

Ученому секретарю диссертационного совета 24.2.307.01, созданного на базе ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», кандидату технических наук, доценту Вулых Николаю Валерьевичу 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 83

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу
Кузнецовой Елены Михайловны
«Технологическое обеспечение требуемой шероховатости при токарной обработке деталей из закаленных сталей на станках с ЧПУ», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6 – «Технология машиностроения»

1. Актуальность темы диссертационного исследования

В диссертационной работе Кузнецовой Е. М. решается задача технологического обеспечения требуемых параметров шероховатости поверхности деталей из термоупрочненных сталей при обработке на станках с ЧПУ.

Одним из направлений решения указанной задачи является повышение надёжности процессов формирования требуемых параметров качества, благодаря применению различных систем мониторинга и диагностики состояния технологических систем (ТС) и их элементов, позволяющих системам управления ТС принимать решения о корректировке значений управляющих факторов обработки с учётом изменений контролируемых параметров обработки. Для технологических процессов лезвийной обработки к контролируемым параметрам, наряду с другими, относят параметры износа инструмента, вибраций ТС, которые, в свою очередь, определяют технологическую устойчивость процесса обработки.

Реализация подобных систем мониторинга и диагностики процессов обработки позволяет значительно повысить надёжность технологического обеспечения параметров качества изделий машиностроения, снизить процент брака в партиях выпускаемых изделий.

В диссертационной работе решается задача реализации системы управления процессом обработки деталей, позволяющей обеспечить требуемые параметры шероховатости поверхности на основе мониторинга состояния режущего инструмента и оценки влияния виброакустических воздействий на формирование профиля шероховатости.

В связи с этим, актуальность диссертационной работы сомнений не вызывает, а полученные результаты выполненных исследований перспективны для развития машиностроительного производства.

2. Достоверность и степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Достоверность выводов и результатов диссертации подтверждается удовлетворительным совпадением результатов моделирования профилей шероховатости поверхностей деталей с реальными профилями шероховатости, результатами экспериментальных исследований по применению системы адаптивного управления процессом обработки деталей на станке с ЧПУ, а также согласованностью отдельных результатов с работами других авторов.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается корректным использованием известных научных методов и подходов в области теории вероятности и математической статистики, фрактальной геометрии, теории обработки сигналов, теории случайных процессов, теории нечёткой логики и нейронных сетей, а также результатами, полученными в процессе работы над диссертацией автором или с его непосредственным участием.

Также обоснованность представленных в работе положений подтверждается внедрением отдельных результатов на производственных предприятиях ООО «Зауральский инструментальный завод», (г. Курган), ООО «Завод геологоразведочного оборудования и машин» (ООО ИТМ «Спецмашина», г. Курган), а также в учебном процессе Курганского государственного университета и Тюменского индустриального университета.

3. Научная новизна диссертационного исследования

Научная новизна полученных результатов диссертационного исследования подтверждается тем, что автор:

- установил, что ординаты профиля шероховатости поверхностей деталей из термоупрочнённых сталей, обработанных точением, распределены по закону Накагами;
- установил зависимости, характеризующие количественное соотношение систематической и случайной компонент профиля шероховатости поверхности деталей, обработанных чистовым точением;
- выявил наиболее информативный частотный диапазон виброакустических сигналов для их анализа и параметры для оценки шероховатости и состояния инструмента в процессе обработки;
- разработал алгоритм и модель системы управления процессом обработки, позволяющей обеспечивать требуемые параметры шероховатости и предусматривающей возможность самообучения.

4. Значимость для науки и практики полученных результатов

Значимость результатов диссертации для науки и практики определяется прикладным характером проведенных диссертационных исследований, решением ряда научных задач с практическим использованием полученных теоретических результатов, проведенными экспериментальными исследованиями.

Значимость работы для науки заключается в разработке методологической основы для повышения эффективности адаптивного управления технологическим процессом обработки деталей на станках с ЧПУ, для которой:

1. Разработаны алгоритм и модель шероховатости поверхности на основе модернизированного метода случайных сложений и генератора с использованием закона распределения Накагами, позволяющего получать описание объекта с погрешностью, не превышающей 10%.

2. Установлена зависимость уровня случайной компоненты и фрактальной размерности от параметров качества поверхности, в частности, доля случайной составляющей профиля шероховатости превышает 85%, что указывает на преобладание роли вибраций в формировании микрорельефа.

3. Установлено, что в качестве диагностического признака целесообразно использовать виброакустический сигнал в частотном диапазоне от 13 до 15 кГц, при этом для прогнозирования шероховатости поверхности и оценки состояния режущего инструмента целесообразно использовать мощность вибросигнала и показатель Хёрста.

4. Определены зависимости параметров шероховатости обработанной поверхности, показателя Хёрста и мощности вибросигнала, показателя состояния режущего инструмента от подачи и скорости резания для указанных условий обработки, зависимости значений параметра шероховатости Ra , показателя Хёрста и мощности вибросигнала от изменения ширины фаски износа режущего инструмента.

Значимость для практики полученных результатов определяется тем, что:

1. Разработана программа моделирования фрактальной кривой с использованием генератора высот на основе закона распределения Накагами.

2. Разработаны структурная схема, алгоритм и программный комплекс, позволяющий обеспечивать требуемые параметры шероховатости обработанной поверхности и реализовать мониторинг состояния режущего инструмента при токарной обработке термоупрочненных сталей на станках с ЧПУ.

5. Оценка содержания диссертации

Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы, включающего 94 наименования, 1 приложения. Содержание диссертации изложено на 131 странице, содержит 91 рисунок, 14 таблиц.

Во *введении* представлены обоснование актуальности работы, цель и задачи работы, её научная новизна, теоретическая и практическая значимость, перечислены положения, выносимые на защиту.

В *первой главе* представлен анализ научно-технических литературных источников, позволяющий на основе обзора существующих методов описания, измерения и оценки параметров шероховатости поверхностей деталей и методов технологического обеспечения параметров шероховатости сформулировать цель диссертационного исследования и поставить задачи для её достижения.

Обосновывается значимость влияния параметров шероховатости на формирование эксплуатационных свойств деталей машин. Представлен обзор суще-

ствующих методов исследования шероховатости поверхностей деталей и методов оценки износа инструмента. Значимость контроля износа режущего инструмента обоснована влиянием на процесс формирования шероховатости поверхности при обработке деталей. Рассмотрены различные подходы к выбору моделей описания шероховатости поверхности, позволяющих учитывать качественные и количественные свойства профиля шероховатости. Рассмотрены технологические факторы, влияющие на формирование параметров шероховатости при чистовом точении, в том числе акцентируется внимание на ухудшение качества обработанной поверхности из-за влияния вибраций, уровень которых возрастает вследствие износа инструмента.

Обобщение выводов к первой главе позволяет отметить следующее: при выполнении обработки деталей в условиях автоматизированного производства, в частности на станках с ЧПУ, необходимо обеспечить измерение и оценку параметров шероховатости поверхностей на основе методов активной диагностики и мониторинга состояния технологической системы. Перспективными являются методы, основанные на анализе виброакустических сигналов, регистрируемых в зоне обработки. Такой подход к автоматическому обеспечению заданных параметров шероховатости поверхности при чистовом точении позволяет учитывать индивидуальные свойства каждой конкретной технологической системы.

Во *второй главе* рассмотрены вопросы моделирования шероховатости поверхности, полученной после чистового точения.

Автор обосновывает необходимость формирования технологической базы данных, включающей модели шероховатости и позволяющей обеспечить возможность самообучения управляющей системы технологического оборудования и выявления информационных признаков для оценки выходных параметров (в частности, шероховатости) в процессе обработки деталей машин на станках с ЧПУ с целью выработки управляющих воздействий для коррекции режимов обработки.

Моделирование шероховатости, предлагается осуществлять на основе применения закона распределения случайных величин Накагами. Сравнительный анализ экспериментальных данных показал, что в соответствии с критерием согласия Колмогорова-Смирнова распределение Накагами позволяет «точно описать замирание сигнала». Определены параметры Ω и m закона Накагами, характерные для профилей шероховатости поверхностей деталей из конструкционных сталей, полученных после чистового точения.

Для оценки соотношения случайной и систематической составляющих профиля шероховатости на основе теории случайных процессов и фрактальной геометрии, применения программ «Анализ коррелограмм» и «Определение фрактальной размерности временного ряда ...» определялся уровень случайной компоненты γ и показатель Хёрста H . Установлены графические и аналитические зависимости значений γ и H от среднеарифметического отклонения профиля Ra .

Представлены результаты моделирования профиля шероховатости и шероховатой поверхности на основе алгоритмов построения кривых методом случайных сложений с использованием генераторов ординат профиля по законам распределения Гаусса и Накагами. Сравнение моделей шероховатости с реальными профилями показывает, что использование распределения Накагами даёт погреш-

ность, не превышающую 10%.

В *третьей главе* представлены методика и результаты экспериментальных исследований процессов, протекающих при токарной обработке заготовок из конструкционных и легированных сталей на станке с ЧПУ.

Установлены режимы и условия проведения экспериментов, виды применяемых инструментальных материалов. Перечисляются инструментальные, аппаратные и программные средства измерения и анализа уровней вибраций, возникающих при обработке резанием. Представлены характеристики профилометра для измерения параметров шероховатости поверхностей деталей и пресеттера, позволяющего контролировать износ режущей части инструмента.

По экспериментально установленным закономерностям формирования поверхностного слоя при обработке закалённых сталей установлен рекомендуемый диапазон подач при точении.

Получены зависимости значений высотного и шагового параметров шероховатости Ra и Sm , показателя Хёрста H и мощности вибросигнала Sw от подачи и скорости резания для указанных условий обработки. Также получены зависимости значений параметра шероховатости Ra , мощности вибросигнала Sw и показателя Хёрста H от изменения ширины фаски износа режущего инструмента.

В *четвертой главе* выполнена разработка структуры системы мониторинга и прогнозирования шероховатости поверхности.

На основе декомпозиционного анализа предложены альтернативные варианты построения структуры автоматизированного динамического мониторинга процесса чистовой обработки, из которых было выбрано парето-оптимальное решение построения системы измерения виброакустического сигнала.

Представлено обоснование выбора модели устройства принятия решений, которое реализует взаимосвязь входных и выходных параметров. Анализировалась точность традиционно используемых моделей устройств принятия решений и установлено, что они имеют большую погрешность вычислений (25%). Предложено использовать модель нейро-нечетких систем, для которой погрешность оценивания по проверочным выборкам не превышает 10%.

В *пятой главе* представлены результаты программной реализации алгоритма адаптивного управления процессом формирования заданных параметров шероховатости при обработке деталей. Предложенный алгоритм управления позволяет, используя технологический банк данных, и с учётом динамического состояния технологической системы получить фрактальную модель профиля шероховатости поверхности детали и назначить оптимальные режимы её обработки.

Представлена структура разработанной системы адаптивного управления, которая включает нейро-нечёткие блоки, позволяющие корректировать режимы обработки деталей с учётом виброакустических сигналов и износа инструмента.

Результаты применения предложенной системы адаптивного управления показывают, что коррекция подачи в процессе точения детали на станке с ЧПУ позволяет повысить надёжность обеспечения параметра шероховатости Ra за установленный период времени 60 мин – период стойкости инструмента. При обработке деталей без коррекции подачи обеспечивался параметр $Ra = 0,4 - 1,6$ мкм, при коррекции подачи – $Ra = 0,4 - 0,8$ мкм.

Разработанную систему адаптивного управления процессом обработки предложено интегрировать в общую систему мониторинга и управления производственной системой. Представлена схема и описание системы и представлены практические рекомендации по её реализации.

В *заключении* результаты и выводы логически вытекают из представленных в работе материалов.

Диссертационная работа по поставленным целям, задачам исследований и содержанию соответствует областям исследований паспорта специальности 2.5.6 – «Технология машиностроения»:

– п. 7 «Технологическое обеспечение и повышение качества поверхностного слоя, точности и долговечности деталей машин».

– п. 8 «Проблемы управления технологическими процессами в машиностроении».

Содержание диссертации соответствует содержанию научных работ, опубликованных соискателем. Основные положения диссертационного исследования опубликованы в 17 научных публикациях, в том числе в 5 работ опубликовано в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК РФ, 4 работы опубликовано в изданиях, индексируемых в международной библиографической и реферативной базе данных Scopus. Получено свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ.

6. Замечания по диссертационной работе.

1. Цель работы сформулирована некорректно, так как автор не указал, каким способом предлагается обеспечить требуемую шероховатость – «разработкой метода...», «установлением закономерностей...», «оптимизацией режимов» и т.п.

2. В первой главе не представлено обоснование 4-го вывода, в котором обозначена перспективность активной диагностики и мониторинга состояния технологических систем на основе применения методов анализа виброакустических сигналов.

3. На рис 2.9 (стр. 53) представлена выравнивающая кривая плотности распределения ординат профиля шероховатости. Визуально гистограмма не имеет явно выраженного математического ожидания, поэтому вызывает сомнение положение вершины выравнивающей кривой.

4. На стр. 60 диссертации указано, что зависимость (2.18) согласуется с зависимостью (2.19). Однако зависимость (2.18) является убывающей (рис. 2.12), а зависимость (2.19) является возрастающей. Кроме того значения γ в зависимости (2.19) отличаются от значений в зависимости (2.18) в сотни и тысячи раз.

5. Во 2 главе не указано, каким образом при генерировании ординат профилей шероховатости задаются параметры нормального распределения σ (рис. 2.17) и параметры распределения Накагами σ , γ , Ω , m (рис. 2.21).

6. На графиках рис. 2.20 не указана размерность значений по оси абсцисс, что делает непонятным сравнение значений параметров Ra .

7. В диссертации нет обоснования термина «мощность вибросигнала»? Каков физический смысл «мощности вибросигнала», имеет ли он отношение к изме-

рению показателей виброскорости или виброускорения в зоне обработки или это одна из статистических характеристик профиля шероховатости?

8. Отсутствуют выводы к 5 главе диссертации.

7. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением ВАК о порядке присуждения учёных степеней

Диссертационная работа Кузнецовой Елены Михайловны «Технологическое обеспечение требуемой шероховатости при токарной обработке деталей из закаленных сталей на станках с ЧПУ» является завершённой научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена актуальная задача технологического обеспечения требуемых параметров шероховатости поверхности при токарной обработке деталей на станках с ЧПУ на основе разработанной системы мониторинга состояния режущего инструмента и оценки влияния виброакустических воздействий на формирование профиля шероховатости, что имеет значение для развития машиностроительных технологий РФ.

Тема диссертации актуальна, полученные соискателем результаты подтверждают решение поставленных в ней задач, обладают научной новизной и практической значимостью, вносят существенный вклад в развитие науки и практики в области технологии машиностроения.

Выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, обоснованы теоретически и экспериментально.

Содержание диссертации соответствует пунктам 7, 8 паспорта специальности 2.5.6 – «Технология машиностроения».

Содержание диссертации соответствует содержанию научных работ, опубликованных соискателем.

Диссертация прошла достаточно широкую апробацию на научно-практических и научно-технических конференциях, тематика которых совпадает с основными направлениями исследований, представленных соискателем в работе.

Основные результаты исследований внедрены в современное машиностроительное производство и используются в учебном процессе в Курганского государственного университета и Тюменского индустриального университета.

Материал диссертации структурирован, обладает внутренним единством, изложен на грамотном техническом языке с использованием общепринятой терминологии. Последовательность изложения материала создает целостное представление о содержании диссертации.

Автореферат диссертационной работы отражает содержание диссертации, дает возможность судить о целях и задачах исследования, научных выводах и результатах и соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Считаю, что диссертационная работа на тему «Технологическое обеспечение требуемой шероховатости при токарной обработке деталей из закаленных сталей на станках с ЧПУ» по своему содержанию, актуальности, научной новизне,

