

Волжский политехнический институт  
(филиал) ФГБОУ ВО «Волгоградский  
государственный технический  
университет»

404121, Россия, Волгоградская обл.,  
г. Волжский, ул. Энгельса, 42-а.  
Тел. (8443) 38-10-49  
E-mail: [nosenko@volpi.ru](mailto:nosenko@volpi.ru)

В диссертационный совет  
Д 212.210.01  
на базе ФГБОУ ВО «Рыбинский  
государственный авиационный  
технический университет имени  
П. А. Соловьева»  
Учёному секретарю  
Надеждину И.В.

---

152934, г. Рыбинск,  
ул. Пушкина, д. 53

## ОТЗЫВ

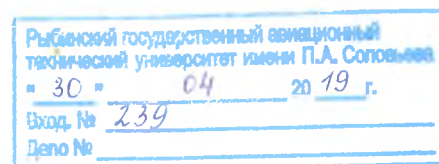
**официального оппонента Носенко В.А.**

**на диссертационную работу Никитина Сергея Петровича  
«Математическое моделирование термомеханических процессов в зоне  
резания элементарных поверхностей при профильном глубинном  
шлифовании, обеспечивающее заданный предел выносливости лопаток  
турбин ГТД», представленную на соискание ученой степени доктора  
технических наук по специальности 05.02.08 – Технология  
машиностроения**

### **1. Актуальность темы диссертационной работы**

В современных условиях обеспечение заданного уровня эксплуатационных показателей качества лопаток газотурбинных авиадвигателей, в частности, предела выносливости, достигается, как правило, за счет профильного глубинного шлифования высокопористыми шлифовальными кругами опорных поверхностей при режимах резания, обеспечивающих допустимые тепловые нагрузки в зоне обработки. Однако высокая тепловая напряженность процесса глубинного шлифования вызывает дефекты поверхностного слоя отдельных участков обрабатываемой поверхности и появления трещин при циклической нагрузке. Поэтому при глубинном шлифовании опорных поверхностей лопаток для снижения тепловой напряженности используют многопроходную обработку, что снижает производительность процесса.

В связи с внедрением многооперационных станков с ЧПУ, необходима методика по назначению научно-обоснованных режимов резания и характеристик



шлифовальных кругов, обеспечивающая достижение заданного предела выносливости лопатки турбины и максимальную производительность обработки.

Диссертационная работа Никитина Сергея Петровича направлена на обеспечение предела выносливости и повышение качества поверхностного слоя деталей ГТД путем определения рациональных режимов резания при профильном глубинном шлифовании на многокоординатных станках с ЧПУ на основе математического моделирования термомеханических процессов в зоне резания с использованием наиболее критической элементарной поверхности обрабатываемого профиля.

В этой связи, работа Никитина С.П., посвященная решению научно-технической проблемы повышения эффективности профильного глубинного шлифования путем рационального назначения режимов резания на основе разработанной методологии моделирования и исследования термомеханического взаимодействия в зоне обработки, является актуальной.

Тема диссертации, ее цель, задачи, решенные для достижения этой цели, и ее содержание соответствуют заявленной научной специальности 05.02.08 «Технология машиностроения».

## **2. Научная новизна и новые результаты**

Новизна научных положений, защищаемых соискателем:

– методология обеспечения заданного уровня предела выносливости лопаток турбин при профильном глубинном шлифовании с помощью математического моделирования термомеханических процессов в зоне обработки элементарных участков поверхности сложного профиля.

– математическая модель термомеханической системы при глубинном шлифовании, описывающая взаимодействие разнородных процессов в зоне обработки элементарного участка поверхности сложного профиля;

– регрессионная модель предела выносливости от параметров качества поверхностного слоя и способы дифференциации обрабатываемого профиля на элементарные поверхности и формирования расчетной схемы;

– метод прямой аналогии для представления профильного глубинного шлифования в виде термомеханической системы;

– модель рационального съема припуска при глубинном шлифовании на основе экспоненциальной зависимости величины припуска от номера прохода.

Методология, предлагаемая автором, позволяет прогнозировать устойчивость процесса глубинного шлифования, параметры качества поверхностного слоя, предела выносливости лопатки и назначать рациональные режимы обработки профильных опорных поверхностей лопаток турбин.

## **3. Достоверность полученных результатов**

Разработанные в диссертации научные положения и выводы достаточно аргументированы, адекватность моделей подтверждена экспериментальными

данными. Лабораторные и опытно-промышленные испытания выполнены с использованием современного технологического оборудования, оснастки и научной аппаратуры.

Для количественной и качественной оценки разработанных научных положений использован представительный объем собственной эмпирической технологической информации, полученной в результате лабораторных и производственных исследований.

#### **4. Практическая ценность работы**

Практическую ценность имеют следующие разработки:

– методика и алгоритм задания режимов резания при профильном глубинном шлифовании, позволяющие выявлять влияние режимов глубинного шлифования на показатели качества поверхностного слоя и предел выносливости лопатки турбины, целенаправленно обеспечивать требуемые показатели качества обработки и предел выносливости лопаток турбин при максимальной производительности.

- компьютерная программа «ПАН» (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016661193), позволяющая при разработке технологии глубинного шлифования лопатки определять влияние назначаемых режимов обработки на устойчивость процесса и погрешности обработанных поверхностей при профильном глубинном шлифовании на многоосевых станках с ЧПУ.

- использование в учебном процессе при подготовке бакалавров и магистров по специальности «Технология машиностроения» материалов диссертации, компьютерной программы «ПАН» и математических моделей основных узлов технологической системы.

#### **5. Оценка содержания и оформления диссертации**

Материалы диссертации изложены на 446 страницах машинописного текста, в достаточной степени иллюстрированы. Диссертация содержит таблиц – 65, рисунков – 249. В приложениях представлены: методика определения параметров математической модели с помощью программы MATCAD; рекомендации по разработке модели термомеханической системы станка при глубинном шлифовании с помощью программы ПАН и ее использованию для анализа; акты внедрения результатов диссертации в производство и учебный процесс. Библиографический список включает 348 наименований, в том числе 31 зарубежную работу.

Во введении автором обоснована актуальность темы исследования.

Первая глава посвящена анализу отечественной и зарубежной научно-технической информации по изучаемому вопросу, постановке цели и задач исследований. Обзор представляет собой информационное исследование, в котором отражено современное состояние научной проблемы технологического обеспечения эффективности профильного глубинного шлифования лопаток турбин.

Показано, что эффективное использование многокоординатных

профилешлифовальных станков с ЧПУ на операциях обработки сложных профильных поверхностей невозможно без научно обоснованного прогнозирования результатов обработки и назначения режимов резания. Тем не менее, существующие рекомендации не позволяют назначать оптимальны режимы глубинного шлифования при обработке сложных поверхностей на многокоординатных станках с ЧПУ. На этапе технологической подготовки производства нет надежных научно-обоснованных методик определения режимов профильного глубинного шлифования, прогнозирующих необходимые значения параметров качества обработки. Отсутствует обобщенное представление процесса профильного глубинного шлифования поверхностей сложного профиля, в виде системы взаимодействующих упругих механических и тепловых процессов в зоне резания. Недостаточно проработана термомеханическая модель профильного глубинного шлифования, с помощью которой можно оценить влияние режимов резания на выходные параметры процесса (съем металла, силы, температуры и тепловых потоков в зоне резания), а также на качество поверхностного слоя и предел выносливости детали.

На основании анализа литературных данных сформулированы цель и задачи диссертационной работы.

Во второй главе представлена методология выбора и назначения рациональных режимов резания профильного глубинного шлифования опорных поверхностей рабочих и сопловых лопаток ГТД. Методология основывается на системном анализе термомеханических процессов в зоне резания элементарных поверхностей сложного профиля при глубинном шлифовании лопаток турбин путем дифференциации исходного обрабатываемого контура на элементарные поверхности и математического моделирования процессов на основе прямой аналогии. Это позволяет на этапе разработки технологии провести теоретический анализ устойчивости и расчет параметров процесса на основе моделирования обработки каждой элементарной поверхности, рассчитать необходимые показатели качества элементарных поверхностей, в том числе, их ожидаемый предел выносливости. Предлагаемая методика моделирования разнородных процессов в термомеханической системе при глубинном шлифовании позволяет определить тепловые потоки, отводимые в инструмент, заготовку, стружку и СОТС, что обеспечивает повышенную достоверность и точность результатов моделирования. Подтверждена адекватность теоретических моделей.

В третьей главе представлены методики проведения экспериментальных исследований профильного глубинного шлифования с учетом деления на элементарные обрабатываемые поверхности и анализа влияния режимов резания на выходные характеристики термомеханической системы, качество обработки и предел выносливости лопатки ГТД. Изложена методика ускоренных усталостных испытаний специальных образцов лопаток турбин, позволяющая сократить затраты и повысить точность выявления зависимости предела выносливости лопатки от режимов

обработки при подготовке производства на многокоординатных станках с ЧПУ.

В четвертой главе представлены результаты экспериментальных исследований влияния режимов резания глубинного шлифования на составляющие силы резания, температуру и параметры качества поверхностного слоя (степень наклепа, шероховатость, микроструктуру, остаточные напряжения и предел выносливости лопаток ГТД). Использование программно-информационного комплекса позволило соискателю значительно сократить дорогостоящие натурные эксперименты, заменив их моделированием на ЭВМ. Представленные в главе результаты исследований показывают преимущества разработанной диссертантом УЗ техники воздействия на СОЖ и режущий инструмент. Показано влияние термомеханических условий формообразования на параметры качества элементарных поверхностей обрабатываемого профиля при глубинном шлифовании. Представлены показатели качества для торцевой и периферийной поверхностей полки сопловой лопатки после глубинного шлифования, а также ряд нелинейных регрессионных моделей, позволяющих рассчитывать показатели качества поверхностного слоя ( $R_a$ ,  $N$ ,  $\sigma_{ост}$ ) от режимов резания и характеристики круга.

Пятая глава посвящена реализации стратегии, методов и средств обеспечения качества и предела выносливости лопаток газотурбинных двигателей при обработке на профилешлифовальных многокоординатных станках с ЧПУ на основе численного моделирования. Значительное внимание в главе уделено управлению тепловыми и упругими процессами на каждом проходе с целью снижения колебаний за счет повышения степени устойчивости термомеханической системы. Это позволяет повысить производительность профильного глубинного шлифования путем минимизации количества проходов при обеспечении качества поверхностного слоя и предела выносливости лопатки.

Предлагаемая методология строится на итерационной модели разработки технологии глубинного шлифования лопаток ГТД.

В шестой главе приведены технологические рекомендации по внедрению новой методологии обеспечения качества и повышению сопротивления усталости лопаток газотурбинных двигателей при профильном глубинном шлифовании на многокоординатных станках с ЧПУ.

По каждой главе и в целом по работе автором сделаны обоснованные выводы, обобщающие результаты теоретических и экспериментальных исследований.

Полученные результаты соответствуют поставленной цели и задачам работы. Содержание диссертации соответствует содержанию научных работ, опубликованных соискателем единолично и в соавторстве (в основном с научным консультантом), в том числе, 3 в изданиях, индексируемых в наукометрической базе данных *Scopus*, 19 – в рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК РФ, одном авторском свидетельстве на регистрацию программы для ЭВМ.

Автореферат соответствует тексту диссертации, отражает её основное содержание.

#### **6. Замечания и пожелания**

1. Литературный анализ первой главы носит несколько размытый характер, недостаточно четко указаны актуальные проблемы профильного глубинного шлифования лопаток турбин и достигнутый уровень исследований.

2. Нет однозначности в дифференциации исходного обрабатываемого контура на элементарные участки. Не ясно, как определяется количество необходимых элементарных поверхностей?

3. При моделировании контактного взаимодействия шлифовального круга и заготовки не учтена динамика изменения распределения вершин зерен на рабочей поверхности шлифовального круга в результате износа истиранием и скалыванием, вырыванием зерен из связки круга в процессе шлифования, что снижает точность прогноза выходных параметров процесса глубинного шлифования.

4. При моделировании процесса резания и источников тепловой энергии в зоне контакта не учитывается интенсивность контактного взаимодействия и адгезионная активность материала заготовки с абразивным материалом и СОТС, которые в значительной мере влияют на изнашивание шлифовального круга и качество обработанной поверхности.

5. Автор указывает в качестве причины увеличения колебаний температуры в зоне резания и снижения предела выносливости лопаток турбин устойчивость процесса глубинного шлифования, что не является доказанным, многие авторы не фиксируют подобных явлений при глубинном шлифовании.

6. Почему в методике управления процессом глубинного шлифования основным регулятором выступает только глубина шлифования?

7. Не обоснован выбор экспоненциальной модели распределения припуска при профильном глубинном шлифовании лопаток турбин.

8. В формулах 5.5, 5.6 и 5.7 используется количество зерен на единице площади контакта. Не ясно, как определяли это количество и на какой высоте профиля.

9. Отсутствует статистическая обработка экспериментальных данных практически на всех соответствующих рисунках и таблицах, например, 2.88, табл. 2.19, рис. 2.91-2.94, табл. 4.6, рис. 4.4-4.7, 4.16, 4.21. Создается впечатление, что методика обработки результатов заключается только в нахождении среднего арифметического, например, табл. 4.1

10. Утверждения автора, что «При глубинном шлифовании более подходят СОТС на основе масел», с. 239 является спорным.

11. Перечисления основных положений выбора твердости, структуры и связки круга (с. 265-267) даны без ссылки на соответствующую литературу, .

12. В тексте диссертации имеются грамматические и стилистические ошибки, например: выражения «Эффект смазывания сокращает силы

трения», «орошение шлифовального круга СОТС под высоким давлением», с. 239, «круги с зернистостью 10 мкм», с. 265; двойные подрисовочные надписи к рис. 295 и др.

## **7. Заключение**

1. Диссертационная работа Никитина С.П. является законченным исследованием, в котором получены новые значимые научные, научно-технические и технологические результаты, направленные на решение актуальной проблемы обеспечения заданного предела выносливости лопаток турбин при максимальной производительности профильного глубинного шлифования путем рационального назначения режимов резания на основе разработанной методологии моделирования и исследования термомеханических процессов в зоне резания. Полученные автором результаты следует классифицировать как научно-обоснованные технические и технологические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие экономики страны. Тем самым диссертация соответствует критериям раздела II Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 с дополнениями в соответствии с постановлением № 335 от 21 апреля 2016 г.

2. Тема, цель, задачи и содержание диссертации соответствуют заявленной специальности 05.02.08 – «Технология машиностроения».

3. Работа выполнена на достаточном научно-техническом уровне. Методики и средства выполненных исследований адекватны решаемым задачам.

4. Результаты теоретических и экспериментальных исследований, выполненных соискателем, достоверны и достаточны для обоснования сделанных выводов.

5. Степень апробации результатов работы путем опубликования основных положений в печати, выступлений на научно-технических конференциях, семинарах достаточна. Общая подготовленность и научный потенциал соискателя соответствует сложившемуся уровню требований.

6. Общие выводы отражают в полном объеме полученные в ходе диссертационного исследования основные результаты работы.

7. Содержание автореферата диссертации отражает основные положения работы и доказательства их достоверности.

8. Сделанные замечания не снижают важности полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

На основании вышеизложенного считаю, что в рецензируемая диссертационная работа Никитина Сергея Петровича по актуальности, научно-техническому уровню, степени обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, их достоверности и новизне, значению для теории и практики соответствует требованиям раздела II Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на

соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 05.02.08 – Технология машиностроения.

Автор работы, Никитин С.П., заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.08 – Технология машиностроения.

Официальный оппонент:

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология и оборудование машиностроительных производств» Волжского политехнического института (филиал) ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», д.т.н. по специальности 05.02.07 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»  
404121, Россия, Волгоградская обл., г. Волжский, ул. Энгельса, 42-а.  
Тел. (8443) 38-10-49  
E-mail: [nosenko@volpi.ru](mailto:nosenko@volpi.ru)

Носенко  
Владимир Андреевич

  
(подпись)

23.04.19  
(дата)

Подпись доктора технических наук,  
профессора В.А. Носенко  
удостоверяю:

Секретарь Ученого Совета



 Анопина Галина Михайловна  
(ФИО, полностью)