

«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор ФГБОУ ВО «Иркутский национальный
исследовательский технический университет»

доктор технических наук, доцент

М.В. Корняков

«01» _____ 2025 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию

Торопа Юрия Алексеевича

на тему: «Совершенствование технологии калибрования отверстий дорном с наложением ультразвука на деталь» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям 2.5.6 – Технология машиностроения 2.5.5 Технология и оборудование механической и физико-технической обработки

Актуальность темы.

Среди методов отделочно-упрочняющей обработки отверстий, калибрование дорном занимает особое место. Этот метод позволяет осуществлять обработку различных по форме отверстий без применения сложного оборудования и оснастки. Наиболее востребован он для калибрования отверстий, обеспечивающих точное центрирование на валу деталей типа зубчатых колес и дисков, подвергаемых для повышения износостойкости, термической обработке.

Несмотря на достаточную проработанность процесса обработки отверстий дорном, широкого практического применения, как отмечает справедливо автор, он не получил из-за нерешенности следующих ключевых вопросов: во-первых отсутствие четких практических рекомендаций по выбору натяга калибрования, являющегося основным технологическим параметром процесса; во-вторых, предлагаемая схема введения в очаг деформации ультразвуковых колебаний, обеспечивающих снижение силовых параметров процесса обработки, по технико-экономическим показателям и по эффективности является трудно реализуемой.

Необходимость разрешения этих вопросов определяют актуальность диссертационного исследования, основной целью которого является совершенствование технологии калибрования отверстий дорном, на основе наложения ультразвуковых колебаний на деталь, установления закономерностей их влияния на качество и силу деформирования поверхности, разработки методики проектировании операций калибрования и рекомендаций по их практической реализации.

Структура и объем диссертационного исследования.

Диссертационная работа включает введение, пять глав, заключение, библиографический список, состоящий из 142 источников. Работа изложена на 158 страницах машинописного текста, содержит 83 рисунка, 19 таблиц, 8 приложений.

Цель и задачи диссертационного исследования.

Целью работы является совершенствование технологии калибрования отверстий дорном на основе наложения ультразвуковых колебаний на деталь, установление закономерностей их влияния на качество и силу деформирования поверхности, разработка методики проектирования операций калибрования и рекомендаций по их практической реализации.

При выполнении диссертационного исследования автор поставил перед собой следующие основные задачи:

1. Разработать технологическую схему калибрования отверстий дорном с наложением ультразвуковых колебаний на деталь и обосновать параметры управления процессом.
2. Разработать модель процесса формирования деформированного поверхностного слоя отверстия в условиях воздействия УЗК на деталь.
3. Установить зависимости для расчета технологических параметров, силы деформирования, акустических характеристик ультразвуковой колебательной системы, являющихся исходной предпосылкой для выбора технических средств реализации технологической схемы калибрования отверстий дорном с наложением ультразвуковых колебаний на деталь.
4. Разработать акустическую модель, раскрывающую закономерности изменения механических свойств детали типа дисков под воздействием УЗК.
5. Предложить и экспериментально обосновать расчетные зависимости геометрических параметров качества калиброванной поверхности отверстия от её исходных параметров и степень влияния на них ультразвуковых колебаний.
6. Разработать методику проектирования операций калибрования отверстий в условиях УЗК на деталь и технологические рекомендации для их практической реализации.

Научная новизна исследования заключается в том, что:

1. Разработана аналитическая модель процесса дорнования, позволяющая определить величину удельного давления дорна на обрабатываемую поверхность

отверстия, с учетом УЗК, подводимых в очаг деформации через деталь, а также силу воздействия на дорн, необходимую для реализации процесса калибрования.

2. Установлены зависимости для расчета натяга обработки отверстий дорном, характеристик качества поверхностного слоя (микротвердость, высота неровностей профиля), модифицированного в процессе калибрования с наложением УЗК на деталь.

3. Предложена акустическая модель УЗК, раскрывающая закономерности распространения ультразвуковых волн в деталях типа дисков с отверстием и их влияние на изменение микротвердости и шероховатости поверхностного слоя калиброванного отверстия.

4. Разработана методика расчета концентратора - волновода ультразвуковой колебательной системы, обеспечивающего усиление амплитуды воздействия УЗК на деталь, и снижение энергозатрат акустического блока технологической системы калибрования отверстий.

Автором получены принципиально новые результаты:

1. Предложена технологическая система (патент № 2817100) калибрования отверстий дорном с наложением УЗК на деталь, которая, в отличие от технологической системы с наложением УЗК на дорн, обладает рядом технико-экономических преимуществ: автономность акустического блока от технологического оборудования, его компактность, сокращение количества элементов волноводной колебательной системы, обеспечение концентрации акустической энергии непосредственно в очаге деформации, возможность использования малогабаритного и универсального оборудования для осуществления процесса калибрования.

2. Установлено, что наибольший технологический эффект калибрования отверстий дорном в условиях воздействия УЗК на деталь, при котором обеспечивается требуемая точность и шероховатость поверхности, достигается при натягах, не превышающих $2/3$ допуска на размер исходного отверстия, скорости перемещения дорна 0,02–0,05 м/мин и амплитуде УЗК в контактной зоне дорна с деталью 4–6 мкм.

3. Полученная в результате моделирования процесса формирования деформированного поверхностного слоя формула для расчета силы калибрования отверстия позволяет определить степень влияния на него УЗК. Установлено, что сила дорнования уменьшается на величину ультразвукового давления в зоне контактного взаимодействия дорна с поверхностью и при амплитуде колебаний в зоне очага деформации 4–6 мкм обеспечивает снижение силы калибрования в среднем в 1,2 раза.

4. Экспериментально, с применением индукционного метода, подтверждена акустическая модель распространения ультразвуковых волн в детали типа диска, предложенная на основе законов геометрической акустики, согласно которой в условиях установившегося ультразвукового поля в детали формируются по concentричным окружностям кольцевые волновые фронты различной амплитуды, снижающейся от наружной поверхности образца к поверхности отверстия и оказывающие определенное акустическое давление в локальной зоне их действия.
5. Доказано, что ультразвуковое воздействие на деталь приводит к снижению её микротвердости материала на величину, соизмеримую с величиной акустического давления в локальной зоне их действия. Установлено, что в месте контакта источника УЗК с наружной цилиндрической поверхностью образца исходная микротвердость снижается в среднем в 1,25 раза, а поверхностная микротвердость отверстия, находящегося от источника УЗК на расстоянии 15–35 мм, в 1,15 раза. Калибрование отверстий дорном при амплитуде УЗК в зоне очага деформации 4–6 мкм также сопровождается снижением микротвердости деформированного поверхностного слоя отверстия в 1,15–1,18 раза.
6. Доказано, что калибрование отверстий в условиях ультразвукового воздействия на деталь позволяет снизить величину высоты неровностей профиля поверхности отверстия в 10 раз по сравнению с исходной поверхностью.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций.

Достоверность результатов настоящего диссертационного исследования подтверждается достаточным объемом анализа литературных источников, использованием современных методик экспериментальных и теоретических исследований и обработки полученных данных.

Полученные автором выводы в достаточной степени обоснованы, опираются на существующие научные положения и не противоречат известным теориям и исследованиям. Принятые граничные условия являются допустимыми и не оказывают существенного влияния на результаты работы. В процессе диссертационного исследования автор корректно ссылается на заимствованные методики и научные результаты, полученные другими авторами.

Результаты диссертационного исследования докладывались: на научном симпозиуме технологов-машиностроителей «Фундаментальные основы физики, химии и механики наукоёмких технологических систем формообразования и сборки изделий», Ростов-на-Дону, 2020–2023 гг.; международной научно-технической конференции "Машиностроительные технологические системы" (METS21), Ростов-на-Дону, 2021–2023 гг.; всероссийской научно-технической

конференции «Современные тенденции развития инструментальных систем и металлообрабатывающих комплексов» 2022–2024 гг.; международной научно-технической конференции «Современное перспективное развитие науки, техники и технологий», Воронеж, 2023 г.; всероссийской (национальной) научно-практической конференции «Актуальные проблемы науки и техники», Ростов-на-Дону, 2023–2024 гг.; XXV Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспектива-2022», Нальчик; VIII Международной научно-технической конференции «Пром-Инжиниринг», Сочи, 2023 г.

По теме диссертации опубликовано 15 научных работ, в том числе 3 статьи в журналах, входящих в перечень ВАК РФ, 2 статьи, рецензируемые в системе Scopus; получен патент РФ на изобретение № 2817100.

Значимость результатов, полученных автором диссертационной работы, для науки и практики.

Значимость работы подтверждена практической реализацией и результатами внедрения на ОАО «Технология» г. Азов, для обработки отверстий в детали типа звездочка. Основные научные положения и методические материалы используются в учебных дисциплинах на кафедре «Технология машиностроения» Донского государственного технического университета.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы

Разработанные конструкторско-технологические рекомендации целесообразно использовать на предприятиях-изготовителях, специализирующихся на обработке зубчатых колес с посадочными отверстиями различной формы. Для реализации процесса отделочно-упрочняющей обработки может эффективно применяться разработанная технологическая система калибрования отверстий дорном с наложением УЗК на деталь.

Вместе с тем, диссертация не лишена следующих недостатков:

1. Делая выводы по литературному обзору в 1 главе, автор выделяет в качестве главного параметра качества деталей точность упрочняемых внутренних поверхностей. Предлагая способ дорнования отверстий с наложением УЗК на деталь, в работе отсутствует пояснения физики процесса, т.е. влияние УЗК на точность отверстий.
2. На рис. 2.1 приведены варианты направления УЗК на деталь при дорновании отверстий. Соискатель выбирает направление воздействия УЗК перпендикулярное направлению движения дорна, ссылаясь на снижение

- деформирующего усилия. Однако очевидное снижение точности отверстия при боковом воздействии силы на деталь не учитывается и не объясняется.
3. На рис. 4.19 показана схема замеров микротвердости упрочненных дисков, из которой следует, что на рабочей поверхности отверстия, которая воспринимает внешние воздействия, микротвердость не определена, поэтому результаты, представленные на рис. 4.20 вызывают сомнение.
 4. Качество упрочняемой поверхности во многом зависит от геометрии деформирующего инструмента. Однако в данной работе этот вопрос, к сожалению, исключен из рассмотрения.
 5. В диссертации не отмечены предельные размеры деталей типа дисков для эффективного применения предложенной схемы калибрования.
 6. Оценивая влияние УЗК на изменение микронеровностей поверхности целесообразно сравнивать результаты не только с исходной шероховатостью, но и с результатами калибрования без УЗК. В этом случае можно будет оценить именно роль УЗК при сглаживании микронеровностей.

Заключение

В диссертации содержится комплекс научно-технических решений, направленных на совершенствование технологии калибрования отверстий дорном. Задача решена на основе наложения ультразвуковых колебаний на деталь, установлены закономерностей их влияния на качество поверхности и силу деформирования, разработана методика проектирования операций калибрования и рекомендаций по их практической реализации. В работе изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения, расширяющие область применения отделочно-упрочняющей обработки отверстий. Основные результаты и выводы по работе обоснованы теоретически и экспериментально, и опубликованы в рецензируемых научных изданиях. Автореферат достоверно и полностью отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа ТОРОПА ЮРИЯ АЛЕКСЕЕВИЧА соответствует паспорту научной специальности 2.5.6 «Технология машиностроения» (пункты 3, 5), 2.5.5 «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки» (пункты 2, 4), а также требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» (п. 9 и др.), утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальностям 2.5.6 «Технология машиностроения», и 2.5.5 «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Диссертационная работа ТОРОПА ЮРИЯ АЛЕКСЕЕВИЧА, автореферат и настоящий отзыв обсуждены на Ученом совете института Авиаашиностроения и транспорта в присутствии профессорско-преподавательского состава кафедр: технология и оборудование машиностроительных производств, конструирование и стандартизация машиностроения, материаловедения, сварочных и аддитивных технологий, самолетостроение и эксплуатация авиационной техники, протокол №7 от 31 марта 2025 г.

Директор института авиамашиностроения
и транспорта, доктор технических наук
профессор

Андрей Евгеньевич Пашков

(научная специальность 05.02.08.

– технология машиностроения),

Тел. (3952) 40-57-20 Email: pashkov@istu.edu

Профессор кафедры материаловедения,
сварочных и аддитивных технологий
доктор технических наук, профессор

Семен Азикович Зайдес

(научная специальность 05.02.08.

– технология машиностроения,

05.03.01_Процессы механической и физико-технической обработки,
станки и инструменты

Тел. (3952) 40-5079 Email: zsa@istu.edu

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования " Иркутский национальный исследовательский технический
университет ", ИрНИТУ

664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова 83,+7 (3952) 405000, info@istu.edu