Тарасов, Сергей Сергеевич. Повышение эффективности токарной обработки криволинейных поверхностей дисков и кольцевых деталей ГТД из жаропрочных сплавов за счет применения инструмента из режущей керамики : диссертация кандидата технических наук : 05.02.07 / Тарасов Сергей Сергеевич; [Место защиты: Рыбин. гос. авиац. техн. ун-т им. П.А. Соловьёва].- Рыбинск, 2013.- 178 с.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего

профессионального образования Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П. А. Соловьева

На правах рукописи



Тарасов Сергей Сергеевич

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ**

**КРИВОЛИНЕЙНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДИСКОВ И КОЛЬЦЕВЫХ ДЕТАЛЕЙ ГТД ИЗ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ИНСТРУМЕНТА ИЗ РЕЖУЩЕЙ КЕРАМИКИ**

Специальность: 05.02.07 - Технология и оборудование механической и физико-

технической обработки

**Диссертация**

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель

доктор технических наук, профессор

Д. И. Волков

Рыбинск 2013

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 4

1. Анализ состояния, задачи повышения эффективности токарной обработки криволинейных поверхностей дисков и кольцевых деталей ГТД инструментом из режущей керамики 8
	1. [Исследования механической обработки деталей ГТД инструментами из СТМ и инструментальной керамики 8](#bookmark1)
	2. [Моделирование процесса точения деталей ГТД 19](#bookmark2)
	3. [Требования к технологическому процессу, оборудованию и инструменту при токарной обработке деталей ГТД 25](#bookmark3)
	4. [Постановка цели и задач исследования 29](#bookmark4)
2. Разработка математической модели высокоскоростного резания инструментом из режущей керамики 31
	1. [Особенности резания инструментом из режущей керамики 31](#bookmark6)
	2. [Расчет силы резания при обработке криволинейных поверхностей инструментом из режущей керамики 37](#bookmark7)
	3. [Математическая модель тепловых процессов при работе инструментом из режущей керамики 55](#bookmark13)
	4. [Баланс тепловой и механической энергии при работе инструментом из режущей керамики 78](#bookmark20)
	5. [Выводы по главе 2 84](#bookmark24)
3. Результаты экспериментальных исследований работы инструментом

из режущей керамики 85

* 1. [Оборудование и методика экспериментов 85](#bookmark25)
	2. [Исследование температуры и силы резания при работе инструментом из режущей керамики 90](#bookmark26)
	3. [Исследование влияния технологических параметров процесса на износ инструмента из режущей керамики 95](#bookmark27)

з

* 1. [Исследование качества поверхностного слоя обработанных поверхностей 103](#bookmark30)
	2. [Выводы по главе 3 111](#bookmark34)

4 Методика оптимизации операций точения инструментами из

режущей керамики 112

1. [Разработка методики оптимизации операций токарной обработки инструментом из режущей керамики по минимуму себестоимости 112](#bookmark35)
2. [Разработка программного обеспечения для расчета параметров процесса резания 121](#bookmark42)
3. [Практические рекомендации по использованию инструмента из режущей керамики в производстве 124](#bookmark43)
4. [Выводы по главе 4 132](#bookmark44)

Заключение 133

Условные обозначения 134

Список литературы 137

Приложения 151

ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность работы.** Поиск технологических решений, позволяющих совместить высокое качество и высокую производительность в производстве деталей газотурбинных двигателей (ГТД), по-прежнему является острой проблемой, методы решения которой, определяют конкурентоспособность предприятия, одной из основных задач которого является внедрение мероприятий, направленных на непрерывное снижение издержек производства. Своевременное освоение новых технологических процессов изготовления деталей авиационных двигателей, является необходимым условием динамичного развития предприятия. Развитие конструкций ГТД приводит к расширению использования при их изготовлении деталей, имеющих криволинейные и сложнопрофильные поверхности и изготовленных из труднообрабатываемых жаропрочных сплавов. Их высокие физико-механические характеристики сплавов позволяют поднять эксплуатационные свойства изделия в целом, но одновременно с этим, новые материалы обладают худшей обрабатываемостью резанием традиционно применяемыми в производстве инструментами из твердого сплава, что увеличивает стоимость и время технологического процесса изготовления большинства деталей. Применение на операциях механической обработки инструмента из режущей керамики позволяет повысить производительность обработки, однако при необходимости обеспечить высокое качество обработки на криволинейных поверхностях дисков турбины и различных кольцевых деталей возникают проблемы с разрушением инструмента.

Инструменты из режущей керамики позволяют производить обработку на скоростях резания порядка 2-6 м/с, при этом существенно повысить производительность обработки. Анализ физических и эксплуатационных свойств инструментов из режущей керамики в сравнении с инструментом из твердого сплава показал, что данные инструментальные материалы хотя и имеют более высокую теплостойкость, дающую возможность использовать более высокие скорости резания, но уступают по изгибной прочности, а, следовательно, подвержены сколам. Исследование возможностей повышения работоспособности режущей керамики позволило существенно повысить эффективность токарной обработки дисков и кольцевых деталей газотурбинных двигателей из жаропрочных материалов с учетом их профиля, поэтому данная работа, направленная на решение важных производственных задач является актуальной.

**Цель работы.** Повышение эффективности токарной обработки криволинейных поверхностей дисков и кольцевых деталей ГТД из жаропрочных сплавов за счет применения инструмента из режущей керамики.

Для достижения поставленной цели в данной работе решаются следующие задачи:

1. Разработка математической модели высокоскоростного резания инструментами из режущей керамики с учетом криволинейности траектории обработки. Определение параметров сечения среза и составляющих сил резания при обработке сложнопрофильных поверхностей.
2. Разработка математической модели тепловых процессов высокоскоростного резания инструментами из режущей керамики.
3. Проведение экспериментальных исследований сил резания, температуры, параметра износа по задней поверхности и шероховатости обработанной поверхности при точении криволинейных поверхностей.
4. Разработка и создание методики по оптимизации обработки керамическими инструментами, обеспечивающая минимум себестоимости.
5. Разработка рекомендаций по эффективному использованию инструментов из режущей керамики в машиностроительном производстве и авиационной промышленности.

**Методы исследования.** Теоретические исследования выполнялись с использованием фундаментальных положений теории резания, теории теплопередачи. Экспериментальные исследования проводились, как в лабораторных условиях на специальном оборудовании, так и в производственных. При этом были использованы методы статистической обработки полученных результатов и планирования экспериментов.

На защиту выносятся:

* аналитическая модель определения параметров сечения среза и составляющие силы резания при обработке криволинейных поверхностей дисков и кольцевых деталей с учетом несвободного резания;
* математическая модель тепловых процессов при высокоскоростном точении инструментами из режущей керамики с учетом теплообмена со смазочно-охлаждающей жидкостью, вводимой в зону обработки при высоком давлении;
* результаты исследования параметров износа по задней поверхности инструмента и шероховатости обрабатываемой поверхности при точении жаропрочных сплавов инструментами из режущей керамики;
* методика определения оптимальных условий токарной обработки жаропрочных сплавов инструментами из режущей керамики.

**Научная новизна.** Разработана математическая модель высокоскоростной токарной обработки жаропрочных материалов инструментами из режущей керамики с учетом криволинейности траектории обработки. В том числе:

определены параметры сечения среза и составляющие силы резания при обработке сложнопрофильных поверхностей дисков и кольцевых деталей с учетом несвободного резания;

разработана математическая модель тепловых процессов при высокоскоростном точении инструментами из режущей керамики с учетом теплообмена со смазочно-охлаждающей жидкостью, вводимой в зону обработки при высоком давлении;

выполнены экспериментальные исследования процесса высокоскоростного точения инструментами из режущей керамики группы

жаропрочных сплавов, которые позволили определить не только их обрабатываемость резанием, но и установить параметры, которые были использованы при расчете составляющих силы резания, температуры, износа по задней поверхности.

**Практическая ценность.** На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработана методика оптимизации условий резания при высокоскоростной токарной обработке криволинейных поверхностей дисков и кольцевых деталей ГТД из жаропрочных сплавов инструментами из режущей керамики, с обеспечением минимальной себестоимости изготовляемых деталей, заданных параметров износа по задней поверхности и шероховатости с учетом возможностей программного обеспечения и станочного оборудования.

**Реализация результатов работы.** Основные положения диссертационной работы прошли проверку при внедрении процессов высокоскоростной токарной обработки деталей из жаропрочных сплавов инструментами из режущей керамики на предприятии ОАО «НПО Сатурн». Внедрение результатов исследования в производство позволило получить экономический эффект 381 тыс. руб.

**Апробация результатов работы.** Основные положения и результаты диссертации доложены и обсуждены на Всероссийских научно-технических конференциях: «Авиадвигатели XXI века» Москва, ЦИАМ им. П.И. Баранова 2010, «Будущее машиностроение России» Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана 2011, 2012 и «Наукоёмкие технологии в машиностроении и авиадвигателестроении» Рыбинск, РГАТУ имени П.А. Соловьева 2012.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 9 печатных работ, в том числе 6 статей. Из них 4 статьи опубликованы из них в центральных изданиях, рекомендованных ВАК.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка использованных источников и приложений. Общий объем работы 178 страниц, 52 рисунка, 15 таблиц и 135 наименований литературы.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ, ЗАДАЧИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ КРИВОЛИНЕЙНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДИСКОВ И КОЛЬЦЕВЫХ ДЕТАЛЕЙ ГТД ИНСТРУМЕНТОМ ИЗ РЕЖУЩЕЙ КЕРАМИКИ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработанная модель определения параметров сечения среза и составляющих силы резания позволила определить параметры сечения среза и составляющие силы резания при обработке криволинейных и сложнопрофильных поверхностей дисков и кольцевых деталей ГТД. Определены границы, при которых необходимо учитывать кривизну обрабатываемой поверхности детали.
2. Разработанная математическая модель тепловых процессов с учетом теплообмена со смазочно-охлаждающей жидкостью, вводимой в зону обработки при высоком давлении, позволила определить температуру и баланс механической и тепловой энергии при высокоскоростном резании инструментами из режущей керамики.
3. Проведенные экспериментальные исследования процесса высокоскоростного точения группы жаропрочных сплавов инструментом из минералокерамики позволили определить не только их обрабатываемость резанием, но и установить параметры, которые были использованы при расчете составляющих силы резания, что дает возможность прогнозировать характеристики процесса обработки инструментом из режущей керамики при заданных в производстве технологических условиях.
4. Исследования шероховатости позволили экспериментально получить зависимости для определения шероховатости поверхности в области высокоскоростного точения жаропрочных сплавов инструментом из режущей керамики.
5. Разработанная методика оптимизации операций точения инструментом из режущей керамики позволила учесть широкий комплекс факторов, в том числе и разработать рекомендации для выбора характеристик инструмента, а также оптимизировать условия обработки по минимуму себестоимости операции.
6. Разработанные практические рекомендации для технологий точения инструментом из режущей керамики позволили уменьшить себестоимость операций на 15% и повысить производительность обработки на 30% при обеспечении требуемых параметров шероховатости.