

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу 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 диссертации специальности и отрасли науки, по которым она представлена к защите.

В диссертации решены задачи разработки и исследования метода отделочно-упрочняющей обработки ферромагнитных деталей, основанного на комбинации энергетических воздействий вращающимся магнитным полем и динамическим поверхностным пластическим деформированием.

Решаемые в диссертационной работе задачи относятся к области отделочно-упрочняющей обработки поверхностей деталей машин, что соответствует технической отрасли наук.

Предметом исследования в диссертации являются процессы формирования в поверхностном слое ферромагнитных деталей мелкозернистой субзеренной структуры наноразмерного диапазона, микрорельефа упрочняемой поверхности, синтеза комбинированных инструментов и их магнитных систем, обеспечивающих комбинированное энергетическое воздействие вращающимся магнитным полем и импульсно-ударным деформированием на поверхность упрочняемой детали, что способствует пункту II формулы специальности «процессы синтеза, формирования структуры и свойств поверхностных слоев изделий путем интенсивного механического воздействия, воздействия физических полей различной природы или их комбинации; технические средства для реализации и управления технологическими процессами модифицирования структуры и свойств материалов, формирования поверхностей изделий».

Область исследований включает: математическое моделирование четырех схем процесса совмещенной магнитно-динамической обработки; моделирование динамики работы комбинированного инструмента; моделирование процесса упругопластической деформации микронеровностей поверхности ферромагнитной детали; моделирование процесса формирования микрорельефа упрочняемой поверхности; оптимизацию параметров процесса совмещенной магнитно-динамической обработки; модификацию поверхностного слоя; теорию и практику проектирования комбинированных инструментов для совмещения процессов одновременного воздействия на упрочняемую поверхность вращающимся магнитным полем инструмента и импульсно-ударным деформированием, что соответствует пунктам III. 1 «Процессы синтеза или модифицирования структуры и свойств материалов и формирования поверхностей изделий с наложением различных энергетических воздействий и использованием

Вх. № 11-52/104
от 04.02.2015

возникающих при этом физических и химических эффектов», III.3 «Механизмы формирования напряженно-деформированного состояния и структурно-фазовых превращений при взаимодействии материалов с инструментом и технологической средой, как при механической обработке, так и при воздействии направленных потоков энергии различной природы, а также при комбинированных воздействиях» и III.4 «Теория и практика проектирования, производства и эксплуатации отдельных видов и систем технологического оборудования и инструментов с заданными технико-экономическими показателями для механической и физико-технической обработки, оптимизация компоновки, состава и параметров оборудования и инструментов, в том числе и для специальных видов обработки и послойного синтеза изделий» паспорта специальности.

Диссертация соответствует специальности 05.02.07 - технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

2. Актуальность темы диссертации.

В процессе эксплуатации деталей машин основную нагрузку испытывает их поверхностный слой непосредственно участвующий в работе. В связи с этим для повышения характеристик качества поверхностей и эксплуатационных свойств деталей машин широко применяются технологии поверхностного упрочнения.

К их числу относятся методы упрочнения поверхностей деталей концентрированным потоком энергии (ионно-плазменное упрочнение, электронно-лучевая обработка, ионно-диффузионное насыщение, плазменное напыление покрытий), термической и химико-термической обработкой (поверхностная индукционная и лазерная закалка, ионное азотирование, борирование, силицирование), магнитным полем (постоянным, переменным, импульсным) и др. Однако указанные методы находят ограниченное применение для отделочно-упрочняющей обработки поверхностей нежестких деталей из ферромагнитных материалов, так как реализуются на достаточно сложном дорогостоящем оборудовании, и в большинстве случаев имеют значительную температуру воздействия, вызывающую остаточные деформации и снижающую геометрическую точность нежестких деталей.

Наиболее эффективными методами отделочно-упрочняющей обработки поверхностей нежестких деталей из ферромагнитных материалов являются динамические методы поверхностного пластического деформирования, осуществляемые на финишных операциях технологического процесса (обработка дробью, центробежно-ротационная, вибронакатывание, центробежноударная, пневмоцентробежная, пневмовибродинамическая и др.). Однако и динамические методы упрочняющей обработки поверхностей нежестких деталей находят ограниченное применение на машиностроительных предприятиях Республики Беларусь, так как они не являются универсальными и исчерпали свои технологические возможности.

В связи с этим, особую актуальность для машиностроительных

предприятий Республики Беларусь имеет разработанный соискателем метод совмещенной магнитно-динамической обработки, предусматривающий комбинированное энергетическое воздействие на поверхностный слой ферромагнитных деталей вращающимся магнитным полем и импульсно-ударным деформированием, обеспечивающий повышение характеристик качества и эксплуатационных свойств деталей из ферромагнитных материалов за счет формирования поверхностного слоя с мелкодисперсной субзеренной структурой наноразмерного диапазона с высокими эксплуатационными свойствами.

3. Степень новизны результатов, полученных в диссертации, и научных положений, выносимых на защиту.

Результаты диссертации и научные положения, выносимые на защиту, обладают высокой степенью новизны. Соискателем впервые представлены научно-обоснованные результаты в области отделочно-упрочняющей обработки поверхностей деталей из ферромагнитных материалов, совмещенной магнитно-динамической обработкой, заключающейся в следующем:

- в теоретическом обосновании технологии совмещенной магнитно-динамической обработки, при которой на упрочняемую поверхность детали из ферромагнитных материалов одновременно воздействуют вращающимся постоянным или переменным (с периодическим изменением силовых линий) магнитным полем с индукцией 0,05-1,2 Тл и импульсно-ударным деформированием, осуществляемым колеблющимися деформирующими шарами, получающими энергию для динамического поверхностного пластического деформирования от магнитной системы инструмента, что обеспечивает формирование наноструктурированного поверхностного слоя с мелкодисперсной субзеренной структурой наноразмерного диапазона;

- в разработке математических моделей процесса совмещенной магнитно-динамической обработки внутренних и наружных цилиндрических поверхностей, динамической модели комбинированного инструмента, математической модели упругопластической деформации микронеровностей, математической модели формирования шероховатости упрочняемой поверхности, позволивших получить соответствующие дифференциальные уравнения, рассчитать кинематические характеристики движения деформирующих шаров и прогнозировать характеристики качества упрочняемой поверхности;

- в установлении зависимостей влияния режимов процесса совмещенной магнитно-динамической обработки на шероховатость упрочненной поверхности, повышения геометрической точности обработки, удельной маслостойкости поверхности, интенсификации процесса модифицирования поверхностного слоя, формирования поверхностных наноструктур, обеспечивающих кратное повышение износостойкости упрочненных поверхностей деталей.

4. Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

- *Обоснованность* выводов и рекомендаций сформулированных в диссертационной работе подтверждена тем, что они согласуются с фундаментальными положениями теоретической механики, дифференциального и интегрального исчислений, математической статистики, физики твердого тела, магнетизма и материаловедения.

- Полученные в работе выводы обсуждались на 42-х международных научно-технических конференциях и подробно представлены в многочисленных публикациях автора.

- *Достоверность* заключительных выводов и рекомендаций содержащихся в диссертационной работе подтверждается корректностью поставленных задач, использованием проверенных методик проведения теоретических и экспериментальных исследований, применением современной измерительной и регистрирующей аппаратуры, разработанных методов совмещенной магнитно-динамической обработки и комбинированных инструментов, достаточно высокой сходимостью расчетных и экспериментальных значений.

- Рекомендации по практическому использованию результатов диссертации подтверждены актами промышленных испытаний и внедрения, патентами на изобретения, технико-экономическим обоснованием внедрения технологии совмещенной магнитно-динамической обработки на семи машиностроительных предприятиях.

5. Научная, практическая, экономическая и социальная значимость результатов диссертации с указанием рекомендаций по их использованию.

Научная значимость заключается:

- в разработке математических моделей процесса совмещенной магнитно-динамической обработки наружных и внутренних цилиндрических поверхностей, динамической модели комбинированного инструмента, математической модели упругопластической деформации микронеровностей поверхности деформирующим шаром, математической модели процесса формирования шероховатости и получении соответствующих дифференциальных уравнений и математических зависимостей, *позволивших* рассчитать кинематические характеристики движения деформирующих шаров в магнитном поле рабочей зоны инструмента, установить взаимосвязь деформирующих шаров с магнитной системой инструмента, прогнозировать параметры формируемого микрорельефа упрочняемой поверхности и глубины упрочненного поверхностного слоя;

- в экспериментальном подтверждении повышения геометрической точности обработки и эффективности модифицирования поверхностного слоя, удельной маслостойкости поверхности, снижение шероховатости поверхности, получения наноструктурированного поверхностного слоя с мелкодисперсной субзернистой структурой наноразмерного диапазона, кратного повышения износостойкости упрочненных поверхностей нежестких

деталей.

Практическая значимость результатов диссертации заключается в разработке технологии совмещенной магнитно-динамической обработки и комбинированных инструментов для ее реализации для различных типов производства на существующем металлообрабатывающем оборудовании машиностроительных предприятий, что обеспечивает снижение трудоемкости изготовления ферромагнитных деталей, экономию дорогостоящих материалов, импортозамещение хонингованных труб и кратное повышение износостойкости упрочненных поверхностей.

Экономическая значимость работы подтверждена актами внедрения технологии совмещенной магнитно-динамической обработки на семи машиностроительных предприятиях Республики Беларусь и Российской Федерации с фактическим годовым экономическим эффектом, эквивалентным 62,5 тыс. долл. США. Экономический эффект получен за счет снижения трудоемкости изготовления деталей (за счет исключения операций абразивной обработки), использования для изготовления деталей пар трения относительно не дорогих конструкционных сталей, повышения износостойкости упрочненных поверхностей.

Социальная значимость заключается в получении новых знаний в области отделочно-упрочняющей обработки поверхностей нежестких деталей машин из ферромагнитных материалов, в разработке экологически чистой технологии наноструктурирования поверхностного слоя, обладающего высокими эксплуатационными свойствами, в использовании результатов исследований в образовательном процессе Белорусско-Российского университета при подготовке инженеров для машиностроительного производства.

6. Опубликованность результатов диссертации в научной печати.

Анализ публикаций соискателя показал, что в них достаточно подробно изложены основные материалы диссертации, выводы и положения выносимые на защиту.

Результаты исследования представлены в 143 научных публикациях, в том числе: монография (единолично) - 1; 35 статей в рецензируемых научно-технических журналах, рекомендованных ВАК РБ (4 - в иностранных научных изданиях); 42 тезиса докладов в сборниках международных научно-технических конференций; 65 патентов на изобретение.

7. Соответствие оформления диссертации требованиям ВАК РБ.

Диссертация оформлена качественно, в соответствии с требованиями ВАК Республики Беларусь, предъявляемыми к оформлению диссертации. Материал диссертации изложен в доступной форме и содержит большое количество качественно выполненных рисунков, графиков и таблиц. В заключении по диссертационной работе на все имеющиеся пункты приведены ссылки на публикации соискателя.

8. Замечания по диссертации.

1) Работа посвящена обработке *нежестких* деталей, но в диссертационной работе, ни в результатах при проведении экспериментальных исследований, ни теоретических не установлены *зависимости*, в которых толщина стенки обрабатываемой детали рассматривалась как параметр.

2) В таблице 2.1 приведены результаты экспериментальных и теоретических исследований, обосновывающих достоверность полученных аналитических зависимостей, при этом по приведенным ссылкам на номера формул можно рассчитать линейные скорости центров шаров, находящихся в силовом и магнитном полях, а в таблице приведены угловые скорости?

3) На стр.109 автор указывает «С допустимой погрешностью принимаем...», но не указано с какой погрешностью? При этом принимается, что длина дуги равна координате.

4) Стр. 109 на рисунке 2.17,а приведены результаты экспериментов, но ни условий экспериментов, ни ссылок на них нет.

5) В диссертационной работе на стр.58, 69, 96, принято ряд допущений, но не представлена оценка адекватности таких допущений.

6) На стр. 121 приведено выражение: «Проведенные многочисленные экспериментальные исследования показали, что глубина внедрения деформирующего шара, а следовательно, и величина деформации исходных микронеровностей увеличиваются в k_M раз....», но ни условий экспериментов, ни ссылок на них нет.

7) На стр. 63 указано, что «На основе статистического анализа и метода наименьших квадратов установлено, что наиболее достоверно функции $\varphi(r)$, $\varphi(l)$, $\varphi(R)$, описывают степенные зависимости [1-А, с 111; 6-А, с.27-28]».

Однако ни в диссертации, ни в указанных источниках не приведены условия и обработка результатов экспериментов подтверждающих принятые функциональные зависимости, а также не приведены численные значения параметров принятых моделей.

8) На стр. 124 приведена зависимость (2.175), которая затем используется в дальнейших соотношениях, но эта зависимость адекватна только для жестких условий процесса резания, а не ППД во вращающемся магнитном поле.

9) На стр. 40 приведено утверждение «Впервые применение энергии магнитного поля инструментапредложено автором [84, с. 10-14]», но источник 84. «Блюменштейн, В.Ю, Кочетков А.А., Малахов М.С. Современные конкурентноспособные технологии...»

10) Источник литературы 17 дублируется с номерами списка соискателя 133-А.

11) На рис.1.11 позиции 7 и 8 указывают на обрабатываемую деталь, а в тексте позиция 8 описывается как силовые линии магнитного поля.

12) Некорректные подрисовочные подписи рисунков 2.1, 2.4. – Схема совмещенной обработки...: а – *общий вид схемы*...

На рисунках 2.1, а; 2.4, а изображены продольные разрезы.

13) Формулы 2.8 и 2.9, 2.21, 2.99, 2.100, 2.104, 2.105 содержат математические неточности.

14) В тексте диссертации содержатся выражения действия: стр. 71 «Запишем основное уравнение движения...»; стр.79 «Осуществим моделирование движения...»; стр.82 «Выполним последовательное моделирование этапов...»; стр.84 «Запишем основное уравнение динамики...»...

15) Формула (2.56) получена на основе рисунка 2.9, по которой определяется угол α , но он отсутствует на рисунке 2.9, что затрудняет анализ формулы.

16) На рисунке 4.1. необходимо проставить размеры рабочей зоны, что повышает информативность полученных результатов на рисунке 4.2.

17) На рисунке 4.12. приведены графики, на которых на одной из осей координат отсутствует обозначение исследуемого параметра.

18) На стр. 190 приведены противоречивые статистические параметры обработанных отверстий: $R^- = 0,0096\text{мм}$, $S_1 = 0,0072\text{мм}$, что видимо соответствует среднему значению радиуса обработанной детали и его среднего квадратического отклонения, но радиус заготовки равен 55мм.

19) на стр. 205 приведен анализ полученных экспериментальных исследований, имеющий качественный характер: «Это связано с увеличением силы удара деформирующих шаров по детали и пластическим перераспределением из вершин во впадины микронеровностей формируемой поверхности», но не приведены количественные результаты напряженно-деформированного состояния зоны обработки.

20) В главах 4 и 5 приведены результаты экспериментальных исследований, но не указано как оценивалось исходное качество материалов обрабатываемых образцов, а также элементов технологической системы.

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

Анализ содержания диссертационной работы, постановка цели и задач исследования, изложение материала, использование автором апробированных методик, интерпретация результатов исследований, формулировка выводов и пунктов заключения позволяет сделать вывод, что Довгалёв Александр Михайлович имеет глубокие знания в области отделочно-упрочняющей обработки поверхностей деталей, математического моделирования процессов механической обработки, теоретической механики, физико-технической обработки, умеет ставить перед собой задачи в области упрочнения поверхностей деталей машин для повышения их износостойкости. Высокий профессионализм позволил соискателю разработать инновационный метод совмещенной магнитно-динамической обработки, предусматривающей комбинированное энергетическое воздействие (совмещенное во времени) вращающимся магнитным полем и динамическим поверхностным пластическим

деформированием главным результатом которого является наноструктурирование поверхностного слоя ферромагнитных деталей, обладающего повышенными физико-механическими характеристиками и эксплуатационными свойствами. Это дает основание утверждать, что научная квалификация А.М. Довгалёва соответствует ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.07 - технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

Заключение.

Диссертация Довгалёва А.М. на тему «Теоретические и технологические основы отделочно-упрочняющей совмещенной магнитно-динамической обработки поверхностей нежестких деталей из ферромагнитных материалов» является цельной научно-исследовательской работой, которая посвящена решению важной народнохозяйственной проблемы - повышению физико-механических характеристик поверхностного слоя и эксплуатационных свойств деталей из ферромагнитных материалов, путем разработки теоретических и технологических основ создания новых технологических процессов отделочно-упрочняющей обработки поверхностей деталей, основанных на комбинированном энергетическом воздействии и содержит новые научные положения и достоверные результаты.

В соответствии с Положением о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь Довгалёву Александру Михайловичу может быть присуждена ученая степень доктора технических наук по специальности 05.02.07 - технология и оборудование механической и физико-технической обработки за новые теоретические и экспериментальные результаты исследований, **включающие:**

- разработку математических моделей процесса совмещенной магнитно-динамической обработки внутренних и наружных цилиндрических поверхностей ферромагнитных деталей и комбинированного инструмента для их реализации, 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 процесса обработки;

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

- разработку математической модели процесса формирования шероховатости поверхности ферромагнитной детали при совмещенной магнитно-динамической обработке и получение математической

зависимости для расчета шероховатости поверхности, установление взаимосвязи величины шероховатости упрочненной поверхности с параметрами комбинированного инструмента и исходной поверхности, а также режимами обработки;

- результаты экспериментальных исследований, позволивших установить зависимости влияния технологических параметров процесса совмещенной магнитно-динамической обработки на шероховатость поверхности упрочненных ферромагнитных деталей, геометрическую точность обработки и удельную маслосъемность поверхности, а также на формирование наноструктурированного поверхностного слоя, **что в совокупности позволило** разработать инновационную ресурсосберегающую технологию совмещенной магнитно-динамической обработки поверхностей деталей из ферромагнитных материалов и технологические средства для ее реализации на существующем оборудовании машиностроительных предприятий, обеспечивающие увеличение глубины модифицированного поверхностного слоя в (1,6-3,1) раза, создание наноструктурированного поверхностного слоя толщиной до 4,5 мкм с мелкодисперсной субзеренной структурой (15-100) нм, позволившие повысить износостойкость упрочненных поверхностей в 3,8 - 4,9 раза с внедрением результатов исследований на предприятиях Республики Беларусь и Российской Федерации.

Официальный оппонент: доктор
технических наук, профессор,
заведующий кафедрой
«Робототехнические системы»
УО «Гомельский государственный
технический университет

имени П.О. Сухого», г. Гомель
подпись *Михайлов М.И.*
заверяю:
инспектор (специалист) по кадрам отдела кадров
УО «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»
подпись *И.С. Могилева*
И.О. Фамилия
04.02.2025 г.

М. И. Михайлов

Поступила в совет
07.02.2025
ут. секрет. совета
Айкевич В.К.