

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, выбранное автором диссертации, ее содержание и результаты полностью соответствуют отрасли «Технические науки» и специальности 05.11.13 «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий». В диссертации рассматриваются вопросы взаимодействия магнитных полей с покрытиями и устанавливаются параметры этого взаимодействия, характеризующие напряженно-деформированное состояние материала, а также вопросы разработки первичных преобразователей и средств контроля.

2 АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ДИССЕРТАЦИИ

Повышение качества деталей и сборочных единиц машиностроительных изделий является актуальной задачей в промышленности, в особенности для аэрокосмической отрасли. Особое место в повышении надежности эксплуатации изделий занимают покрытия. С их помощью изделиям придаются повышенные характеристики жаропрочности, жаростойкости, снижается абразивный износ и др. Такие функциональные покрытия, как, например, гальванические никелевые покрытия, широко применяются в качестве термозащитных при производстве жидкостных ракетных двигателей. Эти изделия эксплуатируются в экстремальных условиях, что требует строгого соблюдения технологического процесса нанесения функциональных покрытий с целью придания изделиям заданных свойств. Очевидно, что нанесенные покрытия подлежат контролю только неразрушающим методом, а сложная форма изделий (например, камер сгорания) требует возможности проведения измерений в труднодоступных местах. Теоретические и практические исследования, проведенные автором в диссертационной работе, направлены на развитие и адаптацию одного из перспективных методов, используемых для контроля гальванических никелевых покрытий: магнитного пондеромоторного метода. Автором развиваются физические основы метода для контроля одного из важнейших параметров покрытий: величины внутренних напряжений. Следует отметить, что для изделий ракетно-космической техники с нанесенными никелевыми покрытиями методы контроля напряжений практически не применялись из-за сложности проведения измерений на реальных объектах. При этом, отсутствие контроля может приводить к отслаиванию и растрескиванию покрытий. В этой связи, достигнутые автором результаты являются эффективным

решением актуальной научно-технической задачи неразрушающего контроля качества нанесения никелевых гальванических 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 определены диапазоны индукции магнитного поля первичных преобразователей, при которых магнитоотрывное усилие имеет высокую чувствительность к величине механических напряжений в никелевых покрытиях и минимальную чувствительностью к толщине покрытия (до 300 мкм);
- впервые установлены оптимальные конструкция и геометрические параметры магнитного элемента для использования в пондеромоторных датчиках;
- получено уникальное выражение для расчета значений микронапряжений с использованием величин толщины покрытия и магнитоотрывного усилия в нагруженном и разгруженном состояниях;
- впервые экспериментально установлены корреляционные зависимости результатов оценок остаточных напряжений, полученных приборами, реализующими рентгеновский и пондеромоторный метод, а также определены средние отклонения показаний этих приборов от расчетных величин макронапряжений при механическом растяжении никелевых пластин;
- впервые разработана методика, которая позволяет получить соотношение между возможными действующими величинами приложенных макронапряжений в диапазоне от 0 до 450 МПа и остаточными микронапряжениями в диапазоне от 0 до 150 МПа в никелевых покрытиях толщиной от 200 до 800 мкм с использованием величин магнитоотрывного усилия и толщины покрытия, реализованная в информационно-измерительном комплексе НТ-800;

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 исследований, выполненных автором, обоснованность выводов и рекомендаций подтверждается результатами экспериментов на разрывной машине «Time WDW-100E», сравнением с результатами измерений рентгеновским дифрактометром GNR StressX, а также сопоставлением с результатами других исследований. Установлены характеристики прецизионности измерений используемых датчиков, определены ограничивающие факторы.

Проведение Государственных приемочных испытаний в БелГИМ разработанного при участии автора комплекса «НТ-800», акты внедрения на

предприятию 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 теоретической базы и адаптации магнитного пондеромоторного метода для контроля никелевых гальванических покрытий за счет установления оптимальных конструкции и геометрических параметров чувствительного элемента пондеромоторных датчиков и получения выражения, позволяющего рассчитать величину микронапряжений, используя величины, доступные для измерения пондеромоторным методом: магнитоотрывного усилия и толщины покрытия. Установлены аналитические уравнения, связывающие приложенные макронапряжения, остаточные микронапряжения с магнитоотрывным усилием чувствительного элемента с индукцией магнитного поля ≈ 30 мТл и толщиной никелевого покрытия. Также автором предложено проводить оценку диапазонов измерения макро- и микронапряжений в никелевом покрытии используя величину толщины покрытия и величину магнитоотрывного усилия.

Совокупность полученных автором теоретических положений и экспериментальных данных также позволяет говорить высокой **практической и экономической значимости** работы. Значительным результатом является практическая реализация разработанных автором научных положений в виде уникальных методик контроля напряжений в никелевых покрытиях. Данные методики позволили создать не имеющий аналогов информационно-измерительный комплекс, обладающий высокой прецизионностью измерений. Кроме того, его применение на стадиях производства деталей и сборочных единиц жидкостных ракетных двигателей позволит своевременно выявить некачественно нанесенное покрытие. Практическая значимость диссертации подтверждается актами внедрения разработанного прибора неразрушающего контроля на предприятии космической отрасли Российской Федерации (АО "НПО "Энергомаш им. академ. В.П. Глушко"), что свидетельствует о высоком уровне проведенных исследований.

Результаты диссертационных исследований целесообразно развивать для создания новых методик и средств неразрушающего контроля, которые позволили бы получать не соотношение микро- и макронапряжений, а оценить их величины, а также расширить перечень материалов, в которых можно контролировать механические напряжения с помощью пондеромоторного метода.

6 ОПУБЛИКОВАННОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИИ В НАУЧНОЙ ПЕЧАТИ

Результаты диссертационной работы в достаточном объеме отражены в 11 публикациях: 4 статьях в рецензируемых журналах и 7 тезисах докладов международных конференций.

7 СООТВЕТСТВИЕ ОФОРМЛЕНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ТРЕБОВАНИЯМ ВАК

Оформление диссертации и ее автореферата полностью соответствует требованиям Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь, изложенных в «Инструкции о порядке оформления квалификационной научной работы (диссертации) на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук, автореферата и публикаций по теме диссертации». Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

8 СООТВЕТСТВИЕ НАУЧНОЙ КВАЛИФИКАЦИИ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Диссертант полностью владеет вопросами избранной специальности и соответствует квалификации кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий. Большой объем проведенных исследований, их системный характер, высокая научная и практическая значимость, четкое и понятное изложение результатов, их представление на ряде научных конференций подчеркивают научную зрелость соискателя, его способность развивать новые научные направления.

9 ЗАМЕЧАНИЯ ПО ДИССЕРТАЦИИ

1. При выводе выражения для расчета микронапряжений используется система уравнений для двух состояний: нагружения (с приложенными внешними напряжениями σ_a) и разгрузки, (внешние напряжения $\sigma_a = 0$). Автором указано, что в состоянии разгрузки остаются только внутренние (микро-) напряжения σ_i . При этом из литературы [1] известно, что при одноосном пластическом растяжении формируются внутренние растягивающие макронапряжения, что было также подтверждено экспериментами, проведенными на кафедре физики твердого тела БГУ. Наличие остаточных макронапряжений не учтено автором.

2. При сравнении магнитного пондеромоторного метода и метода рентгеновской дифракции, диапазон толщин испытуемых образцов (от 100 до 300 мкм) не соответствовал диапазону измерений НТ-800 (от 200 до 800 мкм). Кроме того, ограничен и диапазон приложенных напряжений. Так, диапазон оценки напряжений НТ-800 составляет от 0 до 450 МПа, а при испытаниях максимальная нагрузка составила 150 МПа. Таким образом, автором не учтено возможное отклонение показаний прибора НТ-800 во всем диапазоне толщин и диапазоне оценки напряжений ИИК НТ-800.

3. Во второй главе, после описания разработанной методики определения микро- и макронапряжений приводятся результаты измерений на реальном покрытии. Полученные результаты призваны демонстрировать правильность оценок механических напряжений при использовании этой методики. При этом в качестве результатов измерений указано магнитоотрывное усилие, а не величины макро- и микронапряжений, а также не проведено сравнение с другими методами оценки напряжений.

4. Не приведены уравнения полиномов поверхностей для расчета остаточных микронапряжений по измерениям отрывного усилия и толщины.

10 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям Положения ВАК Республики Беларусь, предъявляемых 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. установление величины индукции магнитного поля чувствительного элемента пондеромоторного датчика, которое позволяет получить высокую чувствительность магнитоотрывного усилия к величине внутренних напряжений в никелевых покрытиях, а также разработку конструкции чувствительного магнитного элемента, состоящего из наконечника, постоянного магнита и скрепляющей их обоймы, оптимальной для использования в пондеромоторных датчиках;

2. получение выражения для расчета величины микронапряжений с использованием значения толщины покрытия и измеренных величин магнитоотрывного усилия на никелевом образце в нагруженном и разгруженном состоянии;

3. разработку принципиально новых методик определения критических значений напряжений в никелевых покрытиях и диапазонов возможных действующих в никелевом покрытии макро- и микронапряжений в диапазонах (0 – 450) и (0 – 150) МПа соответственно с использованием одного измерения магнитоотрывного усилия при известной толщине покрытия;

4. разработку методики отбраковки пондеромоторных датчиков до проведения этапа дорогостоящей градуировки, заключающейся в определении характеристик прецизионности (повторяемости и воспроизводимости) созданного датчика и сравнения этих характеристик с экспериментально установленными значениями коэффициентов вариации повторяемости и воспроизводимости качественно изготовленного датчика;

5. установление степени влияния ограничивающих факторов на показания ИИК НТ-800, а также установление величин минимального расстояния до края образца (5 мм), шероховатости поверхности (Ra 1,2), минимального радиуса кривизны поверхности (25 мм), максимальной величины остаточной намагниченности (300 мкТл), при которых дополнительная погрешность измерения не выходит за предел в 5 %.

6. проведение сравнения результатов оценок макро- и микронапряжений при использовании рентгеновского дифрактометра и пондеромоторных датчиков, показавшее схожее отклонение показаний от расчетной величины напряжений при нагружении никелевого образца, имитирующего покрытие от 0 до 220 МПа, а также высокую степень корреляции при оценке микронапряжений.

7. разработку информационно-измерительного комплекса НТ-800, позволяющего впервые решить проблему неразрушающего контроля механических напряжений в никелевых гальванических покрытиях сборочных единиц и деталях жидкостных ракетных двигателей космической техники и внедрение результатов исследований за рубежом.

В совокупности это является значимым достижением в неразрушающем контроле, имеющим существенную научную и практическую значимость, подтверждаемую внедрением результатов.

Список использованных источников:

1. Model for the variation of the residual stress state during plastic deformation under uniaxial tension [Text] / T. Gurova [et al.] // The Journal of Strain Analysis for Engineering Design. — 1998. — Vol. 33, no. 5. — P. 367—372.



Официальный оппонент
доктор физико-математических наук, профессор,
заведующий кафедрой физики твердого тела и
нанотехнологий Белорусского государственного
университета

A handwritten signature in blue ink, which appears to be "Углов ВВ", written in a cursive style.

В.В. Углов