяемыми методами обработки моноколес.

Отзыв ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», подписанный профессором кафедры «Технология производства двигателей, д.т.н., профессором Проничевым Н.Д. Отзыв положительный, замечания: 1. Из текста автореферата неясно, в какой степени, предложенные математические зависимости и методики расчета траектории движения кольцевого инструмента применимы при обработке осевых моноколес других типоразмеров конкретного изделия. 2. На стр.15 автореферата представлено сравнение стратегий предварительной обработки межлопаточных каналов в зависимости от числа управляемых координат и конструкции режущего инструмента. Однако в автореферате нет информации по назначению режимов резания для каждого варианта и поэтому не совсем понятно, почему при увеличении количества управляемых координат возрастает машинное время прорезки канала кольцевым инструментом.

Отзыв ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» (СГТУ имени Гагарина Ю.А.), подписанный заведующим кафедрой «Оборудование и технологии обработки материалов», д.т.н., профессором Насад Т.Г. Отзыв положительный, замечания: 1. Из автореферата не ясно, из какого материала и по какой технологии был изготовлен инструмент и анализировались ли его физико-механические свойства? 2. Изготовление оригинального инструмента сопряжено с дополнительными затратами, вызывающими повышение себестоимости изготовления детали.

Отзыв ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени Б.Н. Ельцина», подписанный профессором кафедры «Технологии машиностроения», старшим научным сотрудником, д.т.н., профессором Красильниковым А.Я. Отзыв положительный, замечания: 1. Некорректно сделан рисунок 1 стр. 6. Разрез А-А (на рисунке почему-то «сечение» (при выполнении сечения за ним не рисуются габариты детали)) не имеет знака - «повернуто», и перо лопатки

должно быть заштриховано. 2. На рисунке 3, стр. 7 на виде б) показан параметр δR (нет его расшифровки, а по тексту на стр. 9 фигурирует параметр δR_{\max}).

3. В формуле (2) стр. 9 нет расшифровки параметра t . 4. В автореферате много математических формул и часть параметров в них не расшифрованы по тексту, что приводит к трудностям анализировать правильность написания этих формул.

Отзыв ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», подписанный, профессором кафедры «Инструментальные и метрологические системы», д.т.н., профессором Валиковым Е.Н. Отзыв положительный, замечания:

1. Рассмотренные схемы многокоординатного формообразования каналов кольцевым инструментом отличаются не высокой точностью, что не позволяет использовать их для окончательной обработки и приводит к увеличению числа технологических операций (или переходов). 2. По нашему мнению с целью повышения точности и производительности формообразования межлопаточного канала целесообразно рассмотреть схему трекоординатной обработки с использованием управляемых координат по оси z (поступательное перемещение инструмента), S_{ω} (поворот заготовки) и S_D (изменение диаметра режущей части).

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», г. Санкт-Петербург», подписанный заведующим кафедрой «Технология машиностроения», к.т.н., доцентом Любомудровым С.А. Отзыв положительный, замечание: В автореферате отсутствуют данные о режимах обработки, при которых проводился эксперимент (скорость резания, обороты и т.д.).

Отзыв ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», подписанный заведующим кафедрой «Авиастроение», заместителем управляющего директора ПАО «Роствертол», д.т.н., профессором Флек М.Б., профессором кафедры «Авиастроение», заведующим лабораторией авиационных систем Южного научного центра академии наук, д.т.н., доктором технических наук, профессором Шевцовым С.И. Отзыв положительный, замечания: 1. Приводя важнейшие для рассматриваемого процесса соотношения (1) – (4), автор не указывает, каким методом эти соотношения получены, использовались ли какие-либо допущения и т.п., что является неотъемлемой частью описания любого соотношения, моделирующего процесс или явление, эмпирические формулы для показателей сложности технического обслуживания и т.д. (стр. 6 – 9 автореферата), что не позволяет сделать вывод об обоснованности приводимых соотношений.

2. К сожалению, приводя важные соотношения (9) и ссылаясь при этом на параметрические уравнение 3D поверхности, автор не указывает, в какой системе координат эти поверхности параметризуются. 3. В заключительной главе автор рекомендует осуществлять выбор схемы формообразования, исходя из наличного станочного парка, программы выпуска моноколес, затрат на производство и других факторов. Весьма полезным и убедительным было бы привести сопоставление показателей эффективности для 2 – 3 рассмотренных схем, примененных к реальным производственным условиям.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их компетентностью, научным и практическим опытом в области исследования по теме диссертации, наличием публикаций по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях, а также способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

Выбор ведущей организации обосновывается тем, что она достаточно широко известна своими достижениями в данной области науки, что подтверждается выполняемыми научными исследованиями и соответствующими публикациями ее сотрудников.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- **разработаны** математические зависимости управления траекторией движения кольцевого инструмента при предварительном формообразовании межлопаточных каналов осевых моноколес на станках с ЧПУ с учетом количества управляемых координат;
- **предложена** схема формообразования при предварительной обработке межлопаточных каналов осевых моноколес, включающая в себя изготовление каналов кольцевым инструментом, по разработанным математическим зависимостям;
- **доказана** целесообразность и перспективность использования результатов диссертационной работы при разработке технологических процессов обработки межлопаточных каналов осевых моноколес.
- новые понятия не **вводились**.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- **доказана** возможность повышения производительности обработки осевых моноколес из непрофилированных заготовок путем предварительного формообразования межлопаточных каналов кольцевым инструментом;
- **использован** комплекс существующих методов формообразования поверхностей межлопаточных каналов осевых моноколес;
- **изложены** аргументы обоснования выбора объекта исследования, для которого технология предварительной обработки межлопаточных каналов осевых моноколес из непрофилированных заготовок является проблемной стороной;
- **раскрыты** особенности объекта технологической разработки, заключающиеся в невозможности применения традиционных схем формообразования кольцевым инструментом для изготовления межлопаточных каналов осевых моноколес из непрофилированных заготовок;
- **изучен** процесс и разработаны математические зависимости для осуществления многокоординатного формообразования межлопаточных каналов осевых моноколес кольцевым инструментом, расширяющие представление о формообразовании таких моноколес;
- **проведена модернизация** методики расчета геометрических параметров кольцевого инструмента с учетом совокупности параметров тракторных поверхностей осевых моноколес.

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

- **разработаны и приняты к использованию** на АО «КМПО» (г. Казань), ПАО «КАИ-Лазер» (г. Казань) рекомендации по определению размеров кольцевого инструмента и расчету траектории его движения в процессе обработки, позволившие повысить производительность предварительной обработки межлопаточных каналов осевых моноколес из непрофилированных заготовок;
- **определены** перспективы практического использования предложенной методики формообразования межлопаточных каналов осевых моноколес из непрофилированных заготовок, обеспечивающих увеличение производительности обработки;
- **созданы** практические рекомендации по применению предварительного формообразования межлопаточных каналов осевых моноколес кольцевым инструментом в производственных условиях;
- **представлен** алгоритм расчета траектории движения инструмента с использованием полученных математических моделей многокоординатного формообразования межлопаточных каналов осевых моноколес кольцевым инструментом с учетом количества управляемых координат и стратегии формообразования межлопаточных каналов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- для **экспериментальных работ** использованы современное оборудование и программное обеспечение;
- **теория** построена на известных, экспериментально проверенных данных и не противоречит работам других авторов;
- **идея базируется** на изучении опыта обработки межлопаточных каналов осевых моноколес и анализе объекта технологической разработки, позволивших выбрать принципиальный подход к формированию межлопаточных каналов кольцевым инструментом – аналитический метод расчета траектории перемещения инструмента, нацеленный на интеграцию с CAD/CAM-системами;
- **использовано** сравнение авторских данных и данных, имеющихся в производственной практике и в исследованиях в указанной области;
- **установлена** качественное совпадение закономерности влияния количества управляемых координат на точность обработки межлопаточных каналов кольцевым инструментом с результатами работ других авторов, посвященных многокоординатному формообразованию;
- **использованы** современные методики сбора и обработки исходной информации, в том числе программный комплекс Siemens NX.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в научных экспериментах, разработке математических зависимостей многокоординатного формообразования кольцевым инструментом; опытной реализации многокоординатного формообразования на станке с ЧПУ; обработке и интерпретации экспериментальных данных, подготовке всех публикаций и апробации результатов исследований на международных и всероссийских конференциях.

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

Диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г., № 842, с изменениями и дополнениями и представляет собой научно-квалификационную работу, в которой содержится решение задачи, заключающейся в разработке способа и схем формообразования межлопаточных каналов осевых моноколес из непрофилированных заготовок, имеющее существенное значение для развития технологии механической обработки.

На заседании 27.12.2016 диссертационный совет принял решение присудить Курьлеву Дмитрию Валерьевичу ученую степень кандидата технических наук по специальности 05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 9 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали «за» – 15, «против» – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель: На этом защита окончена. Есть ли замечания по процедуре защиты? (Нет). Поздравляем соискателя с успешной защитой. Благодарю диссертационный совет за работу.

(Заседание объявляется закрытым)

Председатель
диссертационного совета
Д 999.003.02
д.т.н., профессор



В.П. Табаков

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д 999.003.02
д.т.н., доцент

И.В.

Н.И. Веткасов