



УТВЕРЖДАЮ

И.о. ректора ФГАОУ ВО  
«Омский государственный  
технический университет»

Корчагин П.А.

«01»

11

2024 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу  
Кузнецовой Елены Михайловны  
«Технологическое обеспечение требуемой шероховатости при токарной об-  
работке деталей из закаленных сталей на станках с ЧПУ»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 2.5.6 – Технология машиностроения  
в диссертационный совет 24.2.307.01 Иркутского национального техническо-  
го университета (ИрНТУ)

На отзыв представлены: диссертация, автореферат диссертации, рабо-  
ты, опубликованные по теме диссертации.

Диссертация, представленная на отзыв, состоит из введения, пяти, за-  
ключения, списка источников и приложений. Работа содержит 131 страницу  
печатного текста, 91 рисунок, 14 таблиц, список литературы из 94 источни-  
ков и 1 приложения.

## Актуальность темы

В современном машиностроительном производстве наблюдается тен-  
денция расширения объема и сферы применения оборудования с числовым  
программным управлением. При изготовлении деталей на станках с ЧПУ ре-  
ализуется обработка на настроенном станке, когда правильно назначенные  
параметры технологических режимов гарантируют автоматическое обеспе-  
чение требуемых параметров точности и качества поверхностного слоя.

Однако, существенной проблемой в данном случае является то, что  
действующие на технологическую систему возмущающие воздействия при-  
водят к возникновению погрешностей и в ряде случаев – к появлению брака.  
В промышленной практике используются станки с циклическими системами  
числового программного управления, что не позволяет компенсировать воз-  
мущающие воздействия.

При обработке закаленных сталей возникает проблема интенсивного  
износа режущего инструмента. При этом возникает неизбежное ухудшение  
качества обработанной поверхности. Зависимость фаски износа от времени  
(или пути резания) имеет нечеткий характер. При достижении зоны ката-

строфического износа происходит потеря устойчивости, но граница состояний также нечеткая.

Возникает проблема контроля и реализации управления технологической системой, а также учитывая взаимосвязь технологических режимов, состояния инструмента и качества поверхностного слоя детали.

Научные исследования в этом направлении проводятся в недостаточном объеме и требуют более детальной проработки.

Это дает основание утверждать, что тема настоящего диссертационного исследования, целью которого является обеспечение требуемой шероховатости при токарной обработке деталей из закаленных сталей на станках с ЧПУ, актуальна и очень своевременна.

Направление исследований соответствует целям развития экономики, которые определены в рамках программы Правительства РФ «Цифровая экономика», утвержденной постановлением №1632-р от 28.07.2017.

### **Структура и содержание работы**

**Во введении** выполнено обоснование актуальности проблемы технологического обеспечения шероховатости поверхности при чистовой токарной обработке на станках с ЧПУ, в частности для случая изготовления деталей из закаленных сталей. При этом, отмечается что решение задачи сопровождается неопределенностью исходных данных и потерей обрабатывающей системой устойчивости. Представленные основные структурные элементы для общей характеристики работы соответствуют требованиям к диссертации и автореферату.

**В первой главе** выполнен комплексный анализ проблемы технологического обеспечения требуемой шероховатости при токарной обработке поверхностей. В ходе анализа было установлено, что применение прямых методов оценки и измерения шероховатости поверхности неприемлемо в случае автоматического обеспечения шероховатости, т.к. невозможно реализовать активный контроль.

При чистовом точении закаленных сталей, процесс перехода технологической системы из устойчивого состояния в неустойчивое происходит в очень узком диапазоне изменения технологических режимов, что затрудняет обеспечение требуемого качества обработки, особенно в автоматическом режиме.

В результате анализа методов активного контроля автором показано, что наиболее перспективно использовать сигналы виброакустики, однако требуется выявить параметры сигнала, наиболее пригодные для решения данной задачи.

Также приведено обоснование, что решение вопросов автоматического обеспечения заданных параметров шероховатости поверхности при чистовом точении необходимо реализовывать на основе подходов, которые учитывают индивидуальные свойства каждой конкретной технологической системы.

**Во второй главе** рассмотрены вопросы разработки математической модели выходного фактора (микрорельефа шероховатости поверхности). Первый этап исследований был посвящен анализу структурных особенностей микропрофиля. На основе вычисления автокорреляционных функций и фрактального анализа автором показано, что доля случайной составляющей в профилях поверхностей деталей из закаленных сталей, которые обработаны чистовым точением, составляет 75-96 %, что говорит о преобладающем вкладе вибраций в формирование профиля. Данный результат подтверждает обоснованность выводов, полученных в главе 1 об использовании вибросигнала в качестве диагностического признака.

Установлено, что высоты профиля шероховатости поверхности деталей из закаленных сталей, обработанных чистовым точением, соответствуют закону распределения Накагами. Проверка согласия выполнена по критерию Колмогорова-Смирнова.

Разработан алгоритм и математическая модель профиля и объемной шероховатой поверхности с использованием фрактальной геометрии. В основе лежит метод случайных сложений с использованием генератора частот по закону распределения Накагами. Погрешность моделирования не превышает 10 %.

Применение модели позволяет получить описание шероховатости поверхности с использованием безразмерных величин (показателя Херста и параметров закона Накагами), что обеспечивает соблюдение теорем подобия.

**В третьей главе** представлены результаты экспериментальных исследований обеспечения шероховатости поверхности при токарной обработке деталей из закаленных сталей на станках с ЧПУ.

На основе спектрального анализа сигналов виброакустики был выявлен частотный диапазон наиболее чувствительный к изменению режимов резания и обладающий наибольшей корреляцией с параметрами шероховатости поверхности – он составляет 13..15 кГц.

Выполнены исследования по выявлению зависимостей параметров шероховатости поверхности, параметров вибросигнала от технологических режимов (подачи и скорости резания), а также величины фаски износа по задней поверхности резца.

Установлена тесная корреляционная взаимосвязь (коэффициент корреляции более 0.8) между параметрами вибросигнала, шероховатостью обработанной поверхности и износом режущего инструмента. Выбранные критерии (показатель Херста сигнала виброакустики и мощность сигнала в частотном диапазоне от 13 до 15 кГц) могут быть использованы для решения задачи мониторинга и автоматического обеспечения требуемой шероховатости поверхности.

**В четвертой главе** изложены результаты разработки модели системы мониторинга и прогнозирования требуемой шероховатости поверхности. Проведен анализ точности моделей, которые традиционно используются в реализации систем автоматического управления. Были рассмотрены спектральная модель, корреляционная модель, модель пространства состояний,

модель, основанная на передаточных функциях. Полученные результаты показали, что применение указанных моделей дает погрешность, которая неприемлема (более 25 %).

В качестве совершенствования предлагается использовать модель, основанную на искусственных нейронных сетях и нечеткой логике. В результате тестирования этой модели было установлено, что погрешность не превышает 10 %.

**Пятая глава** посвящена разработке алгоритма и структуры системы автоматического обеспечения требуемой шероховатости поверхности при токарной обработке деталей из закаленных сталей на станках с ЧПУ. Также рассмотрены вопросы практической реализации мониторинга и прогнозирования шероховатости.

Применение системы позволило уменьшить на 40 % количество брака, вызванного разрушением инструмента и несоответствия требованиям к шероховатости поверхности.

В приложении приведены расчеты экономической эффективности полученных в работе решений. Экономические расчеты показали, что величина дохода составляет 150 рублей на условную деталь, срок окупаемости меньше года, что демонстрирует эффективность данного подхода.

### **Обоснованность и достоверность научных результатов**

Полученные автором результаты не противоречат проведенным ранее исследованиям. Теоретические закономерности подтверждены экспериментальными исследованиями. Достигнута достаточная точность расчетов. Технически грамотно применяются современные методы теории резания металлов, технологии машиностроения, математической статистики, теории вероятности, регрессионного анализа, теории нейронных сетей и нечеткой логики. Принятые в работе допущения и ограничения обоснованы и отражены в диссертации в полном объеме.

### **Научная новизна полученных результатов исследований, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Основные научные результаты, отражающие научную новизну:

- обоснование того, что ординаты профиля шероховатости поверхностей деталей из термоупрочненных сталей, обработанных точением, распределены по закону Накагами;

- выявленные зависимости, которые характеризуют количественное соотношение систематической и случайной компонент шероховатости поверхности деталей, обработанных чистовым точением, и показывают, что на формирование профиля основное влияние оказывают вибрации технологической системы;

- результаты анализа сигналов виброакустики, заключающиеся в выявлении наиболее информативного частотного диапазона и параметров для оценки шероховатости и состояния инструмента в процессе обработки;
- разработанный алгоритм и модель системы управления, позволяющей обеспечивать требуемую шероховатость и предусматривающей возможность самообучения.

### **Практическая ценность**

*Практическая ценность исследования* определяется тем, что разработанные алгоритм и модель профиля шероховатости поверхности на базе фрактальной геометрии и генератора на основе закона распределения Накагами позволяют решать широкий ряд задач контактного взаимодействия, моделирования герметичных соединений и т.д. Разработанные алгоритм и программный комплекс позволяют обеспечивать заданные параметры шероховатости поверхности в автоматическом режиме, а также повысить эффективность эксплуатации режущего инструмента за счет предупреждения его поломок. Результаты исследования приняты к внедрению на ООО «Зауральский инструментальный завод», г. Курган, ООО «Завод геологоразведочного оборудования и машин» (ООО ИТМ «Спецмашина»), г. Курган. Также результаты используются в учебном процессе Курганского государственного университета и Тюменского индустриального университета.

### **Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации, приведенных в диссертации**

Результаты исследования могут быть использованы производственными предприятиями различного профиля в условиях средне- и крупносерийного производства. Также результаты могут быть использованы в учебном процессе при изучении блока дисциплин, связанных с автоматизацией производства и управлением технологическими процессами, а также моделированием шероховатости поверхности различных объектов.

Основные результаты диссертационной работы отражены в 17 публикациях, в том числе в 5 работах, входящих в Перечень изданий, рекомендованных ВАК РФ, 4 публикациях в изданиях из международных баз данных Scopus.

### **Соответствие диссертации паспорту научной специальности**

Содержание диссертационной работы соответствует требованию паспорта научной специальности 2.5.6 (п. 7 «Технологическое обеспечение и повышение качества поверхностного слоя, точности и долговечности деталей машин» и п. 8 «Проблемы управления технологическими процессами в машиностроении»).

## Замечания по диссертационной работе

1. В анализе методов измерения параметров шероховатости не указано, какую информацию они позволяют получить, кроме  $R_a$  и  $R_z$  и какие предлагается использовать в работе?

2. В рассматриваемых моделях п. 1.3 и 1.4 не указано, какими методами измерялся рельеф?

3. П. 15. В выводах написано про состояние и качество поверхностного слоя, а оценка проводилась только по параметру шероховатости. Состояние поверхностного слоя - понятие более широкое.

4. П. 2.2. На процесс обработки влияют еще радиус округления лезвия геометрия режущей части. Указанные на стр. 54 факторы – доминирующие или единственные?

5. Параметры рельефа поверхности после точения по литературе бывают двух видов – кинематический регулярный рельеф, след от вершины резца и шероховатость не регулярного вида. На рисунках 3.8, 3.12 и 3.13  $R_a$  от чего?

6. В работе не указаны параметры кинематической погрешности, зависящие от радиуса при вершине и подачи инструмента.

7. Рис. 5.9 и 5.10. Кроме коррекции величины подачи, как еще можно повлиять на параметры шероховатости? СОЖ, скорость резания, глубина резания, параметры геометрии режущей части?

### Заключение

Работа является законченной и выполнена автором самостоятельно на достаточном высоком научном уровне.

Разработанные в диссертации теоретические и экспериментальные положения позволяют квалифицировать их как решение важной научной задачи технологического обеспечения требуемого качества поверхностного слоя. Полученные результаты соответствуют целевым индикаторам, установленным в программе Правительства РФ «Цифровая экономика», утвержденной постановлением №1632-р от 28.07.2017.

Представленные в работе исследования достоверны, сделанные выводы обоснованы.

Диссертационная работа содержит достаточное количество исходных данных, имеет пояснения, рисунки, графики, подробные расчеты. Написана технически квалифицированно и аккуратно оформлена. По каждой главе и работе в целом имеются выводы.

Основные этапы работы, выводы и результаты представлены в автореферате.

Диссертация является законченным научным исследованием, отвечает требованиям пунктов 9-14 Постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842 «О порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Кузнецова Елена-Михайловна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальностям 2.5.6 – «Технология машиностроения».

Отзыв подготовлен доктором технических наук, профессором кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» ФГАОУ ВО «Омский государственный технический университет» Поповым Андреем Юрьевичем.

Отзыв обсужден и одобрен на заседании кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» ФГАОУ ВО «Омский государственный технический университет» протокол № 5 от 01.11.2024 г. Присутствовали на заседании 8 чел, из них докторов наук 1 чел, кандидатов наук 5 чел. Результаты голосования: «за» - 8 чел., «против» - 0 чел., «воздержалось» - 0 чел.

Председатель заседания,  Зав. каф. МСиИ доц.,  
к.т.н. Е.В. Васильев

Секретарь заседания,  Доц., к.т.н. П.Е. Попов

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный технический университет»

Адрес: 644050, Сибирский федеральный округ, Омская область, г. Омск, Пр. Мира, д. 11

Телефон для справок: +7 (3812) 65-34-07

Факс: +7 (3812) 65-26-98


Электронная почта: [info@omgtu.ru](mailto:info@omgtu.ru)

Web-сайт: <https://www.omgtu.ru>

Отзыв составил: профессор  
кафедры МСиИ, д.т.н.

 А.Ю. Попов

Подписи  Е.В. Васильев

Заверяю:  Попов П.Е.

Ученый секретарь университета

 А.Ф. Немцова