

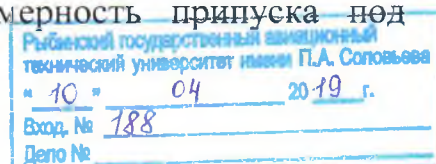
ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

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 настоящее время авиационное производство становится все более высокотехнологичным. Для обеспечения конкурентоспособности предприятия внедряют новые технологии, которые позволяют повышать производительность обработки, а в некоторых случаях, снижать затраты на инструмент. Технология многокоординатного глубинного шлифования для обработки криволинейных поверхностей блоков сопловых лопаток является одной из перспективных в этом направлении, так как в большинстве случаев позволяет повысить производительность обработки, обеспечить существенное повышение качества поверхностного слоя в сравнении с традиционным методом обработки. Данные детали имеют как вогнутые, так и выпуклые поверхности с различной кривизной образующих. Следовательно, перенос традиционных режимов плоского глубинного шлифования на многокоординатное глубинное шлифование, не является корректным вследствие значительных условий работы инструмента и может иметь определенные технологические последствия.

Одним из эффективных и наиболее простых способов снижения теплонапряженности профильного периферийного шлифования является использование высокопористых шлифовальных кругов и подача СОТС к заготовке через впадины круга. Однако, имеющихся исследований технологии шлифования явно недостаточно для комплексного рассмотрения таких процессов и явлений, сопровождающих глубинное шлифование высокопористыми кругами, как: вибрации в технологической системе, ~~неравномерность припуска под~~



обработку, неравномерность износа круга, увеличение сил резания при работе торца абразивного сегмента высокопористого шлифовального круга.

В работе выполнены исследования влияния режимов резания на силовые, тепловые процессы, происходящие при обработке многокоординатным глубинным шлифованием и определяющие качество поверхностного слоя, а также предел выносливости лопатки турбины.

Поэтому работа Никитина С.П., посвященная исследованию влияния геометрических характеристик локальных участков обрабатываемой поверхности на протекание процесса обработки при многокоординатном глубинном шлифовании, с целью разработки методики назначения режимов формообразования, является актуальной задачей.

2. Научная новизна и новые результаты

Автор предлагает методологию, которая позволяет расчетным путем прогнозировать устойчивость процесса глубинного шлифования, состояния поверхностного слоя, предела выносливости лопатки и назначать рациональные режимы обработки сложного профиля опорных поверхностей лопаток турбин.

Математические модели динамической системы станка учитывают влияние динамических факторов (неравномерный износ прерывистого круга, вибрации в технологической системе и неравномерность припуска под обработку) и возможность изменения параметров контакта круга с заготовкой для заданных значениях режимов резания и характеристиках круга. Математические модели тепловых процессов учитывают распределение температур и тепловых потоков в зоне глубинного шлифования. Все это позволяет прогнозировать влияние перечисленных факторов на показатели качества поверхностного слоя и предел выносливости лопатки турбины.

Новизна научных положений, защищаемых соискателем, заключается в том, что им впервые разработаны:

– компоненты термомеханической модели глубинного шлифования высокопористыми кругами;

- регрессионная модель предела выносливости от параметров качества поверхностного слоя;
- методика дифференциации обрабатываемого профиля на элементарные поверхности и формирования расчетной схемы;
- методика представления профильного глубинного шлифования в виде термомеханической системы;
- модель рационального съема припуска при глубинном шлифовании на основе зависимости величины припуска от количества и последовательности проходов.

3. Достоверность полученных результатов

При выполнении работы использовались научные основы теории шлифования, технологии машиностроения, сопротивления материалов, основы теплофизики и математической физики. Экспериментальные исследования проводились в производственных и лабораторных условиях, на универсальном и уникальном оборудовании, с использованием современной контрольно-измерительной аппаратуры по стандартным и разработанным автором методикам. При обработке экспериментальных данных использовались статистические методы.

Результаты исследований внедрены в производство на ОАО «Машиностроитель», в АО «ОДК-ПМ» и АО «ОДК-Авиадвигатель» (г. Пермь), что подтверждается актами внедрения.

Приведенные выводы и результаты подтверждают обоснованность разработанных научных положений, выводов и рекомендаций.

4. Практическая ценность работы

Значимость для практики результатов исследований заключается в разработке автором методики назначения режимов резания при профильном глубинном шлифовании позволяющей прогнозировать влияние режимов глубинного шлифования на качество поверхностного слоя и, соответственно, предел

выносливости лопатки турбины; компьютерной программы «ПАН» (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016661193), позволяющей технологу на этапе разработки технологии оценить устойчивость процесса резания, величины формируемой погрешностей обработанных поверхностей, прогнозировать точность обработки, параметры качества поверхностного слоя при профильном глубинном шлифовании лопаток на многоосевых станках с ЧПУ.

5.Содержание

Диссертация состоит из введения, 6 глав, общих выводов, библиографического списка, включающего 348 наименований, и 8 приложений. Работа изложена на 446 страницах, содержит 249 рисунков и 65 таблиц.

Во введении автором обоснована актуальность темы исследования. В первой главе автором рассматриваются работы, определяющие современный уровень исследований и знаний по теме диссертации. На основе анализа существующих работ автором сделан вывод о том, что применение многокоординатных профилешлифовальных станков с ЧПУ выявило необходимость прогнозирования результатов обработки для сокращения времени ТПП, повышения производительности и обеспечения качества и эксплуатационных показателей детали. При этом в настоящее время нет однозначных рекомендаций, позволяющих назначать режимы глубинного шлифования при обработке сложных поверхностей на многокоординатных станках с ЧПУ; нет обобщающих методик, позволяющих назначать научно-обоснованные режимы профильного глубинного шлифования на основе прогнозирования качества обработанной поверхности; отсутствует обобщенное представление процесса профильного глубинного шлифования поверхностей сложного профиля, в виде системы взаимодействующих упругих механических и тепловых процессов в зоне резания; отсутствует методика с помощью которой можно оценить взаимосвязь режимов резания с параметрами процесса резания (величина съема, силы, температуры и тепловых потоков в зоне резания), а также на качество поверхностного слоя и

предел выносливости детали.

На основании анализа литературных данных, выявленного уровня знаний и исследований по теме работы сформулированы цель, а также задачи диссертационной работы.

Уровень проведенного обзора научных работ, выполненный автором, позволяет сделать вывод о высокой степени проработанности автором предмета и области исследования.

Во второй главе автором приведены основные положения разработанной методологии выбора и назначения рациональных режимов резания при профильном глубинном шлифовании опорных поверхностей рабочих и сопловых лопаток ГТД.

Автор исходит из того, что обеспечение предела выносливости лопатки и заданных параметров качества поверхностного слоя возможно только при реализации различных значений параметров процесса шлифования на каждой из элементарных поверхностей обрабатываемого профиля на основе прогнозирования параметров процесса обработки.

Выдвинутая гипотеза предусматривает 5 этапов действий: 1. Дифференциация исходного профиля, выделение элементарных поверхностей с целью выбора наиболее критической элементарной поверхности по параметрам качества. 2. Теоретический анализ устойчивости и расчет параметров процесса на основе моделирования шлифования каждой элементарной поверхности. 3. Расчет показателей качества каждой элементарной поверхности. 4. Оценка эксплуатационных характеристик детали по каждой элементарной поверхности. 5. Назначение режимов глубинного шлифования поверхности сложного профиля на основе условий формообразования критического участка по разработанному алгоритму.

Для реализации выдвинутой гипотезы автором разработаны методика дифференциации исходного обрабатываемого контура на элементарные поверхности; математические модели основных узлов термомеханической модели при глубинном шлифовании, получены основные зависимости выходных

параметров процесса глубинного шлифования от режимов обработки и приведена методика прогноза устойчивости процесса обработки.

В третьей главе приведены методики проведения экспериментальных исследований влияния режимов резания на выходные характеристики термомеханической системы, качество поверхностного слоя и предел выносливости лопатки ГТД с учетом формообразования элементарных поверхностей для подтверждения разработанных во второй главе методики и математической модели. Предложена оригинальная методика ускоренных усталостных испытаний специальных образцов лопаток турбин, позволяющая сократить затраты и повысить надежность выявления зависимости предела выносливости лопатки от режимов обработки.

В четвертой главе автор проводит анализ результатов экспериментальных исследований влияния режимов резания при глубинном шлифовании на составляющие силы резания, температуру резания и параметры качества поверхностного слоя: степень наклепа, шероховатость, микроструктуру, остаточные напряжения при разных условиях формообразования и на предел выносливости лопаток ГТД.

Выявлены возможности управления влиянием термических и механических условий резания на качество элементарных поверхностей, получены значения показателей качества для торцевой и периферийной поверхностей полки сопловой лопатки после глубинного шлифования.

Для расчета показателей параметров состояния поверхностного слоя от режимов резания сплавов ЖС26УВИ кругами фирмы "Tyrolit" (Австрия) и характеристики круга получен ряд нелинейных регрессионных моделей.

В пятой главе освещены вопросы реализации стратегии, методов и средств обеспечения качества и предела выносливости лопаток газотурбинных двигателей (ГТД) при реализации технологии на профилешлифовальных многокоординатных станках с ЧПУ.

С целью повышения производительности профильного глубинного шлифования путем минимизации количества проходов при обеспечении качества

поверхностного слоя и предела выносливости лопатки автор предлагает управлять тепловыми и упругими явлениями на каждом проходе с целью стабилизации параметров теплового процесса за счет повышения степени устойчивости термомеханической системы.

Разработан алгоритм действий при разработке технологии глубинного шлифования лопаток ГТД. Предложена экспоненциальная модель распределения исходного припуска, которая гарантирует удаление деформированного слоя, образованного при предыдущих проходах, и обеспечение заданного предела выносливости после чистового прохода.

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

В заключении диссертационной работы отражены основные выводы, которые обобщают результаты теоретических и экспериментальных исследований.

6. Замечания и пожелания

1. При моделировании в пп. 2.3, во многих случаях не оговорены методы и точность получения исходных данных для формирования расчетных значений при моделировании, в частности, многочисленных коэффициентов пропорциональности, сопротивления, демпфирования, вязкого трения процесса резания и т.п.
2. При разработке моделей, описывающих процесс резания неправомерно рассмотрено взаимодействие без учета контакта обрабатываемой поверхности с материалом связки, неясно, как учтены колебания, вызванные волнистостью и дисбалансом шлифовального круга (стр.251); моделирование процесса резания резцом (пп. 2.3.6.2) малоприменимо к проведенным исследованиям абразивного резания; неясно, на какие работы

- опирался автор при моделировании и геометрии режущей части зерна, определении глубины внедрения зерна при процессах микрорезания;
3. При определении коэффициентов резания (ф. 2.133), мощности источника тепла (ф.2.136) отсутствуют пояснения по процедуре вывода, по методике определения сил, входящих в формулы.
 4. Определение временного сопротивления сжатию через твердость материала (стр.214) крайне приблизительно.
 5. Принятая для расчета гипотеза о распределении потоков тепла между изделием и стружкой, описанном ф.2.147, требует обоснования.
 6. Отсутствует источник значений параметра λ (стр. 217).
 7. Неясно, как была получена зависимость 4 на рис. 2.95, отражающая влияние на охлаждение подачи СОТС под давлением.
 8. В работе не раскрыто, каким образом при КЭ-моделировании (рис.2.99) симулировался процесс охлаждения в зоне контакта при помощи СОТС
 9. Технологические операции, проведенные перед усталостными испытаниями, практически исключают влияние исследуемого процесса шлифования на усталостную прочность. Величина усталостных напряжений по экспериментальным моделям (согласно графикам стр. 324-325) превышает 1200МПа, что больше предела прочности для сплава ЖС26-ВИ.
 10. В выполненном на рис 5.32. разделении шлифуемого профиля на элементарные поверхности, непонятно, в чем различие участков 3-4 и 7-8. Алгоритм дифференциации обрабатываемой поверхности на элементарные в явном виде отсутствует.

7. Заключение

Диссертационная работа Никитина Сергея Петровича является законченной научно-квалификационной работой, в которой, на основании выполненных автором исследований, разработаны теоретические положения, по совокупности квалифицируемые как решение важной научной задачи, имеющей существенное значение для развития экономики страны.

С учетом высказанных выше замечаний, считаю, что диссертационная работа на тему «Математическое моделирование термомеханических процессов в зоне резания элементарных поверхностей при профильном глубинном шлифовании, обеспечивающее заданный предел выносливости лопаток турбин ГТД» по своему содержанию, объёму, актуальности, научной и практической значимости полностью соответствует требованиям ВАК Российской Федерации, предъявляемым к докторским диссертациям, установленным «Положением о порядке присуждения учёных степеней» в пункте 9, а её автор - Никитин Сергей Петрович заслуживает присуждения ему учёной степени доктора технических наук по специальности 05.02.08 - «Технология машиностроения».

Согласен на обработку персональных данных.

Официальный оппонент:

Зверовщиков Александр Евгеньевич
заведующий кафедрой «Технология
машиностроения» ФГБОУ ВО «Пензенский
государственный университет»,
доктор технических наук (05.02.08 –
Технология машиностроения; 05.02.07 –
Технология и оборудование механической
и физико-технической обработки)
440026, г. Пенза, ул. Красная, 40.
тел.: (8412) 368-224,
адрес электронной почты: azwer@mail.ru



Подпись Зверовщикова А.Е. заверяю:

Ученый секретарь Ученого Совета Пензенского государственного университета,
кандидат технических наук, доцент



Дорофеева Ольга
Станиславовна

29.03.2019г.