

ОТЗЫВ НАУЧНОГО КОНСУЛЬТАНТА

на диссертацию **Якубова Чингиза Февзиевича** «Технологические основы обеспечения качества и повышения стабильности процессов термофрикционного резания сталей», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.5 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

Работу над докторской диссертацией Чингиз Февзиевич начал в 2014 году. Накопив большой объем научного материала для завершения диссертации, он поступил в 2024 г. в докторантуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Севастопольский государственный университет» (ФГАОУ ВО «СевГУ») по научной специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки». Будучи докторантом, он подготовил диссертацию к защите.

Работая над диссертацией по теме «Технологические основы обеспечения качества и повышения стабильности процессов термофрикционного резания сталей», Якубов Ч.Ф. выполнил большой объем работы по обзору и анализу литературы по проблеме, обоснованию теоретико-методологической базы моделирования и исследования, сбору, обработке и обобщению материалов экспериментальных исследований процесса термофрикционного резания (ТФР). Чингиз Февзиевич активно участвовал в научных исследованиях кафедры, опубликовала более 30 работ в рецензируемых журналах уровня K1 и K2, включенных в перечень ВАК РФ, автором публикации уровня Q2, которая проиндексирована в наукометрической базе данных Scopus. Он является автором 12 патентов на полезные модели и изобретения.

Ч.Ф. Якубов выступал на международных конференциях и семинарах. Основные положения диссертации получили полное отражение в докладах на научно-технических конференциях и семинарах, а также в публикациях по теме диссертации. Результаты диссертации представлены на международных и других конференциях, в том числе на международных и всероссийских конференциях: 3-й Международный научный симпозиум перспективные технологии аэрокосмической техники (ТАКТ-2021), Севастополь 06 – 10 сентября 2021 г.; Международная научно-техническая конференция «Современные направления и перспективы развития технологий обработки и оборудования 2023», Севастополь 5-8 сентября 2023 г.; 15-я Международная научно-техническая конференция «Наукоемкие технологии в машиностроении» в рамках конгресса «Русский инженер», 30 октября – 3 ноября 2023 г., МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва.; Международная научно-практическая конференция «Приоритетные направления развития науки и образования в условиях формирования технологического суверенитета», 8–9 августа 2024 г., г. Ростов-на-Дону.; Международная научно-практическая конференция «Современные технологии: опыт внедрения, новые тренды и перспективы развития 2024», 16-20 сентября, пгт Кореиз, г. Ялта; Международная научно-практическая конференция «Современные

технологии: опыт внедрения, новые тренды и перспективы развития 2024», 16-20 сентября 2024, г. Ялта; XVI Международная научно-техническая конференция «Научоёмкие технологии машиностроения, авиации и транспорта», 23-29 сентября 2024, г. Ростов-на-Дону, п. Дивноморское; XVI Международная научно-техническая конференция «Машиностроительные технологические системы», 10-12 апреля 2025, г. Ростов-на-Дону; XVII Международная научно-техническая конференция «Научоёмкие технологии в машиностроении: современные тренды, перспективы развития и опыт подготовки инженерных кадров - 2025», 8-13 сентября 2025 г., г. Алушта; II Дальневосточная школа-семинар «Фундаментальная механика в качестве основы совершенствования промышленных технологий, технических устройств и конструкций», 11-15 сентября 2017 г., г. Комсомольск на Амуре; Национальная научно-практическая конференция «Реновация машин и оборудования», 26-28 февраля 2020 г., г. Уфа.

Материалы диссертации с достаточной полнотой отражены в работах, опубликованных соискателем.

Актуальность темы диссертационной работы обусловлена тем, что при изготовлении широкого класса деталей машин, нужно с одной стороны выдерживать заданные требования по качеству получения геометрических размеров, шероховатости и физико-механическому состоянию поверхностного слоя, с другой стороны повышать производительность их выпуска в связи с требованиями рынка. Ставится задача не только повысить точность изготовления деталей в целом, но и обеспечить стабильность их параметров. Указанная задача является актуальной не только для чистовых методов формообразования но и для черновой обработки, от качество которой зависит эффективность последующих чистовых операций.

Известными методами получения поверхностей с необходимыми показателями качества являются термофрикционная и вибрационная обработки. Недостатком термофрикционной обработки является неопределенность формы полученных поверхностей и сложность реализации размерной обработки. Вибрационная обработка требует дополнительных приводов и систем регулирования. Целесообразным является сочетание указанных методов.

Для стабилизации показателей качества технологические режимы назначаются исходя из неблагоприятных условий, например, возобновление режущих свойств изношенного инструмента производится значительно раньше, чем того требует его действительное состояние. При прогнозировании состояния ТС используются традиционные детерминированные модели протекания технологического процесса (ТП), осуществляемые с применением традиционных режимов резания, способов диагностики и управления.

Процессы термофрикционного резания имеют сложную стохастическую природу, что приводит к разбросу показателей качества изделий и не позволяет использовать все возможности рассмотренных методов.

Нестабильность параметров деталей определяется воздействием в процессе их производства на технологическую систему (ТС) изменяющихся

внешних факторов, часть из которых неизвестна и не контролируется в процессе обработки.

Таким образом, особое значение приобретают специальные методы обработки деталей, которые обеспечивают улучшение характеристик поверхностного слоя детали при обработке. К таким методам относятся комплексные методы обработки, объединяющие термофрикционную и вибрационную механическую обработку, с применением систем динамической стабилизации с обратной связью. Совершенствование процесса ТФР требует также новых технологий, совершенствования конструкций режущего инструмента и разработку эффективных способов управления.

Необходимо комплексное решение этих задач, совокупность которых представляют собой нерешенную до настоящего времени проблему.

Научная новизна работы. На основе системного подхода к исследованию технологических операций и основных положений технологии машиностроения и теории резания материалов в работе получены следующие новые научные результаты:

1. Разработана и научно обоснована методология обеспечения стабильности качества процесса высокопроизводительного ТФР, построенная на основе изучения взаимосвязей технологической операции как динамической системы, при воздействии на нее изменяющихся входных, управляющих и возмущающих факторов, их динамической диагностики и стабилизации процесса ТФР непосредственно в процессе обработки.

2. Выдвинуто научное положение о возможности обеспечения гарантированного качества изделий на операциях ТФР, подверженных влиянию возмущающих случайных факторов в условиях реализации предельных граничных циклов, при обеспечении непрерывной диагностики состояния ТП и осуществлении динамической стабилизации параметров технологического цикла относительно номинального режима непосредственно в процессе обработки.

3. Впервые обнаружена специфическая особенность процессов тепловыделения при ТФР, заключающаяся в наличии основного источника тепла внутри объема слоя жидкого металла, осуществляющего напорное движение между поверхностью инструмента и обрабатываемой поверхностью заготовки, и поверхностью стружки. Установлено, что при ТФР в зоне контакта инструмента и заготовки доминируют рабочие процессы, связанные с течением расплавленного металла. при врезании термофрикционного диска в материал заготовки изменяется толщина расплавленного металла; она увеличивается по параболическому закону и достигает насыщения за промежуток времени 0,2...0,4 с. При этом толщина расплавленного металла равна толщине срезаемого слоя.

4. Доказано, что дополнительным фактором локализации источников теплообразования в жидком металле является анизотропия параметров теплопроводности в зоне обработки, обусловленная разницей коэффициентов теплопроводности холодного и нагретого металла и конвективным переносом тепла в слое металла и проявляется в виде существенной разницы главных значений тензора теплопроводности, основное тепловыделение

имеет место внутри объема жидкого слоя металла, где наблюдаются наибольшие значения градиента скорости, а в этом слое имеют место вихревые и отрывные явления.

5. Впервые установлены закономерности течения расплавленного металла в зоне контакта, доказано что пласт расплавленного металла выполняет защитные функции по типу смазывающего вещества, а в слое расплавленного металла между заготовкой и диском имеют место две области течения: напорная и безнапорная(обратная). Выявлено, что напорная область течения занимает $2/3$ ширины заготовки и находится на выходе инструмента из зоны резания, в ней имеет место ламинарное течение жидкого металла с параболическим профилем скоростей. Установлено, что протяженность безнапорной области составляет $1/3$ ширины обрабатываемой заготовки и характеризуется повышенным давлением, где средняя окружная скорость движения металла значительно меньше окружной скорости инструмента.

6. Разработаны новые конструкции специального инструмента, обеспечивающие целенаправленное термическое воздействие на процесс обработки путем управляемого теплоотвода, необходимые параметры вибраций в динамической системе станка, формирование стружки и предотвращение образования нароста. позволяющие целенаправленно формировать заданное качество обработанной поверхности

7. Впервые установлены взаимосвязи спектральных характеристик колебаний элементов технологической системы станка со спектром волнистости обработанной поверхности. показано, что внешняя поверхность инструмента при колебаниях изменяет толщину слоя металла, вытесняя его на поверхность заготовки. При этом, высота выступов будет пропорциональна относительной скорости инструмента.

8. Для количественной оценки адгезионно активных структур на поверхностях ТФД по величине свободной энергии предложено новое научное понятие коэффициента темно-серого оттенка (КТСО), который характеризует распределение плотности микроструктурных объектов по величине свободной энергии, и косвенно отражает химический потенциал микроструктурного объекта и их комбинаций.

9. Построена подсистема технологической диагностики, которая дает возможность получать информацию о состояниях ТП, с учетом его стохастической природы, непосредственно в процессе обработки в виде следящей системы - фильтра Калмана-Бюсси с минимально достижимой среднеквадратической ошибкой, позволяющая оценивать, в том числе непосредственно недоступные измерению, параметры состояния процесса ТФР как динамической системы.

10. Разработана система динамической стабилизации параметров ТС, использующая результаты технологической диагностики и позволяющая учесть и скомпенсировать влияние возмущающих факторов на результирующие выходные параметры технологического процесса ТФР, обеспечивающая повышение стабильности качества изделий при работе в режимах предельных граничных циклов.

Достоверность полученных результатов обеспечивается корректностью постановки задач при построении математических моделей, обоснованностью принятых допущений, использованием математически корректных методов. Адекватность полученных результатов подтверждена экспериментальной проверкой и результатами внедрения в производство.

Материалы диссертационной работы внедрены в производство на ООО «Донбасс-Сервис» (г. Луганск) с годовым экономическим эффектом от внедрения 1885000 руб.; ООО «Локомотив Сервис Ростов» (г. Донецк, Ростовская область) с годовым экономическим эффектом от внедрения 2440000 руб.; АО «Керченский металлургический завод» (г. Керчь) с годовым экономическим эффектом от внедрения 4758900 руб.; ООО «ПК ТпЮГ» (г. Симферополь) с годовым экономическим эффектом от внедрения 3595420 руб.

Теоретическая и практическая значимость работы:

Созданы технологические основы обеспечения качества и повышения стабильности обработки стальных заготовок на операциях термофрикционного резания.

- 1) Разработана теория оценки, прогнозирования и управления операцией ТФР, позволяющая осуществлять расчет оптимальных режимов резания, обеспечивающих стабильность показателей качества поверхностного слоя заготовок при высокопроизводительном ТФР сталей.
- 2) Разработан алгоритм построения подсистемы технологической диагностики, которая дает возможность получать информацию о состояниях ТП, с учетом его стохастической природы, непосредственно в процессе обработки в виде следящей системы - фильтра Калмана-Бюсси с минимально достижимой среднеквадратической ошибкой.
- 3) Построен динамический стохастический регулятор, использующий результаты технологической диагностики, и позволяющая учесть и скомпенсировать влияние возмущающих факторов на результирующие выходные параметры технологического процесса.
- 4) Разработаны методики и практические рекомендации по эффективной реализации в промышленности разработанных методов комплексной обработки ТФР.
- 5) Предложены конструкторско-технологические решения по созданию оснастки, инструмента и схем обработки, обеспечивающие возможность практической реализации комплексного метода обработки.
- 6) Разработаны алгоритмы и программы для расчета режимов ТФР, а также показателей качества полученной поверхности. Практическая реализация основных результатов исследования позволяет увеличить производительность при обработке плоскостей в 1,3...1,5 раза и получить износостойкие поверхности.

В ходе работы над диссертацией Ч.Ф. Якубов проявил себя сформировавшимся специалистом в области технологии и оборудованию механической и физико-технической обработки. Теоретические исследования, приведенные в диссертации, базируются на основах классической механики, системного и математического анализов, методах математической статистики.

