

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

ГНУ «Объединенный
институт машиностроения
НАН Беларуси»



С.Н. Поддубко

«4» февраля 2025 г.

ОТЗЫВ ОППОНИРУЮЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Довгалёва Александра Михайловича «Теоретические и технологические основы отделочно-упрочняющей совмещенной магнитно-динамической обработки поверхностей нежестких деталей из ферромагнитных материалов», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.07 – технология и оборудование механической и физико-технической обработки

1. Соответствие содержания диссертации заявленной специальности и отрасли науки

Диссертационная работа Довгалёва А.М. посвящена разработке теоретических и технологических основ нового метода отделочно-упрочняющей обработки поверхностей нежестких деталей из ферромагнитных материалов – метода совмещенной магнитно-динамической обработки (СМДО), предусматривающего комбинированное энергетическое воздействие вращающимся магнитным полем инструмента и импульсно-ударным деформированием. По совокупности поставленных целей и решаемых задач содержание диссертационной работы Довгалёва А.М. соответствует отрасли технические науки и паспорту специальности 05.02.07 – технология и оборудование механической и физико-технической обработки (пункты III.1, III.3, III.4).

Поставленная цель исследований и решаемые в работе задачи соответствуют приоритетным направлениям научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 гг. «Машиностроение, машиностроительные технологии, приборостроение и инновационные материалы: машиностроение и машиноведение» (Указ Президента Республики Беларусь от 07.05.2020 г. №156).

2. Научный вклад соискателя в решение научной задачи с оценкой ее значимости

Соискателем получены новые научно-обоснованные результаты, совокупность которых вносит весомый вклад в решение поставленной научной задачи, который заключается в:

Вх. № Н-52/03
От 06.02.2025

– результатах теоретических исследований кинематики движения деформирующих шаров в магнитном поле инструмента в процессе совмещенной магнитно-динамической обработки внутренних и наружных цилиндрических нежестких деталей из ферромагнитных материалов, позволяющих устанавливать режимы процесса совмещенного упрочнения для достижения заданных параметров качества;

– результатах теоретического исследования динамики процесса совмещенной магнитно-динамической обработки, позволяющих определить требуемые характеристики источников магнитного поля магнитной системы комбинированного инструмента, сообщающей деформирующим шарам рабочие колебательные движения;

– результатах математического моделирования процесса упругопластической деформации микронеровностей поверхности нежесткой детали деформирующим шаром, позволяющих прогнозировать характеристики качества упрочненного поверхностного слоя;

– результатах теоретических исследований процесса формирования шероховатости поверхности при совмещенной магнитно-динамической обработке, позволяющих осуществлять прогнозирование параметров микрорельефа упрочняемой поверхности;

– установлении влияния параметров и режимов процесса совмещенной магнитно-динамической обработки на характеристики качества упрочненного поверхностного слоя нежестких ферромагнитных деталей, в определении преимуществ разработанного метода, заключающихся в снижении исходной шероховатости поверхности по параметру Ra с (6,3–0,40) до (0,6–0,08) мкм; повышении геометрической точности обработки на 10–27 % и удельной маслосъемкости поверхности в 1,4–2,8 раза; увеличении глубины модифицированного поверхностного слоя, формировании наноструктурированного поверхностного слоя толщиной 1,5–4,5 мкм с мелкодисперсной субзеренной структурой наноразмерного диапазона (15–100) нм, увеличении износостойкости упрочненных поверхностей в 3,8–4,9 раза.

3. Конкретные научные результаты (с указанием их новизны, научной и практической значимости), за которые соискателю может быть присуждена искомая учёная степень

Довгалёву А.М. может быть присуждена ученая степень доктора технических наук по специальности 05.02.07 – технология и оборудование механической и физико-технической обработки за новые научные результаты в разработке теоретических и технологических основ отделочно-упрочняющей совмещенной магнитно-динамической обработки поверхностей нежестких деталей из ферромагнитных материалов, включающие:

– математические модели процесса совмещенной магнитно-динамической обработки, отличающиеся рассмотрением движения

деформирующих шаров в постоянном и переменном магнитном поле, создаваемом магнитной системой инструмента и намагниченным поверхностным слоем ферромагнитной детали, *позволившие* рассчитать кинематические характеристики движения деформирующих шаров и *установить их взаимосвязь* с параметрами комбинированного инструмента и режимами процесса совмещенного упрочнения;

– динамическую модель комбинированного инструмента для совмещенной обработки, *отличающуюся* учетом связи деформирующих шаров, расположенных в кольцевой камере, с магнитной системой инструмента, количества и углового расположения источников магнитного поля, дополнительного магнитного воздействия на поверхностный слой ферромагнитной детали, *позволяющую* установить влияние параметров процесса совмещенной обработки на жесткость магнитной связи деформирующих шаров инструмента с магнитной системой комбинированного инструмента;

– математическую модель процесса упругопластической деформации микронеровностей поверхности ферромагнитной детали деформирующим шаром, *отличающуюся* учетом комплексного магнитно-силового воздействия на материал упрочняемой ферромагнитной детали, *позволяющую* рассчитать глубину внедрения деформирующего шара в упрочняемую поверхность, а также глубину упрочненного поверхностного слоя ферромагнитной детали;

– математическую модель процесса формирования шероховатости поверхности нежесткой ферромагнитной детали при совмещенной магнитно-динамической обработке, *отличающуюся* учетом комплексного магнитно-силового воздействия на поверхностный слой нежесткой ферромагнитной детали, *позволяющую* рассчитать величину шероховатости упрочненной поверхности;

– экспериментальные исследования процесса совмещенной магнитно-динамической обработки, *позволившие* установить: снижение шероховатости поверхности упрочненных нежестких ферромагнитных деталей; повышение геометрической точности обработки и удельной маслостойкости поверхности; увеличение глубины модифицированного поверхностного слоя; формирование наноструктурированного поверхностного слоя с мелкодисперсной субзеренной структурой наноразмерного диапазона, характеризующегося увеличением плотности дислокаций и остаточных напряжений сжатия; повышение износостойкости упрочненных поверхностей нежестких деталей из ферромагнитных материалов.

Научная значимость результатов диссертации заключается в разработке математических моделей процесса совмещенной магнитно-динамической обработки, упругопластической деформации микронеровностей деформирующим шаром, формирования микронеровностей в процессе совмещенной обработки, позволивших получить научно обоснованные

рекомендации по выбору режимов процесса совмещенной обработки и прогнозированию характеристик качества упрочняемой поверхности.

Практическая значимость результатов исследований состоит в разработке технологии совмещенной магнитно-динамической обработки и комбинированных инструментов для ее реализации, получении рекомендаций по выбору режимов процесса совмещенного упрочнения и проектированию магнитных систем инструментов, во внедрении результатов исследований в производство на 7 машиностроительных предприятиях.

4. Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует

Анализ содержания диссертационной работы, постановка цели и задач исследований, уровень решения актуальной проблемы отделочно-упрочняющей обработки поверхностей нежестких деталей, полученные научные результаты подтверждают высокую квалификацию Довгалёва А.М. в области исследования процессов механической и физико-технической обработки и его соответствие ученой степени доктора технических наук.

Результаты, выносимые на защиту, получены соискателем лично или при его преимущественном вкладе. Достоверность полученных результатов опирается на физическую обоснованность выбранных методов исследования, они получены с использованием современного измерительного оборудования и не противоречат известным литературным данным.

Диссертация отвечает требованиям п.20 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени доктора технических наук. Диссертация и автореферат оформлены в соответствии с требованиями ВАК Республики Беларусь.

5. Рекомендации по практическому использованию результатов исследования

Результаты математического моделирования процесса совмещенной магнитно-динамической обработки и полученные дифференциальные уравнения, описывающие взаимосвязанные фазы движения деформирующих шаров, использованы для расчета режимов процесса совмещенного упрочнения для достижения заданных характеристик качества поверхностного слоя детали.

Полученные математические зависимости для расчета величины шероховатости поверхности и глубины упрочненного поверхностного слоя нежестких деталей из ферромагнитных материалов использованы для прогнозирования параметров качества отделочно-упрочняющей обработки.

Технологии совмещенной магнитно-динамической обработки вращающимся магнитным полем и импульсно-ударным деформированием, разработанные в рамках диссертационной работы, экспонировались на республиканских выставках (отмечены дипломами), представлялись на

международных выставках в Российской Федерации (в 2014 г. отмечена дипломом первой степени с вручением золотой медали в номинации «Лучший инновационный проект в области машиностроения и металлургии», в 2019 г. отмечена специальным призом и дипломом в номинации «Лучший инновационный проект в области машиностроения и металлургии, металлообработки»), а также во Вьетнаме, Германии, Китае, Египте, Латвийской Республике.

Технологический процесс совмещенной магнитно-динамической обработки внедрен в производство ОАО «МЗКТ», УЧНП «Технолит», ЗАО «Могилевский инструментальный завод», УЧНП «Стройремавто», ОДО «БелХорс», ООО «СКБ ДалС», АО «Электромеханика» (РФ) для отделочно-упрочняющей обработки поверхностей нежестких деталей разных пар трения.

Результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс Белорусско-Российского университета при подготовке инженеров по специальности 1–36 01 03 – Технологическое оборудование машиностроительного производства.

Результаты исследований могут быть использованы на машиностроительных предприятиях для повышения характеристик качества и эксплуатационных свойств поверхностей нежестких деталей машин.

6. Обоснованность и достоверность заключительных выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Обоснованность заключительных выводов и рекомендаций подтверждена тем, что они опираются на фундаментальные положения теоретической механики, теории удара, дифференциального и интегрального исчисления, математической статистики, материаловедения и физики твердого тела.

Основные положения диссертации опубликованы в 143 научных изданиях (1 – монография, 35 статей в рецензируемых научно-технических журналах, рекомендованных ВАК Республики Беларусь, 42 тезиса докладов на международных научно-технических конференциях, 65 патентов на изобретения Республики Беларусь и Российской Федерации).

Достоверность заключительных выводов диссертационной работы подтверждена использованием современных методик исследования физико-механических характеристик упрочненного поверхностного слоя, структуры деформированного материала, эксплуатационных свойств поверхностей нежестких деталей, использованием современной измерительной и регистрируемой аппаратуры, достаточной сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований. Результаты исследований прошли апробацию в производственных условиях и внедрены на ряде машиностроительных предприятий при отделочно-упрочняющей обработке поверхностей нежестких деталей из ферромагнитных материалов.

7. Замечания

1. В работе не дифференцирован вклад воздействия вращающегося «переменного и постоянного» магнитного поля (индукция которого весьма не велика и изменяется в широком диапазоне 0,05–1,2 Т) в достигаемый эффект снижения шероховатости обрабатываемой поверхности в сопоставлении с вкладом в достигнутый положительный эффект от механического ударного воздействия ферромагнитных шаров обрабатывающего инструмента.

2. При математическом моделировании рассматриваемой механической системы введен (с. 93 диссертации) ряд допущений, влияние которых на процесс взаимодействия деформирующих шаров с шаром-отражателем и обрабатываемой поверхностью в работе не проанализировано (соответственно, их введение не обосновано). В первую очередь это касается допущений о создании «источниками магнитного поля инструмента» на обрабатываемой поверхности «однородного магнитного поля», отсутствии «магнитного взаимодействия» между (расположенными близко друг от друга) «деформирующими шарами инструмента», рассмотрении деформирующего шара и шара-отражателя как «материальных точек» и других. Не выглядит обоснованным и «некоторое допущение», использованное для получения формулы (3.12) на с. 135 диссертации, как и не учет «упругого восстановления деформированных микронеровностей» (формула (3.13) на с. 135 диссертации) при расчете «ширины следа от деформирующего шара на поверхности детали».

3. Рекомендованная на с.164 (со ссылкой на диссертацию [86]) высота постоянного цилиндрического магнита (равная его диаметру) для «современных редкоземельных материалов» выглядит существенно завышенной (при отсутствии соответствующего анализа), что может сделать конструкцию разработанного для СМДО инструмента не оптимальной.

4. Физическое объяснение выдвинутой в диссертации (с. 175) «гипотезы, что действующее в процессе СМДО на поверхностный слой ферромагнитных тонкостенных деталей вращающееся магнитное поле, создаваемое магнитной системой комбинированного инструмента», обеспечивает повышение их жесткости за счет препятствования возникновению упругих деформаций в изделии, не выглядит убедительным в силу небольшой величины действующего на изделие в процессе СМДО магнитного поля (индукцией 0,250 Т).

5. На вертикальных осях 24 профилей дифракционных линий образцов из стали 45 и серого чугуна, приведенных на рис. 6.4 и 6.5 (с. 236, 237 диссертации), не приведен масштаб по вертикальным осям, что затрудняет для читателя сопоставление относительной ширины приведенных профилей.

Но указанные замечания не снижают научной и практической значимости проделанной соискателем работы, ряд из них носит рекомендательный и дискуссионный характер. В целом диссертационная работа заслуживает положительной оценки.

8. Заключение

Диссертационная работа Довгалёва Александра Михайловича «Теоретические и технологические основы отделочно-упрочняющей совмещенной магнитно-динамической обработки поверхностей нежестких деталей из ферромагнитных материалов», представленная на соискание ученой степени доктора технических наук, является законченной квалификационной научно-исследовательской работой, которая по уровню научной новизны и практической значимости соответствует требованиям п.20 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, предъявляемым к диссертационным работам, а ее автору может быть присвоена ученая степень доктора технических наук по специальности 05.02.07 – технология и оборудование механической и физико-технической обработки за принципиально новые научно обоснованные результаты в разработке теоретических и технологических основ отделочно-упрочняющей совмещенной магнитно-динамической обработки поверхностей нежестких деталей из ферромагнитных материалов, включающие:

- разработку концепции, теоретического и технологического обоснования повышения качества поверхностного слоя нежестких деталей из ферромагнитных материалов, *отличающихся* совмещением процессов упрочнения поверхностного слоя вращающимся постоянным или переменным магнитным полем с индукцией (0,05–1,2) Тл и импульсно-ударным деформированием, осуществляемым колеблющимися с частотой (210–850) Гц деформирующими шарами диаметром (6–20) мм из ферромагнитных материалов, получающими энергию для деформирования поверхностного слоя от магнитной системы инструмента, что *обеспечило* активацию процесса модифицирования поверхностного слоя на глубину до 25 мкм, формирование наноструктурированного поверхностного слоя толщиной до 4,5 мкм с мелкодисперсной субзеренной структурой наноразмерного диапазона (15–100) нм, характеризующегося увеличением плотности дислокаций и остаточных напряжений сжатия, определяющего повышение износостойкости упрочненных поверхностей нежестких деталей;

- разработку математических моделей процесса совмещенной магнитно-динамической обработки внутренних и наружных цилиндрических поверхностей нежестких ферромагнитных деталей и *получение* соответствующих систем дифференциальных уравнений, описывающих движение деформирующих шаров в постоянном или переменном магнитном поле, создаваемом магнитной системой инструмента, *позволяющих* рассчитать кинематические характеристики движения деформирующих шаров в магнитном поле и установить закономерности влияния параметров комбинированного инструмента и режимов процесса совмещенного упрочнения на кинематические характеристики движения деформирующих шаров;

– разработку динамической модели комбинированного инструмента и получение дифференциального уравнения для расчета величины жесткости связи деформирующих шаров с магнитной системой комбинированного инструмента, установление взаимосвязи указанного параметра с величиной действующей на деформирующие шары магнитной силы, создаваемой цилиндрическими постоянными магнитами из редкоземельных материалов;

– разработку математической модели процесса упругопластической деформации микронеровностей поверхности нежесткой ферромагнитной детали деформирующим шаром при совмещенной магнитно-динамической обработке и получение математических зависимостей для расчета глубины внедрения деформирующего шара в упрочняемую поверхность нежесткой ферромагнитной детали и глубины упрочненного поверхностного слоя, установление взаимосвязи глубины внедрения деформирующего шара с параметрами комбинированного инструмента, режимами процесса совмещенного упрочнения;

– разработку математической модели процесса формирования шероховатости поверхности нежесткой ферромагнитной детали при совмещенной магнитно-динамической обработке и получение математической зависимости для расчета шероховатости поверхности, установление взаимосвязи величины шероховатости упрочненной поверхности с высотой исходной шероховатости поверхности, массой деформирующего шара, скоростью взаимодействия деформирующего шара с поверхностью детали, диаметрными размерами деформирующего шара и упрочняемой поверхностью, подачей комбинированного инструмента;

– результаты экспериментальных исследований, позволивших установить зависимости влияния технологических параметров процесса совмещенной магнитно-динамической обработки на шероховатость поверхности упрочненных нежестких ферромагнитных деталей, повышение геометрической точности обработки и удельной маслосъемкости поверхности, формирование наноструктурированного поверхностного слоя, повышение износостойкости упрочненных поверхностей деталей, **что в совокупности** позволило Довгалёву А. М. разработать технологию совмещенной магнитно-динамической обработки, основанную на комбинированном энергетическом воздействии вращающимся магнитным полем и импульсно-ударным деформированием, и технические средства для ее реализации, обеспечивающие интенсивное снижение исходной шероховатости поверхности нежестких ферромагнитных деталей по параметру R_a с 6,3–0,40 до 0,6–0,08 мкм, повышение геометрической точности обработки на 12–27 % и удельной маслосъемкости поверхности в 1,4–2,8 раза, увеличение глубины модифицированного поверхностного слоя в 1,6–3,1 раза, получение наноструктурированного поверхностного слоя с мелкодисперсной субзеренной структурой наноразмерного диапазона (15–100 нм), характеризующегося увеличением плотности дислокаций и остаточных напряжений сжатия, обуславливающего повышение износостойкости

упрочненных поверхностей в 3,8–4,9 раза, а ее использование на производстве позволило получить суммарный фактический годовой экономический эффект в эквиваленте в 62,5 тыс. долл. США.

Эксперт от оппонирующей организации назначен приказом генерального директора ГНУ «Объединенный институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси» № 205 от 30 декабря 2024 г.

Доклад соискателя и отзыв на диссертационную работу Довгалёва Александра Михайловича на тему «Теоретические и технологические основы отделочно-упрочняющей совмещенной магнитно-динамической обработки поверхностей нежестких деталей из ферромагнитных материалов» рассмотрены на научном семинаре Научно-технического центра «Технология машиностроения и технологическое оборудование» Государственного научного учреждения «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси» (протокол № 1 от 4 февраля 2025 г.), на котором присутствовали 25 человек, из них 15 человек, имеющих ученую степень, в том числе 2 доктора наук и 13 кандидатов наук.

В голосовании при одобрении отзыва на диссертационную работу Довгалёва А.М. приняли участие 15 человек, имеющих ученую степень.

Результаты голосования: «за» – 15, «против» – нет, «воздержались» – нет.

Председатель научного семинара,
доктор технических наук, профессор  М.А. Белоцерковский

Секретарь научного семинара,
кандидат технических наук  Н.Н. Максимченко

Эксперт, заведующий лабораторией
металлургии в машиностроении,
доктор технических наук, доцент  С.Г. Сандомирский

С отзывом ознакомился
06.02.2025  /А.М. Довгалёв
06.02.2025 *поступила в совет*
 *у секретаря совета* *Лидкович О.К.*