

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию **Кутепова Алеся Юрьевича**
**«Контроль механических напряжений в никелевых гальванических
покрытиях магнитным пондеромоторным методом»,**
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды,
веществ, материалов и изделий

1. Соответствие диссертации специальности и отрасли науки, по которой она представлена к защите

Направление научных исследований, содержание и результаты диссертационной работы полностью соответствуют отрасли «Технические науки» и специальности 05.11.13 - Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий.

2. Актуальность темы диссертации

Повышение качества покрытий деталей и сборочных единиц изделий является актуальной проблемой для всех промышленных предприятий машиностроительной отрасли, включая аэрокосмическую. Контроль качества нанесения и оценки текущего состояния функциональных покрытий является сложной задачей, поскольку включает в себя много технических аспектов, касающихся как применимости отдельных методов контроля, так и необходимости оценки целого ряда параметров: толщины покрытия, однородности структуры, наличия дефектов, величины внутренних напряжений и др. Отдельные из этих вопросов применительно к ряду изделий остаются нерешенными и по сей день.

Так, производство жидкостных ракетных двигателей космической техники предусматривает нанесение функциональных гальванических никелевых покрытий с целью придания изделиям заданных свойств и обеспечения их эксплуатации в экстремальных условиях. Наличие больших по величине внутренних напряжений в функциональных покрытиях может привести к растрескиванию и отслаиванию покрытия и возникновению аварийной ситуации. При этом, конструктивные особенности указанных изделий делают невозможным использование существующих методов контроля напряжений, например рентгеновского.

Перспективным направлением в технологии контроля качества нанесения функциональных покрытий является развиваемый в диссертации магнитный пондеромоторный метод. Он позволяет выносить чувствительный элемент за пределы корпуса датчика и таким образом проводить измерения в труднодоступных местах изделий. Проведенные автором экспериментальные исследования и теоретические выкладки, направленные на развитие магнитного пондеромоторного метода, являются эффективным решением актуальной задачи

неразрушающего контроля качества нанесения никелевых гальванических функциональных покрытий.

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

Новизна результатов диссертационной работы и выносимых на защиту научных положений состоит в следующем:

- впервые определена величина индукции магнитного поля чувствительных элементов пондеромоторных датчиков, обеспечивающая высокую чувствительность магнитоотрывного усилия к величине внутренних напряжений;

- разработана уникальная конструкция магнитного элемента пондеромоторных датчиков, обеспечивающая оптимальную величину магнитной индукции в пространстве над наконечником для контроля внутренних напряжений;

- впервые получено выражение, связывающее величину остаточных микронапряжений, толщину контролируемого покрытия, а также магнитоотрывное усилие, измеренное при наличии и отсутствии в покрытии приложенных макронапряжений;

- впервые разработана методика, которая позволяет оценить диапазоны возможных величин макро- и микронапряжений (до 450 и до 150 МПа соответственно) в никелевых покрытиях толщиной от 200 до 800 мкм по измерениям магнитоотрывного усилия и толщины покрытия.

- впервые установлены корреляционные зависимости результатов оценки микронапряжений и определена степень отклонения показаний приборов, реализующих магнитный пондеромоторный метод и метод рентгеновской дифракции, от расчетных величин напряжений, создаваемых растягивающим устройством.

Новизна результатов диссертационной работы подтверждается 11 опубликованными работами, в том числе 4 научными статьями в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК.

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

Достоверность результатов проведенных исследований, обоснованность выводов и рекомендаций подтверждается установлением точностных характеристик разработанных датчиков, установлением границ применимости развиваемого метода, результатами экспериментов на растяжение образцов с нанесенным гальваническим никелевым покрытием с использованием аттестованного средства измерения (разрывной машины), а также сравнением с результатами оценки напряжений рентгеновским дифрактометром GNR StressX.

Проведение испытаний в целях утверждения типа средств измерения информационно-измерительного комплекса «НТ-800», разработанного при участии автора, в органах Госстандарта Республики Беларусь, акты внедрений на предприятии ракетно-космической отрасли также подтверждают достоверность полученных выводов и рекомендаций.

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

Научная значимость диссертации заключается в развитии магнитного пондеромоторного метода для контроля напряжений в никелевых гальванических покрытиях, разработке оптимальной конструкции и геометрических параметров чувствительного элемента пондеромоторных датчиков, получении выражения, связывающего величины микронапряжений, магнитоотрывного усилия и толщины покрытия, установление уравнений, связывающих приложенные макронапряжения, остаточных микронапряжения с магнитоотрывным усилием и толщиной покрытия, определение границ применимости магнитного пондеромоторного метода для оценки напряжений.

Развиваемый в работе магнитный пондеромоторный метод в настоящее время является эффективным методом неразрушающего контроля с уникальными преимуществами (оперативный контроль в труднодоступных местах). Важным результатом являются разработанные автором методики оценки макро- и микронапряжений. Большое экономическое значение имеет разработанный информационно-измерительный комплекс, предназначенный для неразрушающего контроля качества нанесения никелевых покрытий, нанесенных на детали и сборочные единицы жидкостных ракетных двигателей, а также методика оценки прецизионности изготовленных пондеромоторных датчиков, позволяющая отбраковывать пондеромоторные датчики на раннем этапе производства до проведения дорогостоящего этапа градуировки. Практическая значимость диссертации подтверждается актами внедрения разработанного прибора НТ-800 на предприятии АО "НПО "Энергомаш им. академ. В.П. Глушко".

Результаты диссертационных исследований целесообразно использовать для создания новых методик и средств неразрушающего контроля, которые позволят проводить контроль величины и направления действия напряжений в гальваническом никеле, нанесенном с использованием примесей, а также расширить диапазон толщин контролируемых покрытий.

6. Опубликованность результатов диссертации

Результаты диссертационной работы изложены в 11 публикациях: 4 статьях в рецензируемых журналах ВАК и 7 тезисах докладов международных конференций. Требования ВАК Республики Беларусь к опубликованности результатов выполнены в необходимом объеме.

7. Соответствие оформления диссертации требованиям ВАК

Оформление диссертации и автореферата полностью соответствует требованиям ВАК Республики Беларусь, изложенным в «Инструкции о порядке оформления квалификационной научной работы (диссертации) на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук, автореферата и публикаций по теме диссертации». Диссертационная работа написана грамотным научным языком и имеет четкую структуру. Автореферат правильно и точно отражает содержание диссертации.

8. Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени кандидата технических наук

Соискатель соответствует квалификации кандидата технических наук и всецело владеет вопросами специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий. Объем, системность, высокая практическая значимость проведенных исследований, а также ясное изложение результатов, их представление на ряде научных конференций подчеркивают научную зрелость соискателя, его способность развивать новые научные направления.

9. Замечания по диссертации

1. в главе 2, таблице 3 при проведении испытаний по построению топографий магнитного поля в пространстве над конструкцией из магнитного элемента и никелевых пластин автор указал 14 пластин, однако далее в тексте для анализа приводятся результаты измерений лишь для 4-х из них. Проводил ли автор исследования на других образцах? Если нет, то зачем было указывать в качестве образцов для испытаний те, которые испытаниям не подвергались?

2. объем диссертации возможно избыточен. Так, в тексте диссертации приведены результаты экспериментов, значение и важность которых не пояснены автором. Например, в разделе 4.1 приведены расчеты пределов повторяемости и воспроизводимости, которые больше нигде не используются ни в диссертации, ни в приборе НТ-800, который рассчитывает среднее арифметическое по 5 измерениям.

3. в тексте диссертации и в автореферате автор упоминает «Государственные приемочные испытания». Это является устаревшим понятием и на сегодняшний день БелГИМ проводит «испытания в целях утверждения типа средств измерений».

4. в описании разработанной методики автор приводит допустимые диапазоны оценки макро- и микронапряжений от 0 МПа. При этом не понятно какая точность измерений при приближении напряжений к нулю?

5. подавляющая часть экспериментов, приведенных в тексте диссертации, проводились не на гальваническом никеле, а на никелевых образцах,

имитирующих покрытия. Из текста диссертации не ясно каким образом результаты, полученные на образцах, имитирующих покрытия, могут быть перенесены на гальванические покрытия.

6. из текста диссертации не ясно каким образом (на основании каких ТНПА) оценивается равномерность распределения напряжений, доступная как отдельный функционал ИИК НТ-800.

7. в задачах диссертационного исследования автор указал установление возможности определения критических уровней напряжений. На каком основании они опеределены?

10. Заключение

Диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям Положения ВАК Республики Беларусь, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук, а соискатель, Кутепов Алесь Юрьевич, – заслуживает присвоения искомой ученой степени по специальности 05.11.13 «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий» за новые научно обоснованные результаты исследований в области контроля механических напряжений в никелевых гальванических покрытиях, включая:

1. изучение влияния геометрических параметров магнитных элементов пондеромоторных датчиков на величину магнитной индукции в пространстве над конструкцией из магнитного элемента и никелевых пластин с различным уровнем прокатки. Установление оптимальной величины поля для контроля напряжений в никелевых покрытиях с учетом возможностей пондеромоторного метода. Разработку запатентованной конструкции магнитного элемента, позволяющей получить высокую чувствительность магнитоотрывного усилия к изменению механических напряжений;

2. установление связи между магнитоотрывным усилием, толщиной покрытия и величинами макро- и микронапряжений, а также характера изменения магнитоотрывного усилия от приложенных макронапряжений при различной исходной величине микронапряжений;

3. получение выражения для расчета величины остаточных микронапряжений по величине магнитоотрывного усилия в разгруженном и нагруженном состоянии образца, а также разработку принципиально новой методики для определения макро- и микронапряжений в диапазонах (0 – 450) МПа и (0 – 150) МПа соответственно при известной толщине покрытия;

4. создание конструкции пондеромоторных датчиков для оценки напряжений на плоских поверхностях и в труднодоступных местах изделий и разработку электронного блока для обработки сигнала с первичных преобразователей, вошедших в состав информационно-измерительного комплекса

НТ-800. Решение задач, связанных с проведением испытаний в целях утверждения типа средств измерений, а также внедрение разработанного комплекса на предприятии.

5. сравнение результатов оценок макро- и микронапряжений приборами, реализующими магнитный пондеромоторный метод и метод рентгеновской дифракции, показавшее высокую степень соответствия показаний приборов расчетной величине напряжений, создаваемых с помощью испытательной машины при растяжении образцов.

6. установление коэффициентов вариации повторяемости и воспроизводимости пондеромоторных датчиков для оценки напряжений, произведенных качественно и с нарушением технологии производства, позволившие разработать методику отбраковки датчиков во время их производства;

7. установление границ применимости магнитного пондеромоторного метода путем установления степени влияния мешающих факторов на показания ИИК НТ-800,

что в совокупности является важным достижением в неразрушающем контроле никелевых гальванических покрытий, подтвержденным внедрением результатов на производстве.

Официальный оппонент
кандидат технических наук, доцент
заведующий лабораторией технологий
модифицирования конструкционных
материалов Государственного научного
учреждения «ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ
МАШИНОСТРОЕНИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ
АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ»



А.И. Комаров



Отзыв поступил в совет 20 октября 2023г.

Ученый секретарь  М.В. Андreeва

С отзывом ознакомлен 20 октября 2023г.

 А.В. Кутенов