

ЗАСЕДАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 999.003.02

Повестка дня:

ЗАЩИТА ДИССЕРТАЦИИ БЛАГОВСКИМ ОЛЕГОМ ВАЛЕРЬЕВИЧЕМ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ *КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК*:

**«Управление формированием остаточных напряжений
в ответственных деталях при их изготовлении
с использованием ультразвуковых колебаний»**

Специальность:

05.02.08 – Технология машиностроения.

Официальные оппоненты:

Носенко Владимир Андреевич – проф., д.т.н., зав. кафедрой
«Технология и оборудование машиностроительных производств» Волжского
политехнического института (филиала) ФГБОУ ВПО «Волгоградский
государственный технический университет»

Головкин Валерий Викторович – доц., к.т.н., доцент кафедры «Транс-
портные процессы и технологические комплексы» ФГБОУ ВПО «Самарский
государственный технический университет».

Ведущая организация – ФГБОУ ВПО «Рыбинский государственный
авиационный технический университет имени П.А. Соловьева».

Ульяновск - 2015

ЗАСЕДАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 999.003.02

от 28 декабря 2015 года

на заседании присутствовали члены Совета:

- | | | |
|---|----------------------|------------------------------|
| 1. Табаков 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. Драчев О.И. | д.т.н.,
профессор | 05.02.07 – технические науки |
| 7. Дьяконов А.А. | д.т.н.,
доцент | 05.02.08 – технические науки |
| 8. Захаров О.В. | д.т.н.,
доцент | 05.02.07 – технические науки |
| 9. Зибров П.Ф. | д.т.н.,
профессор | 05.02.08 – технические науки |
| 10. Кирилин Ю.В. | д.т.н.,
доцент | 05.02.07 – технические науки |
| 11. Киселев Е.С. | д.т.н.,
профессор | 05.02.08 – технические науки |
| 12. Клячкин В.Н. | д.т.н.,
профессор | 05.02.07 – технические науки |
| 13. Ковальногов В.Н. | д.т.н. | 05.02.07 – технические науки |
| 14. Носов Н.В. | д.т.н.,
профессор | 05.02.08 – технические науки |
| 15. Полянсков Ю.В. | д.т.н.,
профессор | 05.02.08 – технические науки |
| 16. Салов П.М. | д.т.н.,
профессор | 05.02.08 – технические науки |
| 17. Унянин А.Н. | д.т.н.,
доцент | 05.02.07 – технические науки |
| 18. Худобин Л.В. | д.т.н.,
профессор | 05.02.08 – технические науки |

Председатель Совета
д.т.н., профессор

Ученый секретарь Совета
д.т.н., доцент



(Handwritten signature)

В.П. Табаков

Н.И. Веткасов

Председатель

Уважаемые коллеги !

На заседании диссертационного совета Д 999.003.02 из **20** членов совета присутствуют **18** человек. Необходимый кворум имеем.

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

По специальности защищаемой диссертации **05.02.08 – Технология машиностроения** (технические науки) на заседании присутствуют **8** докторов наук.

Наше заседание правомочно.

Председатель

Объявляется защита диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук **Благовского Олега Валерьевича** по теме: **«Управление формированием остаточных напряжений в ответственных деталях при их изготовлении с использованием ультразвуковых колебаний»**.

Работа выполнена в Ульяновском государственном техническом университете

Научный руководитель - д.т.н., профессор Киселев Евгений Степанович

Официальные оппоненты:

Носенко Владимир Андреевич – проф., д.т.н., зав. кафедрой «Технология и оборудование машиностроительных производств» Волжского политехнического института (филиала) ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет»

Головкин Валерий Викторович – доц., к.т.н., доцент кафедры «Транспортные процессы и технологические комплексы» ФГБОУ ВПО «Самарский государственный технический университет».

Присутствуют **2** оппонента.

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

Ведущая организация - ФГБОУ ВПО «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева».

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

Ученый секретарь

Уважаемые коллеги! Соискателем **Благовским Олегом Валерьевичем** представлены в совет все необходимые документы для защиты кандидатской диссертации (зачитывает):

- заявление соискателя;
- копия диплома о высшем образовании (заверенная);
- удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов;
- заключение по диссертации от организации, где выполнялась работа (Ульяновский государственный технический университет);
- диссертация и автореферат в требуемом количестве экземпляров.

Все документы личного дела оформлены в соответствии с требованиями Положения о порядке присуждения ученых степеней ВАК.

Основные положения диссертации отражены **Благовским О.В.** в **28** научных работах, в т.ч. в **5 статьях в изданиях из перечня ВАК**. Соискатель представлен к защите **28.08.2015 г.** (протокол № 4). Объявление о защите размещено на сайте ВАК РФ **29.09.2015 г.**

Председатель

Есть ли вопросы по личному делу соискателя к ученому секретарю Совета? (Нет). Есть ли вопросы к **О.В. Благовскому** по личному делу? (Нет).

Олег Валерьевич, Вам предоставляется слово для изложения основных положений Вашей диссертационной работы.

Соискатель

Добрый вечер, уважаемые члены диссертационного совета, оппоненты, присутствующие! В настоящее время в России и мире всё более широкое распространение получают высокоскоростные транспортные средства, в том числе наземные и летательные, детали которых чаще всего работают в условиях повышенных температур и агрессивных сред и изготавливаются из труднообрабатываемых жаропрочных и коррозионно-стойких сталей, а также сплавов на основе титана и никеля. Так, по данным на 2006 год доля титановых и жаропрочных сплавов в конструкциях авиадвигателей четвертого поколения составляла практически 90 %.

Наиболее полную, на наш взгляд, классификацию труднообрабатываемых материалов дал Я.Л. Гуревич, который в своих работах предложил разделять их на восемь групп по коэффициенту обрабатываемости, который характеризует производительность механической обработки заготовок из таких материалов, и по теплоёмкости, которая характеризует склонность данных материалов к структурно-фазовым превращениям, а также образованию в поверхностном слое деталей нежелательных растягивающих остаточных напряжений, значительно снижающих эксплуатационные свойства деталей машин.

Особенно остро проблема обеспечения заданных эксплуатационных свойств деталей стоит при изготовлении малоожестких и тонкостенных деталей, так как в них остаточные напряжения любого знака способны вызвать сущест-

венную потерю размерной точности, а также изменения пространственной ориентации поверхностей. На практике это выливается в необходимость снижения элементов режима механической обработки, что приводит к потерям производительности. Так как обработка таких заготовок чаще всего ведется на современном высокопроизводительном оборудовании, то подобные потери просто недопустимы.

Кроме того, для регулирования свойств поверхностного слоя таких деталей чаще всего в техпроцессы вводятся термические операции, например, частичная и полная аустенитизация или термоциклическая обработка для выравнивания структурно-фазового состава, или же искусственное старение и низкотемпературный отпуск для снижения технологических остаточных напряжений.

Выбор данных параметров качества поверхностного слоя обусловлен глубоким анализом научно-технической литературы, который показал, что именно технологические остаточные напряжения и структурно-фазовый состав в наибольшей степени определяют такие важнейшие эксплуатационные характеристики деталей, как усталостная прочность и коррозионная стойкость.

Таким образом, целью представленной диссертационной работы является повышение эффективности механической обработки заготовок из труднообрабатываемых материалов путем управления формированием технологических остаточных напряжений в их поверхностных слоях в процессе изготовления с использованием энергии ультразвуковых колебаний. Для достижения поставленной цели следует решить комплекс задач, представленных на данном плакате, важнейшими из которых являются выявление основных методов обеспечения заданного уровня параметров качества поверхностного слоя ответственных деталей, проведение теоретико-экспериментальных исследований процессов формирования параметров качества поверхностного слоя деталей на примере технологических остаточных напряжений и фазового состава, а также разработка новых способов обработки заготовок с наложением энергии ультразвуковых колебаний и разработка технологических рекомендаций по направленному формированию заданных параметров качества поверхностного слоя.

Анализ научно-технической и патентной литературы показал, что создавать заданный уровень технологических остаточных напряжений в поверхностном слое деталей машин можно как после окончательной обработки заготовок, так и в ходе всего технологического процесса изготовления деталей. Однако, известные на настоящий момент и применяемые методы снижения технологических остаточных напряжений сопряжены либо со значительными временными и энергетическими потерями, либо с потерями производительности, либо их вообще невозможно использовать при обработке маложестких и тонкостенных деталей. Поэтому, на наш взгляд, наиболее оптимальным для этой цели является использование операции ультразвуковой релаксации, различные схемы которой представлены на следующем слайде, в том числе и разработанная с нашим участием комбинированная обработка шлифованием и ультразвуковым твердосплавным выглаживанием.

Как уже говорилось ранее, обеспечивать заданный уровень технологических параметров качества поверхностного слоя можно в ходе всего технологи-

ческого процесса изготовления детали. Однако для этого необходимо устанавливать конкретные математические взаимосвязи между смежными операциями технологического процесса их изготовления, то есть устанавливать параметры технологического наследования. Технологическим наследованием называется явление переноса свойств, параметров качества поверхностного слоя, а также различных дефектов между смежными операциями технологического процесса, а в некоторых случаях между исходной заготовкой и готовой деталью.

В настоящее время существует три основных подхода или методики для учета и математического описания процесса технологического наследования. Это, во-первых, методика А.М. Дальского, при которой любой параметр качества поверхностного слоя представляется как произведение этого же параметра качества, полученного на предыдущей операции, на экспериментально определяемый коэффициент наследования. Следующая методика связана с использованием методов статистической обработки данных. При этом определение искомого параметра качества осуществляется с помощью модели, использующей огромное количество обработанных экспериментальных данных. Третий подход – это использование теории накопления деформаций, при котором процесс технологического наследования представляется как исчерпание запаса пластичности в ходе упрочнения поверхности.

В общем и целом, все три рассматриваемые методики имеют как свои плюсы, так и свои минусы, однако ни одна из них в явном виде не применима для описания процесса технологического наследования остаточных напряжений в ходе механической обработки заготовок. Наиболее рациональным, на наш взгляд, подходом является использование методики А.М. Дальского, которую, однако, необходимо существенно доработать. Во-первых, необходимо разделить правую часть уравнения А.М. Дальского на основную и наследуемую компоненты. Основной компонентой будут являться те остаточные напряжения, которые формируются в поверхностном слое детали от теплосиловой напряженности процесса механической обработки. Также необходимо учитывать принцип суперпозиций, то есть наложения, зон наклёпов, так как известно, что в ходе механической обработки не весь материал припуска снимается и удаляется с заготовки вместе со стружкой – некоторая его часть пластически деформируется и становится частью вновь образуемого поверхностного слоя. Соответственно, остаточные напряжения, сформированные в этой части припуска на предыдущей операции также необходимо учитывать, так как они будут влиять на результирующие остаточные напряжения.

На следующем слайде показаны разработанные нами математические модели для расчета технологических остаточных напряжений с учетом наследования на различных глубинах поверхностного слоя, причем для расчета параметров h_z^I и h_z^{II} нами предлагается использовать классические формулы механики контактного взаимодействия, учитывающие геометрию режущего инструмента и заготовки, а также их физико-механические свойства.

Данные некоторых ученых о том, что коэффициент наследования физико-механических свойств не должен превышать единицу, а также некоторые проведенные нами предварительные исследования позволили выдвинуть гипотезу

об изменении коэффициента наследования технологических остаточных напряжений по глубине в зависимости от теплосиловой напряженности процесса механической обработки. Известно, что при температуре свыше 0,25 от температуры плавления обрабатываемого материала начинает происходить температурная релаксация остаточных напряжений, скорость которой описывается зависимостью (14). Представив эту зависимость в следующем виде (15) и подставив правую её часть в формулу для расчета эффективности релаксации остаточных напряжений, мы можем получить следующую зависимость, которую можно пересчитать в коэффициент наследования, который будет зависеть от температуры и времени теплового воздействия.

Проверка адекватности математических моделей для расчета технологических остаточных напряжений и коэффициента наследования показала достаточно высокую сходимость результатов. Наибольшее отклонение расчетных результатов от экспериментальных данных составила порядка 30 %.

Известно, что использование при ультразвуковой обработки инденторов традиционной сферической формы вызывает образование волны вытесняемого материала, которая, согласно данных ряда ученых, характеризуется повышенным дефектообразованием и разупрочнением. Это оказывает негативное влияние на результирующие параметры качества поверхностного слоя. Поэтому в диссертационной работе предлагается для этих целей использовать полосовой твердосплавный индентор, который, во-первых, за счет меньшей глубины внедрения в поверхностный слой заготовки будет давать меньшую вытесняемую волну, а во-вторых, площадь контакта такого индентора с заготовкой будет намного больше, что увеличит эффективность ультразвуковой обработки.

Для расчета глубины проникновения инденторов сферической и полосовой формы и площади контакта предлагается использовать классические формулы механики контактного взаимодействия с некоторым уточнением для применения их к контакту полосового твердосплавного индентора и цилиндрической заготовки. Теоретически расчет по данным зависимостям показал, что при одних и тех же условиях обработки, в данном случае это кривые «1» и «4», глубина внедрения в поверхностный слой полосового твердосплавного индентора примерно в 20 раз меньше, чем у индентора традиционно используемой сферической формы. При этом площадь контакта полосового индентора с заготовкой больше примерно в 11 раз.

Таким образом, нами предлагается два способа для формирования заданного уровня параметров качества поверхностного слоя. Это, во-первых, комбинированная обработка точением и ультразвуковым твердосплавным выглаживанием, которую необходимо применять на предварительных операциях технологического процесса обработки заготовок для создания сжимающих остаточных напряжений; или же ультразвуковая релаксация полосовым твердосплавным индентором, которую необходимо применять после окончательной обработки для снятия сформированных в поверхностном слое растягивающих остаточных напряжений. В обоих случаях используется современный полосовой твердосплавный индентор из материала фирмы «Korloy», который характеризуется

мелкозернистой структурой и позволяет хорошо отводить образующуюся теплоту из зоны контакта индентора с заготовкой.

На следующей группе плакатов представлены результаты экспериментальных исследований влияния элементов режима комбинированной обработки точением и ультразвуковым твердосплавным выглаживанием на формируемые в поверхностном слое технологические остаточные напряжения. Результаты исследований показывают, что применение предлагаемого нами метода обработки позволяет эффективно формировать значительные по величине сжимающие остаточные напряжения на глубине поверхностного слоя, превышающей припуск на последующую механическую обработку, а также для двухфазных материалов, в частности, титановых сплавов ВТ9 и ВТЗ-1, то есть сплавов ($\alpha+\beta$)-класса, позволяет изменяя элементы режима комбинированной обработки менять фазовый состав поверхностного слоя либо увеличивая количество α -фазы по сравнению с β -фазой, либо уменьшая его.

Экспериментальное определение коэффициента наследования проводилось следующим образом: заготовки из различных групп труднообрабатываемых материалов поступали на комбинированную обработку точением и ультразвуковым твердосплавным выглаживанием с различными элементами режима обработки. Затем производилось измерение остаточных напряжений в поверхностном слое и заготовки поступали на последующее шлифование. Шлифование для каждого материала производилось с одинаковыми элементами режима механической обработки. Это сделано для того, чтобы сохранить составляющую $\sigma_{\text{тс}}$ – остаточные напряжения, формируемые в поверхностном слое только за счет теплосиловой напряженности процесса окончательной обработки – неизменной. В этом случае вся разница между получившимися эпюрами обуславливается лишь наследуемыми параметрами – влиянием тех самых остаточных напряжений, сформированных в ходе предварительной комбинированной обработки точением и ультразвуковым твердосплавным выглаживанием.

Таким образом по представленной ранее методике были определены коэффициенты наследования K_n , которые показали, во-первых, что выдвинутая нами гипотеза об изменении коэффициента наследования по глубине поверхностного слоя от теплосиловой напряженности процесса механической обработки подтверждена. Во-вторых, наши данные сошлись с известными данными ученых о том, что коэффициент наследования физико-механических свойств поверхностного слоя не превышает единицы.

Экспериментальные исследования технологического наследования фазового состава поверхностного слоя проводилось на современном рентгеновском измерительном комплексе «РИКОР-7» бесконтактным неразрушающим методом на заготовках двухфазной аустенитно-ферритной стали 07X16H6 и титановых сплавов ($\alpha+\beta$)-класса ВТ9 и ВТЗ-1. Представленные диаграммы наглядно показывают, что относительное изменение фазового состава после окончательной обработки шлифованием сохраняется по сравнению с фазовым составом, полученным в ходе предварительной комбинированной обработки. Это свидетельствует о том, что предварительная комбинированная обработка точением и ультразвуковым твердосплавным выглаживанием позволяет изменять фазовый

состав поверхностного слоя деталей из титановых сплавов BT9 и BT3-1 на глубине, превышающей припуск на последующую обработку шлифованием.

Результаты экспериментального исследования эффективности ультразвуковой релаксации технологических остаточных напряжений представлены на данном плакате. Из анализа результатов очевидно, что предложенный нами метод является достаточно эффективным. Так для стали 40X13 скорость снижения технологических остаточных напряжений составила порядка 250 МПа в минуту. Однако стоит отметить, что уже при 2,5–3 минутах ультразвуковой обработки наступает так называемое «время насыщения», то есть по сути ультразвуковая релаксация прекращается, что хорошо согласуется с данными других исследователей.

В качестве объекта для расчета экономического эффекта от внедрения результатов диссертационных исследований использовали стакан из высокопрочного титанового сплава BT22, изготавливаемый по номенклатуре ЗАО «Авиастар-СП». Данная деталь является тонкостенной и ответственной. В ходе технологического процесса своего изготовления она пять раз подвергается естественному старению общей продолжительностью порядка десяти суток. Нами было предложено заменить операции естественного старения на операции ультразвуковой релаксации полосовым твердосплавным индентором. Ожидаемый годовой экономический эффект составил около ста тысяч рублей.

По результатам проведенных диссертационных исследований можно сделать выводы, представленные на последнем плакате. Основными из них являются то, что было разработано: новая методика оценки технологического наследования остаточных напряжений; новые математические модели расчета технологических остаточных напряжений с учетом наследования и расчета коэффициента наследования; новые способы комбинированной обработки заготовок точением и ультразвуковым твердосплавным выглаживанием и технологические рекомендации для направленного формирования параметров качества поверхностного слоя заготовок из труднообрабатываемых материалов.

Доклад окончен. Спасибо за внимание!

Председатель

Спасибо! У кого есть вопросы к соискателю? Пожалуйста, Николай Васильевич.

д.т.н., профессор Носов Н.В.

Первое, что хотелось бы узнать – о каких технологических остаточных напряжениях говорится? Осевых, тангенциальных? И какую из этих составляющих Вы изучали?

Соискатель

Мы изучали тангенциальные остаточные напряжения.

д.т.н., профессор Носов Н.В.

Почему вы не изучаете осевые остаточные напряжения?

Соискатель

Осевые остаточные напряжения оказывают меньшее влияние на усталостную прочность деталей типа тел вращения по данным различных исследователей.

д.т.н., профессор Носов Н.В.

Смотря как будут накладываться рабочие напряжения на деталь.

Соискатель

Согласен, но для большинства цилиндрических деталей на усталостную прочность оказывают влияние именно тангенциальные напряжения.

д.т.н., профессор Носов Н.В.

А не лучше ли взять как раз тот параметр, который связывает осевые и тангенциальные напряжения и исследовать его, а не только одни тангенциальные напряжения? Второй вопрос: в своём анализе Вы ничего не сказали о шероховатости, хотя есть теории и школы, в частности А.М. Сулимы, которые занимались в основном анализом влияния шероховатости на усталостную прочность. Вы ничего не говорили о том, как меняется шероховатость.

Соискатель

Шероховатость влияет в значительной степени на усталостную прочность, но в нашем случае окончательная обработка заготовок шлифованием проводилась всегда на одних и тех же элементах режима обработки, соответственно шероховатость должна иметь близкие значения параметров, а проведенный анализ показал, что в этом случае большее влияние на эксплуатационные свойства деталей машин оказывают физико-механические свойства поверхностного слоя.

д.т.н., профессор Носов Н.В.

Как раз переходим на физико-механические свойства. Вы взяли за параметр их оценки коэффициент наследования, а почему не коэффициент упрочнения? Есть целые теории, посвященные исследованию коэффициента упрочнения, связанного с остаточными напряжениями, деформационным упрочнением и рабочими напряжениями. Понимаете, рабочие напряжения очень важны.

Соискатель

Рабочее напряжение будет важно в любом случае, если мы взяли за основной показатель коэффициент упрочнения как А.М. Дальский и В.М. Смелянский.

д.т.н., профессор Носов Н.В.

Коэффициент упрочнения – комплексный параметр. Можем ли мы, имея повышенную пластическую деформацию, получить остаточные напряжения растяжения?

Соискатель

Да, можем.

д.т.н., профессор Носов Н.В.

У Вас есть такие данные?

Соискатель

У нас нет. Когда мы проводили анализ влияния различных параметров качества поверхностного слоя, в том числе и физико-механических, на усталостную прочность и коррозионную стойкость, то анализ научно-технической литературы показал, что если взять определенные параметры наклёпа, входящие в этот комплексный параметр упрочнения, то они влияют по-разному на усталостную прочность для пластичных и твёрдых материалов – с одной стороны, они могут улучшать эксплуатационные свойства, а с другой стороны могут их ухудшить. А технологические остаточные напряжения в данном случае более «стабильны», то есть если мы формируем сжимающие напряжения, то у нас усталостная прочность увеличивается, если мы формируем растягивающие остаточные напряжения, то у нас усталостная прочность с некоторым коэффициентом снижается.

д.т.н., профессор Носов Н.В.

А почему?

Соискатель

За счет того, что в процессе циклического нагружения детали при работе, эксплуатационные напряжения сжатия и растяжения при изгибе с вращением будут с некоторым коэффициентом складываться с технологическими остаточными напряжениями, и будет получаться либо повышенное упрочнение, либо повышенное растяжение. Соответственно, там, где результат сложения превысит предел текучести материала детали, начнется образование усталостной трещины.

д.т.н., профессор Носов Н.В.

Вы приняли за гипотезу, что снимается припуск и те остаточные напряжения, что остались в левой части, «исчезают», и Вы оставшуюся часть эпюры учитывается с коэффициентом наследования? Проверено ли это экспериментально? Где Вы провели такой эксперимент? Потому что после снятия напряжений деталь должна находиться в равновесии, она «передеформирует» остаточные напряжения, нельзя механически убрать снятый слой.

Соискатель

На представленных эпюрах технологических остаточных напряжений как раз демонстрируется влияние наследственных напряжений. Они переходят в поверхностный слой готовой детали не в полной мере. Имеются эпюры, полу-

ченные после предварительной обработки с различными элементами режима; дальше идет шлифование с припуском 0,1 мм. Таким образом, напряжения удаляются, шлифование происходит с одними и теми же элементами режима обработки, то есть остаточные напряжения, которые формируются в поверхностном слое только за счет теплосиловой напряженности шлифования, будут во всех случаях одинаковы для всех заготовок. При этом полученные эпюры остаточных напряжений различны, что связано как раз с разными значениями наследственных напряжений.

д.т.н., профессор Носов Н.В.

Это экспериментальные данные? Изменение напряжений показано по глубине?

Соискатель

Да, это экспериментальные данные с изменением по глубине. Показаны эпюры напряжений на глубине до 50 мкм.

д.т.н., профессор Носов Н.В.

Эпюры получены с помощью рентгеновской установки?

Соискатель

Нет, данные эпюры получены с помощью измерительного комплекса «Ситон-АРМ» неразрушающим методом.

д.т.н., профессор Носов Н.В.

По какому методу он работает?

Соискатель

Он работает по методу измерения АФЧХ, то есть измеряет удельную электропроводность поверхностных слоёв, пропуская электрических ток разной частоты, определяет удельную электропроводность на шестнадцати глубинах поверхностного слоя, после чего с использованием программного обеспечения пересчитывает их в остаточные напряжения.

д.т.н., профессор Носов Н.В.

Последний вопрос. В теплосиловой фактор входят структурно-фазовые изменения или нет?

Соискатель

Да, в него входит всё, что происходит в материале заготовки.

д.т.н., профессор Носов Н.В.

И как он учитывается при анализе остаточных напряжений?

Соискатель

Мы не ставили своей целью рассчитывать остаточные напряжения от шлифования. Для этого имеется достаточно много зависимостей и математических моделей. Мы работали в направлении учета процесса технологического наследования. Есть модели для расчета остаточных напряжений, по которым мы просто можем посчитать напряжения после шлифования, однако эти модели совершенно не учитывают влияние остаточных напряжений, сформированных на предыдущей операции технологического процесса, то есть не учитывают процесс технологического наследования и как раз этот пробел мы стараемся заполнить.

д.т.н., профессор Носов Н.В.

А структурно-фазовые изменения происходят в результате действия теплового фактора или силового тоже?

Соискатель

И теплового, и силового. Для двухфазных материалов, например аустенитно-ферритных сталей, под действием силовой напряженности происходит распад остаточного аустенита, в титановых ($\alpha+\beta$)-сплавах происходит обратный $\beta \rightarrow \alpha$ переход.

Председатель

Есть еще вопросы? Петр Михайлович, пожалуйста.

д.т.н., профессор Салов П.М.

У Вас рассматриваются тепловые явления, а применяете ли Вы СОЖ? Нет никаких данных о СОЖ.

Соискатель

Да, СОЖ мы применяем. Всё моделирование самого процесса механической обработки шлифованием мы не рассматривали, так как уже имеются математические модели, которые всё это могут учесть, поэтому мы в этой области не занимались.

Председатель

А СОЖ не меняли?

Благовский О.В.

Нет, СОЖ была постоянного состава и расхода. Для каждого обрабатываемого материала подбирали свою СОЖ.

д.т.н., профессор Салов П.М.

Чтобы увеличить коррозионную стойкость, что Вы делали? Уменьшали остаточные напряжения, делали их сжимающими или растягивающими? Или сводили к нулю? Дело в том, что если поверхностная энергия будет минимальной,

то и коррозия будет минимальной, а сжимающие остаточные напряжения тоже могут оказаться неблагоприятными.

Соискатель

Проведенный анализ научно-технической литературы показал, что для большинства материалов создание в поверхностном слое сжимающих остаточных напряжений позволяет повысить коррозионную стойкость. Однако, создавая сжимающие остаточные напряжения методами поверхностной пластической деформации мы уменьшаем размер зерна, а уменьшение размера зерна в некоторых случаях может приводить к ухудшению коррозионной стойкости, в том числе за счет того, что количество границ зерен увеличилось в разы. Соответственно, межзеренная коррозия формируется с большей вероятностью.

д.т.н., профессор Салов П.М.

Вопрос схожий с тем, что задавал Николай Васильевич Носов – исходная шероховатость R_z тоже влияет на процесс? У Вас нигде эта связь не прослеживается. Вы исследовали этот вопрос?

Соискатель

Шероховатость не исследовали. Она должна была быть практически неизменной на исследуемых образцах.

Председатель

Есть вопросы? Пожалуйста, Олег Владимирович.

д.т.н., доцент Захаров О.В.

Поясните пожалуйста, у Вас используются ультразвуковые колебания, но нигде на плакатах не было показано, какая у них амплитуда и частота, являются ли эти параметры фиксированными или тоже как-то меняются в ходе экспериментов.

Соискатель

В нашем случае эти параметры являются фиксированными, ультразвуковые колебания создавались с помощью ультразвукового генератора, рабочая частота 22 кГц и замеренная амплитуда составляла 6–8 мкм. В дальнейшем предполагается и имеется возможность модернизации нашего оборудования для наложения модулированных колебаний. Как показывают результаты ряда исследований, это существенно повысит эффективность предлагаемых нами методов, но в наших исследованиях использовалась фиксированная частота и фиксированная амплитуда.

д.т.н., доцент Захаров О.В.

Каков, на Ваш взгляд, механизм действия ультразвуковых колебаний? У Вас прозвучало, что есть тепловая составляющая и есть поверхностное пластическое деформирование. Каково соотношение этих составляющих?

Соискатель

Именно при воздействии ультразвука?

д.т.н., доцент Захаров О.В.

Да, то есть если Вы ультразвуком пытаетесь разогреть материал, это возможно, но эффект, видимо, должен быть не столь высок.

Соискатель

Наложение ультразвуковых колебаний при комбинированной обработке точением и ультразвуковым твердосплавным выглаживанием позволяет, во-первых, снизить трение в зоне контакта индентора с заготовкой и наоборот – уменьшить теплообразование, а во-вторых, несколько уменьшить значения механические характеристик материала поверхностного слоя, например, снизить предел текучести материала. Соответственно, снизив предел текучести материала мы, при неизменных напряжениях в зоне контакта индентора с заготовкой, создадим большие по величине сжимающие остаточные напряжения, то есть деформирование будет происходить более эффективно.

Председатель

Будут еще вопросы к соискателю? Пожалуйста, Владислав Николаевич.

д.т.н. Ковальногов В.Н.

Объясните, пожалуйста, почему полученные Вами экспериментальные эпюры противоречат теоретическим? Площади кривой над эпюрой должны компенсироваться площадью кривой под эпюрой.

Соискатель

В данном случае у нас показаны остаточные напряжения на небольшом участке поверхностного слоя, так как проведенный нами анализ литературы показал, что на исследуемые нами эксплуатационные свойства, в частности, усталостную прочность, в наибольшей степени оказывают влияние именно остаточные напряжения, сформированные в приповерхностном слое, то есть на глубине до 50 мкм. Те остаточные напряжения, которые сформировались на больших глубинах, в данном случае нас интересуют в меньшей степени, но вероятнее всего они сходятся к нулю и уравниваются.

Председатель

Николай Васильевич, пожалуйста.

д.т.н., профессор Носов Н.В.

Это влияет на поверхностные напряжения?

Соискатель

Нет, они влияют на остаточные напряжения, сформированные только на большей глубине, и на усталостную прочность готовой детали практически не оказывают никакого влияния.

д.т.н., профессор Носов Н.В.

То есть они находятся в равновесном состоянии?

Соискатель

Да.

Председатель

Те напряжения, которые находятся на глубинах больше 50 мкм, оказывают влияние на напряжения на поверхности?

Соискатель

Оказывают, но незначительное. На эпюрах показаны напряжения, которые сформировались в поверхностном слое. Это уже уравновешенные остаточные напряжения и именно они будут оказывать наибольшее влияние на усталостную прочность.

Председатель

Владислав Николаевич, продолжайте, пожалуйста.

д.т.н. Ковальногов В.Н.

Но у Вас площадь эпюры над осью абсцисс явно больше площади под осью.

Соискатель

В данном случае эпюры, например, для комбинированной обработки показаны только до 150 мкм, а для шлифования – до 50 мкм. В дальнейшем идет изменение характера этих кривых.

д.т.н. Ковальногов В.Н.

Вы ввели такой параметр как «коэффициент наследования». В чем физический смысл этого параметра? Если смотреть зависимость для его расчета, то туда входит и газовая постоянная, и время. В чем физический смысл этой величины?

Соискатель

Это безразмерный коэффициент, который определяет, в какой степени остаточные напряжения, сформированные на предыдущей операции перешли на последующую операцию. Он в некотором смысле противоположен эффективности релаксации остаточных напряжений, которая происходит под действием теплосилового напряженности процесса механической обработки.

д.т.н. Ковальногов В.Н.

Как этот процесс связан с универсальной газовой постоянной?

Соискатель

Эти данные взяты из известных математических моделей, которые используются для расчета энергии активации релаксации остаточных напряжений. Причем универсальная газовая постоянная встречалась нам ни в одной только этой зависимости для описания процессов ползучести и релаксации остаточных напряжений.

Председатель

Есть еще вопросы к соискателю? Пожалуйста, Олег Иванович.

д.т.н., профессор Драчев О.И.

Как Вы тарировали «РИКОР-7» по амплитуде и частоте и какого рода остаточные напряжения Вы им измеряли: первого, второго или третьего?

Соискатель

Остаточные напряжения мы измеряли с помощью прибора «Ситон-АРМ», а комплекс «РИКОР-7» использовался для измерения фазового состава поверхностного слоя – это рентгеновский измерительный комплекс. «Ситон-АРМ» позволяют измерять остаточные напряжения второго рода. Тарировать его не надо, так как он имеет собственное программное обеспечение и достаточно большую тарировочную базу данных. Соответственно, мы находим в этой базе тот материал, который исследуем, выбираем его в качестве тарировочного и дальше программа сама пересчитывает полученные эпюры в эпюры остаточных напряжений.

д.т.н., профессор Драчев О.И.

Но в первые 30 часов процент релаксации остаточных напряжений достигает 70 %. Откуда можно знать, что напряжения в детали соответствуют тарированным? Они не соответствуют тому, что сейчас проводится – деталь по длине и диаметру очень большая и нежесткая, а Вы измеряете небольшой участок.

Соискатель

Мы измеряли остаточные напряжения на достаточно большой длине и проводили не одно, а несколько измерений сразу после выполнения экспериментов со съемом припуска.

д.т.н., профессор Драчев О.И.

А как остаточные напряжения второго рода можно померить на большой длине?

Соискатель

Измеряли в разных точках, порядка пяти-шести измерений.

д.т.н., профессор Драчев О.И.

Как проводилось измерение напряжений по глубине? От изменения частоты получали пятнадцать линий и определяются остаточные напряжения?

Соискатель

К измеряемой заготовке подводится датчик, с помощью которого пропускается электрический ток разных частот; электрический ток разной частоты проходит на различной глубине поверхностного слоя, соответственно, определяется удельная электропроводность каждого из этих шестнадцати слоёв. Затем из графика удельной электропроводности с использованием тарифовочного графика фирмы-производителя прибора мы получаем готовую эпюру остаточных напряжений.

д.т.н., профессор Драчев О.И.

У Вас исследуются сложнолегированные материалы с хромом, никелем и т.д. У них даже по диаметру будет неравномерное распределение, тем более по длине. Вы приводите пример, где с одной стороны стоит токарный резец, с другой – индентор с наложением ультразвука – во время сжатия будет получаться не окружность, а какой-то эллипс, а значит, будут неравномерные силы резания, неравномерные остаточные напряжения, а в формулах используется статика. При этом при сжатии центр заготовки сместится.

Соискатель

Заготовка во время обработки вращается.

Председатель

Заготовка была цельная?

Соискатель

Да, цельная цилиндрическая заготовка типа тела вращения.

д.т.н., профессор Драчев О.И.

Если деталь нежесткая, то после подвода индентора она еще начнет нагреваться под воздействием ультразвука, а значит, начнет деформироваться, и вместо окружности будет получаться эллипс, неравномерность увеличится.

Соискатель

Экспериментальные исследования мы проводили на стандартизованных образцах, то есть небольших цилиндрах, в дальнейшем результаты исследований можно распространить на нежесткие и тонкостенные заготовки.

д.т.н., профессор Драчев О.И.

Тогда возникает вопрос – Вы всё время ссылаетесь на А.М. Дальского, но у него есть «наследование» и есть «наследственность». Наследственность Вы как-нибудь определяли?

Соискатель

Нет, мы работали именно с технологическим наследованием.

д.т.н., профессор Драчев О.И.

Вы получили заготовку, а там уже есть наследственность; Вы сняли припуск, а как будет проявляться наследственность? Надо ли как-то корректировать Ваши формулы?

Соискатель

Нет, мы сняли часть поверхностного слоя, однако те остаточные напряжения, которые сформировались на глубине большей припуска под последующую обработку, остались. Поэтому мы рассматриваем именно окончательную обработку и предшествующую ей обработку – окончательная обработка характеризуется малыми припусками, а остаточные напряжения в некоторых случаях могут залегать на глубину до 3...5 мм.

д.т.н., профессор Драчев О.И.

На точность нежесткой заготовки тогда никак не влияет применяемая обработка? После снятия слоя, в котором были остаточные напряжения, они перераспределяются по диаметру, и мы получим другие геометрические параметры.

Соискатель

В данном случае мы проводили исследования на обычных образцах, не на тонкостенных и маложестких.

д.т.н., профессор Драчев О.И.

Меня интересует не образец, а деталь. Например, есть деталь длиной шесть метров, её изготовили, двадцать раз провели отпуск, а через три дня она искривилась. А необходимо сделать так, чтобы она была прямая. Интересует не участок поверхности или образец, а готовая деталь. Вы же сказали, что проводили исследования в заводских условиях. И еще вопрос: во всех Ваших формулах чистая «статика», в то время как есть реологические модели. Я нигде не видел динамику в Ваших моделях. Почему Вы не использовали реологические модели? Потому что тогда будет видно, как меняются напряжения во времени. Это очень известные вещи.

Соискатель

Релаксация и перераспределение остаточных напряжений в естественных условиях для большинства труднообрабатываемых материалов занимает достаточно длительное время, в некоторых случаях может достигать до года, поэто-

му нас в большей степени интересовало именно изменение остаточных напряжений под воздействием теплосиловой напряженности процесса механической обработки, то есть когда начинается низкотемпературная или среднетемпературная релаксация.

д.т.н., профессор Драчев О.И.

Вы сегодня деталь изготавливаете и уходите, а в понедельник приходите и те напряжения, что там оставались, со временем релаксировались, и это приводит к короблению и пластической деформации. Тогда зачем нужно создавать напряжения послойно, если потом это всё изменится из-за перераспределения со временем?

Соискатель

Целью диссертационной работы было определение именно технологических остаточных напряжений. В дальнейшем их можно распространить и на другие, включая эксплуатационные.

Председатель

Есть еще вопросы? Александр Федорович, пожалуйста.

д.т.н., профессор Денисенко А.Ф.

Скажите, у Вас с 18 по 25 плакаты приведены графики эпюр остаточных напряжений? Производилась ли какая-то статистическая обработка данных?

Соискатель

Статистическая обработка данных производилась для расчета числа параллельных опытов. По всем представленным данным разрабатывались технологические рекомендации для направленного формирования остаточных напряжений с использованием разработанных нами методов ультразвуковой обработки, в том числе комбинированной.

д.т.н., профессор Денисенко А.Ф.

Сколько экспериментов входило в статистическую обработку?

Соискатель

Первоначально для определения числа параллельных опытов у нас было порядка двадцати экспериментов, затем мы получили, что для достаточной точности нам необходимо проводить три параллельных опыта, то есть на каждую эпюру проводилось по три измерения.

д.т.н., профессор Денисенко А.Ф.

Эти эпюры построены по каким-то усредненным значениям? Потому что вид эпюр предполагает проведение по одному эксперименту.

Соискатель

Программное обеспечение измерительного комплекса «Ситон-АРМ» позволяет провести несколько измерений, суммировать их результаты и уже строить готовую эпюру по всем проведенным измерениям. То есть не надо получать четыре-пять эпюр и вручную их пересчитывать, программа в автоматизированном режиме суммирует их, пересчитывает и выдает готовую эпюру.

д.т.н., профессор Денисенко А.Ф.

Вы сказали, что три эксперимента оказалось достаточным, а это как-то подтверждается цифрами?

Соискатель

Был проведен расчет числа параллельных опытов (он имеется в диссертации), который показал, что три эксперимента – это более чем достаточно.

д.т.н., профессор Денисенко А.Ф.

А какой был разброс значений?

Соискатель

Разброс составил около 12 %.

д.т.н., профессор Денисенко А.Ф.

И до 24 %?

Соискатель

Нет, 24 % – это сходимость экспериментальных и теоретических расчетов, а при расчете числа параллельных опытов разброс составлял порядка 12 %. Эти данные представлены в диссертации.

Председатель

Целью Вашей работы было повышение эффективности механической обработки. Во-первых, назовите критерий эффективности и укажите, достигли Вы поставленной цели или нет? И можно ли это выразить в каких-то цифрах? Сколько было, сколько стало, например, стало ли лучше?

Соискатель

При использовании комбинированного точения и ультразвукового твердосплавного выглаживания стало лучше.

Председатель

Назовите критерий эффективности и что Вы понимаете под эффективностью механической обработки?

Соискатель

Съем припуска в минуту времени.

Председатель

А причем тут остаточные напряжения?

Соискатель

Дело в том, что, как говорилось в начале доклада, в настоящее время в связи с тем, что при обработке ответственных деталей, особенно тонкостенных и маложестких, из труднообрабатываемых материалов образующиеся остаточные напряжения могут изменять их размерную точность и деформировать заготовки, в промышленности приходится существенно занижать режимы механической обработки, чтобы уменьшить возникающие в поверхностном слое остаточные напряжения и предотвратить деформацию. Предложенный нами метод позволяет формировать сжимающие остаточные напряжения или снижать растягивающие, либо сводить их к нулю. Соответственно, это позволяет нам форсировать режимы механической обработки и повысить производительность.

Председатель

В процентах можно это выразить или нет? Понятно, что были сложности, а теперь можно производительность повысить. На сколько её можно повысить? На 5 %, на 10 %?

Соискатель

В настоящее время для предотвращения коробления заготовок от остаточных напряжений элементы режима механической обработки занижают примерно на треть. Хотя многое зависит от обрабатываемого материала – для одних материалов нужно снижать режимы на 10 %, для других, возможно, придется снижать на 50 %, а мы их повышаем.

Председатель

В экономической части своей работы Вы приводите пример тонкостенной детали, о которой как раз Олег Иванович Драчев задавал вопрос, а эксперимент проводите на цельной заготовке? Может ли так получиться, что те выводы и рекомендации для перераспределения напряжений в целых заготовках, не будут соответствовать в полной мере тем, которые будут формироваться в тонкостенных?

Соискатель

В дальнейшем для этого можно провести дополнительные исследования. А в данном случае мы провели исследования на лабораторных образцах и результаты этих диссертационных исследований можно применить с некоторой точностью для тонкостенных заготовок.

Председатель

У Вас есть какие-то рекомендации и данные по режимам предварительно обработки точением и твердосплавным выглаживанием, которые бы обеспечивали необходимые свойства поверхностного слоя после шлифования.

Соискатель

Именно в таком ключе и представлены технологические рекомендации в четвертой главе диссертации.

Председатель

Будут еще какие-либо вопросы? Пожалуйста, Александр Анатольевич.

д.т.н., доцент Дьяконов А.А.

Скажите, пожалуйста, а какие иностранные источники Вы анализировали по остаточным напряжениям?

Соискатель

В списке литературы приведены порядка 20 иностранных статей. В основном они связаны с поверхностным пластическим деформированием заготовок, но все направлены на исследование структурно-фазового состава и технологических остаточных напряжений.

д.т.н., доцент Дьяконов А.А.

Вы сделали график распределения по параметрам качества, а иностранных авторов там не указали. В нем имеются данные только отечественных авторов?

Соискатель

Проведенный анализ показал, что в принципе результаты ученых совпадают – как наши традиционные исследователи, так и зарубежные пришли к одним и тем же выводам.

д.т.н., доцент Дьяконов А.А.

То есть выводы у всех одинаковы?

Соискатель

Да.

Председатель

Есть еще какие-либо вопросы? Пожалуйста, Борис Михайлович.

д.т.н., профессор Горшков Б.М.

Скажите, пожалуйста, на плакате 32 показана деталь-представитель. Рабочими поверхностями у неё являются внутренние поверхности, а где Вы осуществляете обработку?

Соискатель

Обработка осуществляется снаружи.

д.т.н., профессор Горшков Б.М.

А это не противоречит друг другу?

Соискатель

Если посмотреть на 33 плакат, то видно, что все операции естественного старения в условиях цеха, которые идут по заводскому технологическому процессу, производятся именно после обработки наружных поверхностей – то есть снимают достаточно большой припуск, после чего кладут заготовку, и она лежит двое суток. Затем еще снимают припуск с внутренних поверхностей, потом с наружных и снова кладут. И поэтому мы предложили заменить операцию естественной релаксации на ультразвуковую релаксацию твердосплавным полосовым индентором по наружной поверхности. Имеется возможность создать аппаратуру и приспособление для релаксации по внутренней поверхности, хотя индентор придется существенно доработать по форме.

Председатель

Есть еще вопросы? (Нет).

Согласны ли члены Совета сделать технический перерыв? (Да)

Объявляется технический перерыв на 4 минуты.

Председатель

Продолжаем заседание Совета. Слово предоставляется научному руководителю работы д.т.н., профессору **Киселеву Евгению Степановичу**.

д.т.н., профессор Киселев Е.С.

Уважаемые коллеги! Я хотел бы обратить внимание, что вопросы, которые задавались защищаемому аспиранту, сводились к тому, что всё известно, остаточные напряжения влияют на усталостную прочность и всё это связано с наклёпом. Однако, в последние годы в конструкциях современных машин конструкторы всё больше и больше создают такие детали, которые после снятия со станка в ходе обработки вследствие сформированных остаточных напряжений меняют свою пространственную форму и для сборки просто не подходят. Учитывая то, что такие детали в основном изготавливаются из труднообрабатываемых материалов, отличающимися особыми теплофизическими свойствами, например, титановые сплавы обладают в 5 раз меньшей теплопроводностью, чем сталь. Все остаточные напряжения, которые формируются в поверхностном слое, вызывают коробление детали, поэтому с ними приходится бороться. Например, на предприятии ООО ИПК «ХАЛТЕК», деталь размером чуть больше листа А4, изготавливаемая из титанового сплава ВТ6, в ходе длительной обработки настолько часто подвергается измерениям, что стоимость изготовления такой детали составляет один миллион рублей из-за сложности технологического процесса обработки таких нежестких деталей. Наш аспирант попытался затронуть эту проблему и в ходе работы над диссертацией, мне показалось, что он

достиг определенного достаточно высокого научного уровня, показал себя способным самостоятельно ставить научные задачи, проводить исследования и в целом, я считаю, что его диссертация вполне соответствует специальности 05.02.08, обладает актуальностью, научной новизной, практической ценностью, а сам соискатель достоин того, чтобы ему присвоить степень кандидата технических наук.

(Отзыв прилагается).

Председатель

Ученому секретарю совета предоставляется слово для оглашения заключения организации, где выполнялась работа и отзыва ведущей организации.

Ученый секретарь оглашает заключение организации, где выполнялась работа.

Ученый секретарь

Уважаемые коллеги! В диссертационный совет поступило заключение Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Ульяновский государственный технический университет», подписанное заведующим кафедрой «Технология машиностроения» Веткасовым Н.И. и заведующим кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты» Табаковым В.П. и утвержденный проректором по научной работе Ярушкиной Н.Г. В заключении отмечается актуальность работы, степень достоверности результатов исследований, научная новизна и практические результаты работы. Делается заключение, что диссертация Благовского О.В. является целостной и завершенной научной работой, посвященной решению актуальной научно-технической проблемы и соответствуют требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней и званий.

Поставленные в работе задачи раскрыты достаточно полно и последовательно, выводы и рекомендации обоснованы. Новые научные результаты, полученные диссертантом, имеют существенное значение для науки и практики. Основные положения диссертационной работы в достаточной мере отражены в многочисленных публикациях (36 наименований), в том числе в пяти публикациях изданий из перечня ВАК, и доложены на научно-технических конференциях и семинарах различного уровня.

Работа Благовского О.В. соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 – Технология машиностроения.

Диссертация «Управление формированием остаточных напряжений в ответственных деталях при их изготовлении с использованием ультразвуковых колебаний» Благовского О.В. рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 – «Технология машиностроения».

Заключение принято на совместном заседании кафедр «Технология машиностроения» и «Металлорежущие станки и инструменты». Присутствовали на заседании 21 чел. Результаты голосования: «за» - 21 чел., «против» - 0 чел., «воздержались» - 0 чел., протокол заседания № 368 от «16» декабря 2014 г. Замечаний нет.

(Заключение прилагается)

Председатель

Имеются ли вопросы по заключению? (Нет)

Ученый секретарь зачитывает отзыв ведущей организации.

Ученый секретарь

В диссертационный совет поступил отзыв ведущей организации на диссертационную работу Благовского О.В. Отзыв составлен д.т.н., профессором Волковым Д.И., заведующим кафедрой «Мехатронные системы и процессы формообразования им. С.С. Силина» ФГБОУ ВПО «Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П.А. Соловьева» и утвержден ректором университета, д.т.н., профессором Полетаевым В.А. В отзыве отмечается актуальность темы диссертации, характеризуется структура и содержание диссертации, анализируются основные научные результаты и их значимость для науки и производства, приводятся рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы и приводятся три замечания: разработанные математические модели не учитывают зависимость теплофизических свойств (модуль Юнга, коэффициент Пуассона, предел текучести и т.д.) материалов контактирующих объектов (в частности заготовки) от температуры. Все это в определенной степени влияет на результаты расчета технологических остаточных напряжений и коэффициента наследования; отсутствуют конкретные математические модели, связывающие элементы режима предварительной комбинированной обработки точением и ультразвуковым твердосплавным выглаживанием и значение усталостной прочности (предела выносливости) полученных деталей с учетом процесса технологического наследования; имеющиеся в первой главе настоящей диссертации зависимости (1.4) и (1.5) связывают величину усталостной прочности со значением технологических остаточных напряжений для заготовок из титанового сплава BT3-1 и жаропрочных сплавов ХН35ВТЮ и ХН77ТЮР, в то время как Благовским О. В. в качестве типовых представителей различных групп обрабатываемости рассматриваются еще и стали 30ХГСА, 40Х13, 07Х16Н6 и титановый сплав BT9. Необходимые данные для расчета предела выносливости для этих материалов в диссертации отсутствуют.

Сформировано следующее заключение: диссертация Благовского О. В. является целостной и завершенной научной работой, посвященной решению актуальной научно-технической проблемы повышения эффективности процессов механической обработки путем управления формированием технологических

остаточных напряжений с использованием энергии ультразвукового поля и рационального учета процесса технологического наследования.

Поставленные в работе задачи раскрыты достаточно полно и последовательно, выводы и рекомендации обоснованы. Новые научные результаты, полученные диссертантом, имеют существенное значение для науки и практики. Основные положения диссертационной работы в достаточной мере отражены в многочисленных публикациях, в том числе в пяти публикациях в изданиях из перечня ВАК, и доложены на научно-технических конференциях и семинарах различного уровня.

Работа Благовского О. В. по актуальности, научно-техническому уровню, степени обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, их достоверности и новизне, значению для теории и практики соответствует п. 9-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013г.

Диссертация соответствует критериям, установленным Положением о порядке присуждения учёных степеней и званий и требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 – Технология машиностроения.

Отзыв на диссертацию и автореферат обсужден и одобрен на заседании кафедры «Мехатронные системы и процессы формообразования им. С.С. Силина» ФБГОУ ВПО «Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П.А. Соловьева» «13» ноября 2015 г., протокол № 6-15.

(Отзыв прилагается)

Председатель

Имеются ли вопросы по отзыву? (Нет) На автореферат диссертации поступило 15 отзывов, все они положительные. Согласны ли члены Совета заслушать обзор отзывов или зачитать их полный текст? (Предлагается ограничиться обзором поступивших на автореферат отзывов)

Слово для обзора отзывов, поступивших на диссертацию, предоставляется **ученому секретарю совета.**

Ученый секретарь зачитывает обзор отзывов.

(Отзывы прилагаются).

Ученый секретарь

1. ФГБОУ ВПО «Кузбасский государственный технический университет», подписан профессором кафедры, д.т.н., профессором Блюменштейном В.Ю. Замечания: дискуссионным является принятие допущения о суперпозиции зон наклепа. Следует отметить, что зона наклепа (упрочнения) не является зоной действия остаточных напряжений; а втор использует термин поверхностно-пластического деформирования (ППД) (стр. 7); в действительности, ППД – это поверхностное пластическое деформирование; в процессе изложения автор вводит обозначения и индексы, но не приводит их расшифровку. Например, стр. 7: часть выражения приведена без расшифровки $\sigma_{i+1}^{TC}(h_a)$; то же и в выра-

жениях (7) и (8), на стр. 10 используется термин УЗТВ без соответствующего пояснения и др.;

2. ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», подписан зав. кафедрой, д.т.н., профессором Братаном С.М. Замечания: в материалах автореферата не отражено, какие именно математические модели составляют научную новизну работы (стр. 4), что затрудняет возможность оценить правильность их построения; в работе не показано влияние предлагаемых способов обработки на точность и шероховатость обрабатываемой поверхности; в автореферате не отражено, как осуществляется «управление формированием остаточных напряжений...»;

3. ОАО «Автодизель», подписан и.о. технического директора Гибадулиным А.Н. Замечания: следует отметить отсутствие в работе исследований и рекомендаций для широко применяемых в двигателестроении деталей из легированных сталей;

4. ФГБОУ ВО «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», подписан профессором кафедры, д.т.н., профессором Козочкиным М.П. Замечания: в реферате нет схемы ультразвукового индентора, нет данных по его частному диапазону, амплитуде вибраций и направлению воздействия на поверхность; в реферате ничего не говорится о преимуществах и недостатках применения полосового индентора. Дает ли он какие-либо преимущества по сравнению с известными методами выглаживания с применением ультразвуковых колебаний. Эту информацию было необходимо дать в реферате, хотя бы в краткой форме; при построении зависимостей величин остаточных напряжений от режимов обработки совершенно не учитывается влияние износа режущего инструмента. Это имеет отношение и к шлифованию, и к точению

5. ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.», подписан профессором кафедры, д.т.н., профессором Королевым А.В. Замечания: автор пишет об эффективности предлагаемых способов и устройств, но в разделе «патенты» нет ни одного устройства, который использовался бы для устранения остаточных напряжений. Поэтому нет представления о том, на каком оборудовании реализуются данные способы; по автореферату не понятно, как УЗ релаксация с использованием полосового твердосплавного индентора отличаются от аналогичных методов УЗ релаксации без его использования; возвращаясь к теме патентов, можно заметить, что все способы, основанные на комбинированной обработке, включают операции поверхностного деформирования, точения или шлифования, но об использовании воздействия ультразвуковой энергии нигде не сказано;

6. ОАО «НПО «Сатурн», подписан зам. главного технолога, д.т.н. Коряжкиным А.А. Замечания: в работе не представлены результаты исследований, проводимых на перспективных материалах для современных ГТД, например, жаропрочных никелевых сплавов; не ясно, как следует применять предлагаемую автором ультразвуковую релаксацию с использованием полосового индентора при обработке корпусных деталей или лопаток ГТД;

7. ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет», подписан профессором кафедры, д.т.н., профессором Кристалем М.Г. и доцентом кафедры, к.т.н., доцентом Агаповым С.И. Замечания: из автореферата не ясно, с помощью какого устройства обеспечивалось наложение УЗК на заготовку; автор утверждает, что исследует качество поверхностного слоя, в то время как показатели точности обработки и шероховатости поверхности в автореферате не приведены;

8. ФГБОУ ВПО «Омский государственный технический университет», подписан профессором кафедры, д.т.н., профессором Кушнером В.С. Замечания: не представлена схема (технологическая наладка) рассматриваемой диссертантом лезвийной обработки с наложением ультразвукового поля путем пластической деформации твердосплавным индентором; наряду со сведениями о напряжениях целесообразно было бы представить сведения о деформациях (короблении) поверхности, вызванных этими напряжениями; не представлены сведения о действительных характеристиках сопротивления обрабатываемых сплавов пластическими деформациями при резании и пластическом деформировании с наложением ультразвуковых колебаний;

9. ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», подписан зам. зав. кафедрой, д.т.н., профессором Макаровым В.Ф. Замечания: в автореферате в разделе основных положений, составляющих научную новизну, не раскрыты конкретно установленные автором новые закономерности и новые взаимосвязи между режимами обработки и образующимися ТОН; в методической части работы не приведены данные по применяемому оборудованию и инструменту для точения, шлифования, УЗ обработки, нет объяснения выбранным режимам обработки сталей и сплавов; в четвертой главе указывается, что повышение производительности происходит за счет сокращения машинного времени механической обработки, что в тексте автореферата отсутствует;

10. ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.», подписан профессором кафедры, д.т.н., профессором Сальниковым А.Н. Замечания: в автореферате говорится о рассчитанных по зависимостям второй главы эпюрах остаточных напряжений и коэффициента на следования, приводятся данные о результатах расхождения между расчетными и экспериментальными данными, однако никакого графического материала, иллюстрирующего эту информацию, не приведено; отсутствует схема и характеристики установки для комбинированной обработки точением и ультразвуковым твердосплавным выглаживанием; в качестве объекта для расчета ожидаемого экономического эффекта выбран стакан из титанового сплава BT22, в то время как среди рассматриваемых в диссертации титановых сплавов есть только BT3-1 и BT9;

11. ФГБОУ ВО «Приокский государственный университет», подписан д.т.н., профессором Степановым Ю.С. Замечания: рассматриваемая работа только выиграла бы, если бы автор вместо описания и констатации полученных зависимостей, предложил бы более углубленную интерпретацию физических

процессов, обуславливающих появление тех или иных остаточных напряжений и характера эпюр их распределения по глубине;

12. ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», подписан зав. кафедрой, д.т.н., профессором Тамаркиным М.А. Замечания: недостаточно обоснована возможность использования зависимостей В.М. Смелянского для определения площади контакта сферического индентора с цилиндрической заготовкой для абразивного зерна; в автореферате не отражен учет особенностей обрабатываемого материала при использовании технологических рекомендаций автора;

13. ПАО «КАМАЗ», подписан главным технологом, к.т.н. Хисамутдиновым Р.М.; и Набережночелнинского института (филиала) ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», подписан профессором кафедры, д.т.н., профессором Звездиным В.В. Замечания: автором уделено слишком много внимания описательной части диссертационной работы во вред конкретному представлению новых научных результатов;

14. Волжский институт строительства и технологий (филиал) ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет», подписан зав. кафедрой, д.т.н., профессором Шумячером В.М. Без замечаний;

15. ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», г. Тула, подписан профессором кафедры, д.т.н., профессором Ямниковым А.С. Без замечаний.

Председатель

Слово для ответа на замечания по заключению и отзывам предоставляется соискателю.

Соискатель

Во-первых, хотелось бы поблагодарить всех приславших отзывы на автореферат за проделанную трудоёмкую работу. С большинством замечаний я согласен, есть замечания, которые будут учтены в ходе проведения дальнейшей работы, однако, на некоторые замечания хотелось бы ответить расширенно. Следует ли мне зачитывать сами замечания полностью?

Председатель

Нет, достаточно назвать автора отзыва и номер замечания.

Соискатель

На первое замечания В.Ю. Блюменштейна хотелось бы отметить, что принцип суперпозиции зон наклепа принимается многими учеными как. Также известно, что наклеп характерен именно для поверхностного слоя заготовки, в котором остаточные напряжения оказывают наибольшее влияние на эксплуатационные свойства деталей машин.

Хотелось бы объединить второе замечание Братана С.М. и второе замечание Кристаля М.Г., которое также прозвучало и в вопросах членов Совета, и ответить, что проведенный нами анализ научно-технической и патентной лите-

ратуры показал, что при одинаковых значениях шероховатости поверхностного слоя, наибольшее влияние на эксплуатационные свойства деталей машин наибольшее влияние оказывают физико-механические параметры поверхностного слоя, такие как технологические остаточные напряжения и фазовый состав. С учетом того, что окончательная обработка, в частности шлифование, в нашем случае производилась с неизменными элементами режима, можно говорить о том, что шероховатость поверхностного слоя образцов оставалась одинаковой. Соответственно, значительного влияния на эксплуатационные свойства она уже не оказывала, поэтому необходимости в дополнительном ее изучении в ходе диссертационных исследований не возникло.

Далее хотелось бы ответить на два замечания А.В. Королёва о патентах. В силу краткости названия патентов, невозможно уместить в нем все особенности предлагаемых способов. Следует отметить, что все приведенные в разделе патенты связаны с обработкой тонкостенных и маложестких заготовок и нацелены на направленное формирование заданного уровня параметров качества поверхностного слоя с использованием энергии ультразвуковых колебаний.

Хотелось бы ответить на третье замечание А.Н. Сальникова, что несмотря на некоторые отличия в химическом составе титанового сплава ВТ22, его физико-механические свойства приближенно соответствуют свойствам исследуемых нами титановых сплавов ВТ3-1 и ВТ9. Кроме того, проведенные исследования эффективности ультразвуковой релаксации полосовым индентором показали, что скорость релаксации для этих сплавов приблизительно одинакова, поэтому, на наш взгляд, допустимо взять в качестве объекта для внедрения результатов диссертационных исследований стакан из высокопрочного титанового сплава ВТ22, который также как и исследуемые нами материалы является сплавом ($\alpha+\beta$)-класса.

Председатель

Уважаемые члены Совета, в процессе нашей работы пришли отзывы, в том числе отзыв на автореферат Благовского О.В. из ФГБОУ ВПО «Новгородский государственный технический университет им. Ярослава Мудрого», подписан д.т.н., профессором Емельяновым В.Н. Я спрашиваю вашего согласия зачитать его и включить этот отзыв. (Предлагается зачитать и включить отзыв) В отзыве имеется одно замечание: недостатком представленной работы является отсутствие среди рассматриваемых параметров качества поверхностного слоя заготовок, подвергнутых комбинированной обработке точением и твердосплавным выглаживанием с последующим шлифованием, степени и глубины наклепанного слоя.

Соискатель

Разрешите ответить на это замечание и обратить ваше внимание на третий плакат. Как уже упоминалось, проведенный анализ научно-технической и патентной литературы показал, что на усталостную прочность и коррозионную стойкость в наибольшей степени оказывают влияние технологические остаточные напряжения и структурно-фазовый состав. При этом параметры

наклепа оказывают существенно меньшее воздействие на эти эксплуатационные свойства. Кроме того, параметры наклепа оказывают неоднозначное влияние: для пластичных и мягких материалов наклеп может улучшать эксплуатационные свойства, а для твердых и хрупких – ухудшать их. Поэтому параметры наклепа нами не рассматривались.

Председатель

Слово для отзыва предоставляется официальному оппоненту - **д.т.н., профессору Носенко Владимиру Андреевичу.**

д.т.н., профессор Носенко В.А.

Уважаемые члены Совета, уважаемый председатель! Во-первых я хотел бы поблагодарить за предоставленную возможность участвовать в обсуждении данной диссертации в качестве официального оппонента. В соответствии с требованиями ВАК и практикой, принятой в Совете мой отзыв содержит восемь разделов и если вы не возражаете, я его дословно зачитываю и по возможности сделаю небольшие сокращения.

Первая часть – это структура и объем работы. Здесь указано, сколько в диссертации страниц, рисунков и таблиц. Во введении обоснована актуальность работы, её практическая значимость, сформулированы основные положения, выносимые на защиту. В первой главе проведен анализ патентной и научно-технической информации, которая подчеркивает актуальность данной темы, показывает существенное влияние состояния поверхностного слоя деталей машин на их основные эксплуатационные свойства, а также зависимость последних от технологии механической обработки заготовок. Доказана возможность воздействия на характеристики состояния поверхностного слоя и на эксплуатационные свойства деталей путем рационального использования процесса технологического наследования. Сформулированы цели и задачи работы.

Во второй главе рассмотрен процесс формирования ТОН на операциях точения и шлифования и при комбинированной обработке. Предложены математические модели для определения величины технологических остаточных напряжений с учетом технологического наследования, а также расчета коэффициента наследования. Результаты экспериментов обчислены методами математической статистики, дисперсионным анализом определена достоверность экспериментов; все полученные цифры находятся в допустимых пределах.

В третьей главе изложены методика и результаты экспериментальных исследований. Определение контролируемых параметров проводилось на современном оборудовании неразрушающими методами. Выявлены закономерности изменения элементов режима комбинированной обработки на технологические остаточные напряжения и фазовый состав поверхностного слоя. Определены коэффициенты наследования, характер изменения которых по глубине подтверждает гипотезы, выдвинутые во второй главе диссертации. Показана существенная эффективность ультразвуковых колебаний, позволяющей снижать величину остаточных напряжений с достаточно высокой скоростью (до 160

МПа/мин). Подобные результаты демонстрируют явное превосходство ультразвуковой релаксации.

В четвертой главе представлены технологические рекомендации по направленному формированию параметров качества поверхностного слоя деталей из труднообрабатываемых материалов. Указана типовая последовательность выполнения технологических операций. Приведены результаты опытно-промышленной апробации результатов теоретико-экспериментальных исследований. В качестве объекта для внедрения автором работы выбран стакан из сплава ВТ22. Данная деталь входит в систему управления закрылками перспективного транспортного самолета Ил-76МД-90А. Приведен расчет ожидаемого экономического эффекта, который показывает, что даже несмотря на достаточно небольшую программу выпуска (84 детали), экономический эффект составил около 100 тыс. руб.

В заключении изложены основные результаты исследований и показаны пути дальнейшего их использования для совершенствования и разработки новых технологий механической обработки заготовок. Список использованной литературы содержит 108 публикаций, из которых 16 – зарубежные. Имеется достаточно большой объем приложений, где приведены материалы по практическому использованию научных результатов соискателя, а также состав опытов.

Актуальность темы диссертации. На сегодняшний день в России и мире все более широкое распространение получают высокоскоростные наземные и летательные транспортные средства, детали которых работают при повышенных температурах в условиях знакопеременных нагрузок и изготавливаются, чаще всего, из труднообрабатываемых сталей и сплавов. Механическая обработка заготовок из них сопряжена с повышенной теплосиловой напряженностью процесса, что становится причиной формирования нежелательных растягивающих остаточных напряжений и активизации структурно-фазовых превращений и, в конечном счете, может стать причиной снижения эксплуатационных свойств таких деталей. Это выливается в необходимость существенно снижения элементов режима обработки и увеличения продолжительности релаксации возникающих остаточных напряжений, что ведет к уменьшению производительности и увеличению себестоимости выпускаемой продукции.

Традиционно используемые методы уменьшения технологических остаточных напряжений связаны либо с большими временными (естественная релаксация), энергетическими (термическая релаксация) и материальными затратами, либо с существенными трудностями при обработке малоожесточенных заготовок.

Поэтому весьма перспективным для этого является использование энергии ультразвукового поля.

В целом, диссертация выполнена на достаточном научно-техническом уровне, соответствующем мировым достижениям в этой предметной области. Реализация цели и решение поставленных в работу задач обеспечено применением современных методов исследований, базирующихся на основных положениях технологии машиностроения, механики поверхностного пластического

деформирования, физики твердого тела, и т.д. В экспериментальных исследованиях использованы современные средства автоматизации измерения технологических остаточных напряжений и оценки структурно-фазовых превращений в поверхностном слое. Научная ценность определяется разработанными методами, математическими моделями и зависимостями, а также результатами теоретико-экспериментальных исследований наследования технологических остаточных напряжений и фазового состава материала поверхностного слоя.

Результаты теоретико-экспериментальных исследований эффективности предложенных новых способов комбинированной обработки представлены в восьми патентах на изобретения, что является немаловажным.

Практическая ценность работы: предложены новые эффективные способы формирования заданного уровня технологических остаточных напряжений и фазового состава поверхностного слоя с использованием энергии ультразвукового поля и индентора, имеющего полосовой контакт с обрабатываемой заготовкой, а также разработаны технологические рекомендации по направленному формированию заданных параметров качества поверхностного слоя.

Результаты исследований внедрены в учебный процесс подготовки магистрантов ФБГОУ ВПО «Ульяновский государственный технический университет» и переданы для использования на два предприятия: АО «Ульяновский механический завод» и ЗАО «Авиастар-СП». Внедрение данных результатов на основании анализа, сделанного автором и подтвержденного специалистами предприятия «Авиастар-СП», свидетельствует о том, что применение данного метода позволяет в 70 раз сократить время на изготовление одной из деталей самолета Ил-76МД-90А.

По материалам выполненных исследований опубликовано 28 научных работ, в том числе 5 в рецензируемых научных журналах. Отдельные результаты исследований неоднократно докладывались на международных и всероссийских научно-технических конференциях в период с 2008 по 2014 гг. Это дает основание считать, что диссертация прошла необходимую апробацию и в полной мере отражена в публикациях.

Шестой раздел посвящен оформлению материалов диссертации. Диссертация написана в целом на хорошем уровне, снабжена достаточным количеством иллюстративного материала, ссылками на авторов и источники, откуда заимствованы отдельные результаты. Автореферат в полном объеме отражает содержание диссертационной работы и позволяет ознакомиться со всеми основными результатами, полученными автором, а также выводами и рекомендациями, вытекающими из выполненных исследований.

Замечания:

– В первой главе представлена классификация труднообрабатываемых материалов, состоящая из восьми групп, в то время как в диссертационных исследованиях рассматриваются только четыре (1-3 и 7 группы). При этом в стороне остаются перспективные высоколегированные жаропрочные сплавы на основе никеля;

– В математических моделях, используется большое число параметров, значения которых изменяются с повышением температуры. С учетом того, сле-

довало бы в рассматриваемых моделях вводить дополнительные элементы, которые позволили бы учесть изменение данных параметров и представить их как функции от температуры;

– Неясно, как в математических моделях для определения величины остаточных напряжений с учетом технологического наследования и расчета коэффициента наследования, представленных в главе 2, учитываются элементы режима механической обработки. Если автор предполагает для расчета остаточных напряжений использовать зависимости других авторов, необходимо сделать соответствующие ссылки;

– Для окончательной обработки образцов всех металлов шлифованием нельзя использовать круг зернистостью F8 – круг с чрезвычайно крупным зерном. Для шлифования титановых сплавов использован наихудший вариант – круг из электрокорунда;

– Вызывает сомнение очень малая величина коэффициента вариации выборки измерений параметра σ_z . Из расчета по данным из табл. 3.7 получилось, что коэффициент вариации равен 1,8%, соответственно, низкая дисперсия.

– Не во всех таблицах учтены знаки остаточных напряжений.

– Относительно малый объем второй главы – по сравнению с первой и третьей она в два раза меньше. Автору следовало бы, с одной стороны, рациональнее переработать обзорный и экспериментальный материал, обобщить некоторые данные, с другой стороны, расширить аналитическую главу, добавив её дополнительными схемами и графиками.

Заключение: работа выполнена на высоком научно-техническом уровне. Степень апробации результатов работы путем опубликования основных положений в печати, выступлений на научно-технических конференциях и передачи материалов диссертации для внедрения в действующее производство достаточна. Общая подготовленность и научный потенциал соискателя весьма высок. Сделанные выше замечания не снижают важности полученных результатов работы.

Таким образом, можно сделать вывод, что диссертация соответствует всем требованиям, предъявляемым п. 9-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, а автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 – Технология машиностроения.

(Отзыв прилагается).

Председатель

Соискателю предоставляется слово для ответа на замечания оппонента.

Соискатель

Во-первых, хотелось бы поблагодарить Владимира Андреевича за проделанную работу. Со всеми замечаниями я полностью согласен. Хотелось бы ответить по третьему замечанию, что в настоящее время существует достаточно большое количество математических моделей и зависимостей, позволяющих рассчитывать технологические остаточные напряжения, формирующиеся в ходе механической обработки заготовок. В частности, достаточно часто для этих

целей используются модели, полученные Урывским Ф.П., Коротиним Б.С., а также Безъязычным В.Ф. и сотрудниками его школы. В дальнейшем с нашей стороны необходимо будет расширить представленные математические модели в том числе и с помощью известных зависимостей других исследователей. По поводу материала шлифовального круга хотелось бы сказать, что ошибочно с нашей стороны не было указано в тексте диссертации, что заготовки из титановых сплавов обрабатывались кругами из карбида кремния зеленого зернистостью F80.

Председатель

Владимир Андреевич, Вы удовлетворены ответами соискателя?

д.т.н., профессор Носенко В.А.

Да, удовлетворен.

Председатель

Слово для отзыва предоставляется официальному оппоненту - **к.т.н., доценту Головкину Валерию Викторовичу.**

к.т.н., доцент Головкин В.В.

Уважаемые коллеги, позвольте мне остановиться на основных аспектах данной работы.

Актуальность темы диссертационного исследования: в настоящее время для получения надежных деталей машин используются детали с особыми характеристиками. Обработка таких деталей вызывает серьезные затруднения, так как кроме обеспечения высокой точности необходимо обеспечивать заданный уровень параметров качества поверхностного слоя, который, как правило, обеспечивает эксплуатационные свойства ответственных деталей. Одним из перспективных методов формирования этих характеристик как раз является использование энергии ультразвуковых колебаний. Таким образом, тема диссертационной работы Благовского О.В. является актуальной и имеет большое значение для науки и практики.

Научный уровень и практическая ценность диссертации определяется следующими положениями: на основании выполненных теоретико-экспериментальных исследований разработана методология и математические модели и зависимости, отражающие основные процессы формирования качественных характеристик поверхностного слоя при обработке заготовок из труднообрабатываемых материалов; разработаны методы оценки остаточных напряжений с учетом технологической наследственности и влияния режимов комбинированной обработки; проведены экспериментальные исследования эффективности ультразвукового воздействия на качество поверхностного слоя.

Несомненный практический интерес представляют результаты исследования влияния ультразвука на формирование технологических остаточных напряжений в поверхностном слое деталей из труднообрабатываемых материалов с учетом технологического наследования, на основе которых разработаны но-

вые патентозащищенные способы обработки шлифованием и поверхностным пластическим деформированием, позволяющие повысить качество получаемых деталей. Практическая значимость основных положений диссертации подтверждается расчетом экономической эффективности от внедрения на ЗАО «Авиа-стар-СП» разработанного технологического процесса, а также использованием полученных результатов в учебном процессе ФГБОУ ВПО «Ульяновский государственный технический университет». Приведенные материалы достаточно убедительно свидетельствуют о практической направленности проведенных исследований и возможности более широкого использования их результатов. Результаты диссертационной работы рекомендуется использовать на предприятиях авиационной промышленности, в машиностроении, судостроении и в других областях, а также в учебном процессе технических ВУЗов при подготовке специалистов в области технологии машиностроения.

Публикации и апробация работы. Как отмечалось, имеется 5 публикаций в рецензируемых журналах, а также получены 8 патентов, которые свидетельствуют о высоком научно-техническом уровне данной работы. Также имеется несколько десятков публикаций в других изданиях. Это дает основание считать, что данная диссертационная работа прошла необходимую апробацию и имеет соответствующие отражения в публикациях.

Оформление материалов диссертации и автореферата в целом соответствуют установленным требованиям.

Основные замечания по работе:

- В таблице на странице 15 значения предела выносливости указаны не в МПа, а, наверное, в кг/мм²;

- В работе не рассмотрена возможность замены операции шлифования чистовым точением, что позволило бы получить в поверхностном слое сжимающие остаточные напряжения и, соответственно, обеспечить высокие эксплуатационные характеристики деталей;

- Применение предложенной технологии приводит к повышению качества поверхностного слоя и, следовательно, к возможному увеличению ресурса работы деталей при их эксплуатации в условиях переменных нагрузок. А это может позволить дополнительно получить значительный экономический эффект;

- Из представленных в 3 главе материалов не ясно, за счет чего при комбинированной обработке (например, точении и ультразвуковом выглаживании) около поверхности (до 10 мкм) образуются растягивающие остаточные напряжения.

Закключение: учитывая актуальность выполненных исследований, научную новизну и практическую значимость полученных результатов считаю, что диссертационная работа представляет собой научно-квалификационную работу, соответствующую требованиям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней, соответствует специальности 05.02.08 – Технология машиностроения, а ее автор, Благовский О.В., заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Спасибо за внимание!

(Отзыв прилагается).

Председатель

Слово для ответа на замечания оппонента предоставляется соискателю.

Соискатель

Во-первых, хотелось бы поблагодарить Валерия Викторовича за предоставленный отзыв и отметить, что со всеми замечаниями по диссертационной работе я согласен и дать пояснения по четвертому замечанию. Образование растягивающих технологических остаточных напряжений около поверхности, на наш взгляд, связано с появлением перенаклепа вследствие обработки поверхностным пластическим деформированием. Следует отметить, что данная часть поверхностного слоя, в которой сформировались растягивающие остаточные напряжения, будет удалена в ходе последующего шлифования и в данном случае нас интересуют остаточные напряжения, сформированные на глубине, превышающей припуск под последующую обработку. Таким образом, увеличение усилия прижима индентора позволит создать большие сжимающие остаточные напряжения на глубине, при этом создав растягивающие остаточные напряжения, не приведет к негативным последствиям, так как эти растягивающие напряжения будут удалены вместе с припуском и никакого влияния на величину остаточных напряжений в готовой детали не окажут.

Председатель

Валерий Викторович, Вы удовлетворены ответом?

к.т.н., доцент Головкин В.В.

Да, удовлетворен.

Председатель

Кто-нибудь из членов Совета желает выступить? Пожалуйста, Николай Васильевич.

Председатель

Кто хочет выступить?

д.т.н., профессор Носов Н.В.

Уважаемые коллеги! Я очень рад участвовать в работе совета и хочу поблагодарить председателя за приглашение. Представленная диссертация оказалась очень интересной и я хотел бы заметить, что в школе профессора Б.А. Кравченко прибыло. Работа соискателя очень четко и грамотно примыкает к этой школе и ее было очень приятно слушать. Особенно интересной была часть об остаточных напряжениях и их влиянии на усталостную прочность. Я всегда считал три школы – это школа профессора Д.Д. Папшева, школа профессора Б.А. Кравченко, к которой примыкает В.Ф. Безъязычный, и школа профессора А.М. Сулимы, установившая существенное влияние шероховатости на усталостную прочность. Теперь же появилось новое направление, которое учитывает

влияние усталостных напряжений и структурно-фазового состава. На эту можно поспорить и с научным руководителем, и с диссертантом, потому что я скорее бы отнес структурно-фазовые изменения к формированию остаточных напряжений. В целом, я бы поддержал эту работу. Однако хотелось бы сделать ряд замечаний по доказательной базе, которые могут быть решены диссертантом в дальнейшей своей работе. В частности, диссертант говорит только о высоте шероховатости, хотя на усталостную прочность большое влияние оказывает коэффициент концентрации напряжений, который при одинаковой шероховатости поверхности, но разных методах обработки может изменяться в несколько раз. Поэтому А.М. Сулима так много работ посвятил шероховатости поверхности и ее влиянию на усталостную прочность. Недостаточным было представление технологической наследственности через тангенциальные остаточные напряжения. Здесь я не могу согласиться, потому что осевые остаточные напряжения оказывают большую роль. Не понятно, где в модели тангенциальные остаточные напряжения, а где осевые. В моем понимании, автор изучал осевые остаточные напряжения, а говорил о тангенциальных. В длинных валах осевые остаточные напряжения оказывают большое влияние на долговечность.

Мы хорошо знаем о влиянии ультразвукового поля на остаточные напряжения, в частности, М.С. Нерубай очень много изучал это влияние. Неравномерность остаточных напряжений всегда сопровождает механическую обработку – тангенциальные напряжения могут быть растягивающие, а осевые сжимающие, как при шлифовании. Поэтому формироваться с помощью индентора должны сжимающие остаточные напряжения, а не растягивающие. Непонятно, как связать технологическую наследственность, если не связаны осевые и тангенциальные напряжения.

Кроме того, все представленные математические модели можно было бы посчитать с использованием компьютерных технологий, потому что имеется достаточно хорошая задача, которую можно решить в виде двумерного поля с формированием остаточных напряжений в двух направлениях при релаксации. Даже 70 часов никак не влияют на релаксацию остаточных напряжений. Как релаксируется в течении небольшого времени с помощью ультразвуковых колебаний? Вполне вероятно, что так и есть, но все же я считаю, что здесь есть некоторый недостаток.

В целом я бы согласился с оппонентами и со своей стороны я буду поддерживать эту работу и буду голосовать «за».

Председатель

Спасибо. Петр Михайлович Салов.

д.т.н., профессор Салов П.М.

Работа актуальная, работа интересная, затронула очень много вопросов, появилось много противоречивых мнений, однако, общая «окраска» очень хорошая. Данной тематике посвящено много работ, которые защищались в Ульяновском государственном техническом университете по направлению, которое

развивает Е.С. Киселев – направление нужное, полезное и весьма актуальное. Безусловно, работа заслуживает очень высокой оценки.

Хотелось бы остановиться на замечаниях:

- Когда идет речь о теплоте, необходимо учитывать смазочно-охлаждающую жидкость, тем более при использовании ультразвука;
- Кроме того, если речь идет об остаточных напряжениях, то надо говорить о напряжениях как первого, так и второго, и третьего рода;
- Также следует учитывать шероховатость поверхности R_z , ведь роль последней именно в глубине риски и ее влиянии на усталостную прочность. При этом рассматривать надо не только высоту неровностей, но и опорную поверхность в целом и ее влияние при циклическом нагружении;
- В работе совершенно не отражена роль стружки, например, при точении. При шлифовании этот процесс является спорным, но при точении, особенно титановых сплавов, это очень важно. Например, почему автор при точении титановых сплавов получает в основном сжимающие остаточные напряжения? Это связано с тем, что при обработке образуется элементная стружка. А раз образуется элементная стружка, то при сходе она не тянет за собой подповерхностный слой и формируются сжимающие остаточные напряжения. Вот основная причина учитывать роль стружки, что заострено в работах Кравченко, связанных с вязкими материалами, где идет сливная стружка и можно говорить об образовании растягивающих напряжений;
- Не учитывается как проявляют себя структурно-фазовые превращения;
- Не учитывается влияние полосового индентора на тепловое поле;
- В автореферате сделаны некоторые выкладки, которые нуждаются в дополнении, но это не является существенным;
- Ряд замечаний связаны с тем, что автор четко не обозначил «рамки» и основную цель работы.

Большинство этих замечаний обостряют проблемы, о которых мы все знаем – это повышение долговечности деталей, что представляется очень сложным вопросом. Но на часть из имеющихся вопросов автор ответил, что составляет большое достоинство представленной работы. Есть научная новизна, есть практическая ценность, практическая направленность. Я безусловно буду голосовать за эту работу, она этого заслуживает.

Председатель

Спасибо. Слово предоставляется Петру Федоровичу Зиброву.

д.т.н., профессор Зибров П.Ф.

Уважаемый председатель, уважаемые члены Совета! Мне работа понравилась тем, что в ней четко прослеживается перспектива. Соискатель достаточно хорошо владеет материалом, решил поставленные задачи и дальше мне видится довольно интересный вероятностный подход к оценке технологических параметров. Технология машиностроения пока недостаточно в этом направлении развита. Те математические модели, которые рассматривал соискатель работают и позволяют получать точечные характеристики и, как отметил Олег Ивано-

вич Драчев, при расширении диапазона исследований, при учете времени проведения измерений как раз вероятностные методы позволят оценить процесс в целом и дать возможность оценивать комплексные технологические параметры и дать их вероятностный разброс; получить опорную поверхность. На мой взгляд, автор уже способен это выполнить. И в этом ценность работы – он в перспективе может развивать направление в технологии машиностроения на новом «фундаменте». Тем более, сейчас существует современное программное обеспечение и если найти те рычаги, которые позволят получать эти вероятностные характеристики и тем самым расширить возможность получения оптимальных вариантов, ведь по графикам видно, что есть оптимальные значения элементов режима обработки, которые могут дать коэффициент или предел, максимально полезный в производстве. В этом отношении все данные у соискателя есть, работа интересная, полезная. Я буду ее поддерживать и голосовать «за» присуждение ученой степени кандидата технических наук по специальности «Технология машиностроения».

Председатель

Слово предоставляется Ковальногову Владиславу Николаевичу.

д.т.н. Ковальногов В.Н.

У меня сложилось положительное впечатление об этой работе. Несмотря на те недостатки и замечания, которые были высказаны, это вполне добротная научно-квалификационная работа, отвечающая требованиям ВАК к кандидатским диссертациям. Выгодно отличает работу большое число запатентованных технических решений, которые также подтверждают ее научную и практическую значимость. Я буду голосовать «за» и считаю, что члены Совета не ошибутся, если поддержат эту работу.

Председатель

Слово предоставляется Захарову Олегу Владимировичу.

д.т.н., доцент Захаров О.В.

Уважаемые коллеги! Работа произвела благоприятное впечатление, потому что, во-первых, автор сориентировался на реальные потребности производства, нашел детали и материалы, которые вызывают проблемы, требующие научного обоснования. То есть инженерных решений уже оказывается недостаточно и он восполняет возникший пробел. Во-вторых, в Саратовском государственном техническом университете на кафедре «Технология машиностроения» ведутся исследования в том же направлении и результаты хорошо коррелируются между собой. В дополнении к прозвучавшим замечаниям и пожеланиям хочется сказать, что применяется ультразвук, получается положительный технологический эффект, но не до конца раскрывается механизм воздействия именно ультразвука, что дает простор для дальнейших исследований. В целом, я работу поддерживаю.

Председатель

Кто еще хочет выступить? Нет желающих? (Нет)

Соискателю предоставляется заключительное слово.

Соискатель

Хотелось бы поблагодарить кафедру «Технология машиностроения» и лично научного руководителя Киселева Евгения Степановича за полученные мною знания, которые пригодились при написании диссертационной работы. Хотел бы поблагодарить диссертационный совет за ценные замечания, которые обязательно будут учтены при дальнейших исследованиях. Спасибо всем.

Председатель

Переходим к голосованию. Какие будут предложения по составу счетной комиссии? Поступили предложения включить в состав счетной комиссии Кириллина Ю.В., Ковальногова В.Н. и Булыжева Е.М.

Прошу голосовать. Возражений нет? (Нет) Прошу счетную комиссию приступить к работе.

д.т.н. Ковальногов В.Н.

Комиссия провела заседание, избрала председателем Ковальногова В.Н., секретарем – Кириллина Ю.В. Сейчас под роспись мы раздадим вам бюллетени для голосования, в которых необходимо путем вычеркивания ненужного оставить нужное.

(Счетная комиссия организует тайное голосование.)

Председатель

Коллеги! Продолжаем нашу работу. Слово предоставляется председателю счетной комиссии д.т.н. Ковальногову В.Н.

Оглашается протокол счетной комиссии.

(Протокол счетной комиссии прилагается).

Кто за? (Все).

Кто против? (Нет).

Кто воздержался? (Нет).

Протокол счетной комиссии утверждается единогласно.

Таким образом, на основании результатов тайного голосования (за - 18, против - 0, недействительных бюллетеней - 0) диссертационный совет Д 999.003.02 при Ульяновском государственном техническом университете признает, что диссертация **О.В. Благовского** содержит решение актуальной задачи направленного формирования технологических остаточных напряжений и фазового состава материала поверхностного слоя с использованием энергии

ультразвуковых колебаний, что имеет существенное значение для повышения эффективности изготовления заготовок ответственных деталей из труднообрабатываемых материалов, соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям (пп. 9-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней), и присуждает **Благовскому Олегу Валерьевичу** ученую степень кандидата технических наук по специальности **05.02.08 – Технология машиностроения (технические науки)**.

Председатель

У членов Совета имеется проект заключения по диссертации **О.В. Благовского**. Есть предложение принять его за основу. Нет возражений? (Нет). Принимается.

Какие будут замечания, дополнения к проекту заключения?

(Обсуждение проекта).

Есть предложение принять заключение в целом с учетом редакционных замечаний. Нет возражений? (Нет) Принимается единогласно.

Заключение объявляется соискателю.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ОБЪЕДИНЕННОГО ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
Д999.003.02 НА БАЗЕ**

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Ульяновский государственный технический университет» и федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Тольяттинский государственный университет» по диссертации
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК
аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 28.12.2015 г. № 9

О присуждении Благовскому Олегу Валерьевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Управление формированием остаточных напряжений в ответственных деталях при их изготовлении с использованием ультразвуковых колебаний» по специальности 05.02.08 «Технология машиностроения» принята к защите 28.08.2015 г., протокол № 4, объединенным диссертационным советом Д 999.003.02 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения (ФГБОУ) высшего профессионального образования (ВПО) «Ульяновский государственный технический университет», ФГБОУ ВПО «Тольяттинский государственный университет» Минобрнауки РФ по адресу 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32, действующего на основе приказа № 123/нк от 17.02.2015 г.

Соискатель Благовский Олег Валерьевич, 1987 года рождения.

В 2010 году соискатель окончил ГОУ ВПО «Ульяновский государственный технический университет». В 2013 году соискатель окончил аспирантуру на базе ФГБОУ ВПО «Ульяновский государственный технический университет». Работает инженером-конструктором 2 категории в особом конструкторском бюро АО «Ульяновский механический завод».

Диссертация выполнена в ФГБОУ ВПО «Ульяновский государственный технический университет» на кафедре «Технология машиностроения», Министерство образования и науки РФ.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Киселев Евгений Степанович, профессор кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВПО «Ульяновский государственный технический университет».

Официальные оппоненты:

1. Носенко Владимир Андреевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология и оборудование машиностроительных производств» Волжского политехнического института (филиал) ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет»,

2. Головкин Валерий Викторович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Транспортные процессы и технологические комплексы» ФГБОУ ВПО «Самарский государственный технический университет»

Дали свои положительные отзывы на диссертацию и автореферат.

Ведущая организация – ФГБОУ ВПО «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева», г. Рыбинск Ярославской области, в своем положительном заключении, подписанном доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой «Мехатронные системы и процессы формообразования им. С.С. Силина» Волковым Д.И. и утвержденным ректором университета, доктором технических наук, профессором Полетаевым В.А., указала, что диссертация является целостной и завершенной научной работой, посвященной решению актуальной научно-технической проблемы повышения эффективности процессов механической обработки путем управления формированием технологических остаточных напряжений с использованием энергии ультразвукового поля и рационального учета процесса технологического наследования. Поставленные в работе задачи раскрыты достаточно полно и последовательно, выводы и рекомендации обоснованы. Новые научные результаты, полученные диссертантом, имеют существенное значение для науки и практики. Диссертационная работа «Управление формированием остаточных напряжений в ответственных деталях при их изготовлении с использованием ультразвуковых колебаний» по актуальности, научно-техническому уровню, степени обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, их достоверности и новизне, значению для теории и практики соответствует пп. 9–14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 – Технология машиностроения.

Соискатель имеет 28 научных статей и 8 патентов на изобретения по теме диссертации (общий объем публикаций составляет 18,3 печатного листа, из них авторских – 7,3 п.л.), в том числе 5 работ, опубликованных в ведущих рецензируемых научных изданиях (общий объем публикаций составляет 2,9 печатного листа, из них авторских – 1,2 п.л.).

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Киселев Е.С., Романов С.А., Лексин Е.Н., Благовский О.В. Направленное формирование остаточных напряжений путем использования технологических возможностей комбинированной обработки заготовок [Текст] / Вестник Саратовского государственного технического университета. – Саратов: СГТУ. – 2009. – № 3. – С. 103–105.

2. Киселев Е.С., Благовский О.В. Определение остаточных напряжений в поверхностном слое деталей с учетом технологической наследственности [Текст] / Вестник машиностроения. – 2011. – № 6. – С. 33–36.

3. Киселев Е.С., Благовский О.В. Применение ультразвуковой обработки при изготовлении ответственных деталей [Текст] / Технология машиностроения. – 2011. – № 5. – С. 33–37.

4. Киселев Е.С., Лексин Е.Н., Романов С.А., Благовский О.В. Возможности комбинированной обработки в формировании заданного уровня остаточных напряжений в поверхностном слое [Текст] / СТИН. – 2012. – № 2. – С. 25–29.

5. Киселев Е.С., Благовский О.В. Технологические возможности ультразвуковой релаксации остаточных напряжений полосовым твердосплавным индентором [Текст] / Упрочняющие технологии и покрытия. – 2012. – № 3. – С. 9–14.

На автореферат диссертации поступило 16 отзывов, все отзывы положительные:

1. ФГБОУ ВПО «Кузбасский государственный технический университет», подписан профессором кафедры, д.т.н., профессором Блюменштейном В.Ю. Замечания: «Дискуссионным является принятие допущения о суперпозиции зон наклепа. Следует отметить, что зона наклепа (упрочнения) не является зоной действия остаточных напряжений»; «Автор использует термин поверхностно-пластического деформирования (ППД) (стр. 7); в действительности, ППД – это поверхностное пластическое деформирование»; «В процессе изложения автор вводит обозначения и индексы, но не приводит их расшифровку. Например, стр. 7: часть выражения приведена без расшифровки $\sigma_{i+1}^{TC}(h_a)$; то же и в выражениях (7) и (8), на стр. 10 используется термин УЗТВ без соответствующего пояснения и др.»; **2. ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»**, подписан зав. кафедрой, д.т.н., профессором Братаном С.М. Замечания: «В материалах автореферата не отражено, какие именно математические модели составляют научную новизну работы (стр. 4), что затрудняет возможность оценить правильность их построения»; «В работе не показано влияние предлагаемых способов обработки на точность и шероховатость обрабатываемой поверхности; в автореферате не отражено, как осуществляется управление формированием остаточных напряжений»; **3. ОАО «Автодизель»**, подписан и.о. технического директора Гибадулиным А.Н. Замечания: «Следует отме-

тить отсутствие в работе исследований и рекомендаций для широко применяемых в двигателестроении деталей из легированных сталей»; **4. ФГБОУ ВПО «Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого»**, подписан профессором кафедры, д.т.н., профессором Емельяновым В.Н. Замечания: «Недостатком представленной работы является отсутствие среди рассматриваемых параметров качества поверхностного слоя заготовок, подвергнутых комбинированной обработке с последующим шлифованием, степени и глубины наклепанного слоя»; **5. ФГБОУ ВО «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»**, подписан профессором кафедры, д.т.н., профессором Козочкиным М.П. Замечания: «В реферате нет схемы ультразвукового индентора, нет данных по его частному диапазону, амплитуде вибраций и направлению воздействия на поверхность»; «В реферате ничего не говорится о преимуществах и недостатках применения полосового индентора. Дает ли он какие-либо преимущества по сравнению с известными методами выглаживания с применением ультразвуковых колебаний. Эту информацию было необходимо дать в реферате, хотя бы в краткой форме»; «При построении зависимостей величин остаточных напряжений от режимов обработки совершенно не учитывается влияние износа режущего инструмента. Это имеет отношение и к шлифованию, и к точению»; **6. ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.»**, подписан профессором кафедры, д.т.н., профессором Королевым А.В. Замечания: «Автор пишет об эффективности предлагаемых способов и устройств, но в разделе «патенты» нет ни одного устройства, который использовался бы для устранения остаточных напряжений. Поэтому нет представления о том, на каком оборудовании реализуются данные способы»; «По автореферату не понятно, как УЗ релаксация с использованием полосового твердосплавного индентора отличаются от аналогичных методов УЗ релаксации без его использования»; «Возвращаясь к теме патентов, можно заметить, что все способы, основанные на комбинированной обработке, включают операции поверхностного деформирования, точения или шлифования, но об использовании воздействия ультразвуковой энергии нигде не сказано»; **7. ОАО «НПО «Сатурн»**, подписан зам. главного технолога, д.т.н. Коряжкиным А.А. Замечания: «В работе не представлены результаты исследований, проводимых на перспективных материалах для современных ГТД, например, жаропрочных никелевых сплавов»; «Не ясно, как следует применять предлагаемую автором ультразвуковую релаксацию с использованием полосового индентора при обработке корпусных деталей или лопаток ГТД»; **8. ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет»**, подписан профессором кафедры, д.т.н., профессором Кристалем М.Г. и доцентом кафедры, к.т.н., доцентом Агаповым С.И. Замечания: «Из автореферата не ясно, с помощью какого устройства обеспечивалось наложение УЗК на заготовку»; «Автор утверждает, что исследует качество поверхностного слоя, в то время как показатели точности обработки и шероховатости поверхности в автореферате не приведены»; **9. ФГБОУ ВПО «Омский государственный технический университет»**, подписан профессором кафедры, д.т.н., профессором Кушнером В.С. Замечания: «Не представлена схема

(технологическая наладка) рассматриваемой диссертантом лезвийной обработки с наложением ультразвукового поля путем пластической деформации твердосплавным индентором»; «Наряду со сведениями о напряжениях целесообразно было бы представить сведения о деформациях (короблении) поверхности, вызванных этими напряжениями»; «Не представлены сведения о действительных характеристиках сопротивления обрабатываемых сплавов пластическими деформациями при резании и пластическом деформировании с наложением ультразвуковых колебаний»; **10. ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»**, подписан зам. зав. кафедрой, д.т.н., профессором Макаровым В.Ф. Замечания: «В автореферате в разделе основных положений, составляющих научную новизну, не раскрыты конкретно установленные автором новые закономерности и новые взаимосвязи между режимами обработки и образующимися ТОН»; «В методической части работы не приведены данные по применяемому оборудованию и инструменту для точения, шлифования, УЗ обработки, нет объяснения выбранным режимам обработки сталей и сплавов»; «В четвертой главе указывается, что повышение производительности происходит за счет сокращения машинного времени механической обработки, что в тексте автореферата отсутствует»; **11. ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.»**, подписан профессором кафедры, д.т.н., профессором Сальниковым А.Н. Замечания: «В автореферате говорится о рассчитанных по зависимостям второй главы эпюрах остаточных напряжений и коэффициента наследования, приводятся данные о результатах расхождения между расчетными и экспериментальными данными, однако никакого графического материала, иллюстрирующего эту информацию, не приведено»; «Отсутствует схема и характеристики установки для комбинированной обработки точением и ультразвуковым твердосплавным выглаживанием»; «В качестве объекта для расчета ожидаемого экономического эффекта выбран стакан из титанового сплава BT22, в то время как среди рассматриваемых в диссертации титановых сплавов есть только BT3-1 и BT9»; **12. ФГБОУ ВО «Приокский государственный университет»**, подписан д.т.н., профессором Степановым Ю.С. Замечания: «Рассматриваемая работа только выиграла бы, если бы автор вместо описания и констатации полученных зависимостей, предложил бы более углубленную интерпретацию физических процессов, обуславливающих появление тех или иных остаточных напряжений и характера эпюр их распределения по глубине»; **13. ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»**, подписан зав. кафедрой, д.т.н., профессором Тамаркиным М.А. Замечания: «Недостаточно обоснована возможность использования зависимостей В.М. Смелянского для определения площади контакта сферического индентора с цилиндрической заготовкой для абразивного зерна»; «В автореферате не отражен учет особенностей обрабатываемого материала при использовании технологических рекомендаций автора»; **14. ПАО «КАМАЗ»**, подписан главным технологом, к.т.н. Хисамутдиновым Р.М. и профессором кафедры Набережночелнинского института (филиала) ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», д.т.н., профессором Звездиным В.В. Замечания: «Автором уделено

слишком много внимания описательной части диссертационной работы во вред конкретному представлению новых научных результатов»; **15. Волжский институт строительства и технологий (филиал) ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет»**, подписан зав. кафедрой, д.т.н., профессором Шумячером В.М. Замечаний нет; **16. ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»**, подписан профессором кафедры, д.т.н., профессором Ямниковым А.С. Замечаний нет.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты являются ведущими специалистами в области технологии машиностроения, имеют научные публикации по данному направлению в рецензируемых научных изданиях, обладают достаточной квалификацией, позволяющей оценить новизну представленных на защиту результатов, их научную и практическую значимость, обоснованность и достоверность полученных выводов. В качестве ведущей организации выбран ФГБОУ ВПО «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева», так как в этом вузе выполнен значительный объем научных исследований, связанных с изучением процессов, рассматриваемых соискателем в диссертационной работе.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

установлены основные пути решения актуальной научной проблемы повышения эффективности механической обработки заготовок из труднообрабатываемых сталей и сплавов путем управления формированием остаточных напряжений в ответственных деталях при их изготовлении с использованием ультразвуковых колебаний;

разработана методика технологического обеспечения остаточных напряжений и фазового состава поверхностного слоя из труднообрабатываемых сталей и сплавов путем рационального использования энергии ультразвукового поля и с учетом технологического наследования;

доказана целесообразность использования в производственной практике установленных закономерностей и разработанных технологических рекомендаций для управления формированием технологических остаточных напряжений в поверхностном слое деталей из труднообрабатываемых сталей и сплавов в процессе их изготовления.

Теоретическая значимость исследований заключается в том, что:

разработана новая методика оценки наследования и математические модели для расчета остаточных напряжений в поверхностном слое заготовок, учитывающие раздельное влияние теплосиловой напряженности окончательной обработки и величины остаточных напряжений, сформированных в поверхностном слое в ходе обработки, предшествующей окончательной;

предложена методика определения коэффициента наследования, учитывающая влияние теплосиловой напряженности процесса обработки и физико-механических свойств обрабатываемого материала на эффективность релаксации технологических остаточных напряжений;

предложены и защищены патентами новые эффективные способы формирования заданного уровня технологических остаточных напряжений и фазового состава поверхностного слоя заготовок ответственных деталей с использованием энергии ультразвукового поля и индентора, имеющего полосовой контакт с обрабатываемой заготовкой.

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

разработаны технологические рекомендации по направленному формированию заданных параметров качества поверхностного слоя на примере остаточных напряжений и фазового состава, которые вместе с остальными материалами диссертации приняты к рассмотрению на АО «Ульяновский механический завод» и ЗАО «Авиастар-СП». Ожидаемый экономический эффект от внедрения в техпроцесс изготовления стакана 47601.1351.580.003 из титанового сплава BT22 перспективного самолета Ил-76МД-90Е составит около 100 тыс. руб.;

внедрены в учебный процесс подготовки магистрантов ФБГОУ ВПО «Ульяновский государственный технический университет» экспериментальные установки и методики исследований, разработанные соискателем в виде трёх учебно-исследовательских практических работ, включенных в учебное пособие кафедры.

Результаты диссертационного исследования Благовского О.В. могут быть использованы ведущими предприятиями аэрокосмического комплекса для повышения эффективности изготовления деталей путем механической обработки заготовок из труднообрабатываемых материалов, например, ПАО «Корпорация «Иркут», ПАО «Казанский вертолетный завод», ПАО «НАЗ «Сокол», ОАО «Пермский моторный завод», ОАО «НПО «Сатурн», ОАО «Авиакор», а также предприятиями автомобильной промышленности, занятых разработкой и изготовлением новых высокоскоростных транспортных средств, например, ОАО «Автодизель», ПАО «КАМАЗ» и др.

Достоверность результатов исследований подтверждается следующим:

для экспериментальных работ результаты получены на сертифицированном, калиброванном оборудовании, показана статистическая воспроизводимость результатов исследования, относительная погрешность которых по сравнению с аналитическими исследованиями составляла не более 24%;

теоретические исследования (**теория**) базируются на современных положениях теории резания, теплофизики процесса резания, теории дислокаций, теории твердого тела, технологии машиностроения, согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации;

идея диссертационного исследования построена на основе анализа практики обеспечения эксплуатационных свойств, постоянства формы и размеров ответственных деталей при их изготовлении, а также на обобщении передового производственного опыта обработки заготовок ответственных деталей из труднообрабатываемых материалов на предприятиях аэрокосмического комплекса;

использованы современные методы сбора и статистической обработки исходной информации;

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

Личный вклад соискателя состоит в: определении цели, задач и непосредственном выполнении научных исследований, как теоретических, так и экспериментальных; личном участии в промышленной апробации результатов исследования; обработке и интерпретации экспериментальных данных; подготовке основных публикаций по выполненной работе.

Диссертационный совет пришел к выводу, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая содержит решение актуальной задачи направленного формирования технологических остаточных напряжений и фазового состава материала поверхностного слоя с использованием энергии ультразвуковых колебаний, что имеет существенное значение для повышения эффективности изготовления заготовок ответственных деталей из труднообрабатываемых материалов.

Работа соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденном Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842.

На заседании 28 декабря 2015 г. диссертационный совет принял решение присудить Благовскому О.В. ученую степень кандидата технических наук по специальности 05.02.08 – Технология машиностроения (технические науки).

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 8 докторов наук по специальности 05.02.08 – Технология машиностроения, участвующих в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовал: за присуждение ученой степени – 18 человек, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Защита окончена. Есть ли замечания по процедуре защиты? (Нет).

Поздравляет соискателя с успешной защитой. Благодарит членов совета и всех участников за внимание.

Заседание объявляется закрытым.

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

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



В.П. Табаков

Н.И. Веткасов