

ОТЗЫВ

официального оппонента

директора Учреждения науки «Инженерно-конструкторский центр сопровождения эксплуатации космической техники»

доктора технических наук Федорова Алексея Владимировича

на диссертационную работу Кондратьева Артема Витальевича на тему: "Совершенствование метода инструментального индентирования и программно-аппаратных средств контроля твердости металлических покрытий в микро- и нанометровых диапазонах", представленную к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 -- Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий (отрасль наук – технические науки).

На отзыв представлены том рукописи диссертации на 130 листах (128 листов основного текста), и автореферат на 20 страницах.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, включающего 66 наименований, и двух приложений.

Рассмотрение и анализ представленных материалов, а также опубликованных работ по теме диссертации позволили сформулировать следующий отзыв на диссертацию.

Актуальность темы диссертации

Инновационное технологическое развитие машиностроения, энергетики и других отраслей промышленности связано с расширением использования упрочняющих и функциональных покрытий, тонких пленок, различных технологий модификации поверхности. К покрытиям, обеспечивающим защиту изделий от воздействия циклических и кратковременных нагрузок, высоких и низких температур, агрессивных сред и пр., предъявляются повышенные требования, как по их механическим свойствам, так и по свойствам, характеризующим их стойкость к коррозии, износу и др. Обобщенной характеристикой механических свойств материалов является твердость. Измерение твердости и модуля упругости покрытий,

*№ 305-10
от 12.09.2017*

толщина которых составляет от десятков нанометров до единиц микрон стало возможно благодаря развитию метода инструментального индентирования, позволяющего производить измерение данных характеристик без оптической оценки восстановленного отпечатка. Однако измерение твердости покрытий в микро- и нанометровом диапазонах до сих пор осложнены рядом технологических и методических ограничений, связанных с допущениями при расчете коэффициента функции формы индентора, отклонением геометрии индентора от идеальной при вершине, а так же эффектами, связанными с особенностями упругопластической деформации материалов в микро- и нанометровых диапазонах.

В связи с этим, диссертационная работа Кондратьева А.В., посвященная повышению точности при измерении твердости и модуля упругости покрытий и пленок в микро- и нанометровом диапазонах, является весьма своевременной, выполнена на актуальную тему и имеет прикладной характер.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна

На основе анализа состояния проблемы метрологического обеспечения метода инструментального индентирования и средств измерения твердости металлических покрытий в микро- и нанометровых диапазонах автор обоснованно и корректно сформулировал цель и взаимосвязанные задачи исследований.

Исследования проводились на основе применения методов теории механики контактного взаимодействия, линейной алгебры и математической статистики, экспериментальных методов (натурных испытаний образцов с различной структурой и твердостью). Данный выбор является обоснованным и методически правильным.

В процессе исследований автором были получены следующие научные результаты:

- 1) алгоритм косвенной оценки функции формы индентора, позволяющий уменьшить неопределенность результатов измерения значений твердости и модуля упругости покрытий в микро- и нанометровом диапазонах;
- 2) предложения по корректировке поверочной схемы для средств

измерений твердости по шкалам Мартенса и шкалам индентирования на основе использования стандартных образцов свойств материалов и алгоритм поэлементной калибровки твердомеров, позволяющие улучшить метрологическое обеспечение измерений твердости по шкалам Мартенса и шкалам индентирования.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций определяется корректностью постановки задач исследований; применением теоретически и экспериментально обоснованных физико-математических моделей, используемых при расчетах; результатами экспериментальных исследований и их сходимостью с результатами теоретического анализа; признанием основных положений диссертации широким кругом специалистов при апробировании материалов исследований на конференциях, а также результатами внедрения разработанных методик и алгоритмов.

Научная новизна результатов диссертации заключается в следующем:

1. В разработке алгоритма косвенной оценки функции формы индентора, который позволяет уменьшить влияние неидеальности геометрии индентора при вершине на результаты измерений твердости и модуля упругости при микро- и нанометровых глубинах индентирования. Новизна данного алгоритма заключается в учете скругления при вершине индентора Берковича.

2. В разработке новой поверочной схемы для средств измерений твердости по шкалам Мартенса и шкалам индентирования, при реализации которой предлагается использование стандартных образцов свойств материалов.

Ценность научных результатов диссертации характеризуется тем, что автором была принята успешная попытка уменьшения неопределенности результатов измерений, накопленной при передаче единицы твердости от эталона к рабочим средствам измерений. Применение при калибровке твердомеров стандартных образцов свойств материалов, механические свойства которых обеспечены при производстве и подтверждены при контроле независимыми методами, позволяет уменьшить неопределенность результатов измерений при контроле покрытий толщиной менее одного микрометра.

Практическая значимость выполненной диссертационной работы заключается в том, что применение алгоритмов косвенной оценки функции формы индентора Берковича и поэлементной калибровки твердомера, поверочной схемы для средств измерений твердости по шкалам Мартенса и шкалам индентирования на основе использования стандартных образцов свойств материалов, позволяют повысить точность измерений твердости и модуля упругости покрытий в микро- и нанометровом диапазоне. Следует отметить, что основные теоретические и прикладные результаты работы ориентированы, в конечном счете, на повышение качества продукции народного хозяйства. Основные научные результаты, полученные автором диссертации, нашли практическое использование в ООО "Константа" и Учреждении науки "Инженерно-конструкторский центр сопровождения эксплуатации космической техники". Данные результаты в дальнейшем могут быть использованы при разработке, производстве и эксплуатации микро/нанотвердомеров, разработке технологий контроля механических свойств покрытий в микро- и нанометровых диапазонах.

На основе сформулированных положений можно сделать вывод о том, что диссертация Кондратьева А.В. имеет выраженный прикладной характер.

Вместе с тем, исходя из анализа содержания текста диссертации и автореферата, диссертационная работа содержит ряд **недостатков и замечаний**:

1. Вызывает неясность разночтение цели диссертационной работы, изложенной на стр. 6 и 36 текста диссертации и на стр. 5 автореферата.

2. Более четко следует выделить связь между формулировками задач, поставленных в диссертации, и положений, выносимых на защиту.

3. В качестве обоснования второго защищаемого положения приведены результаты измерений для двух стандартных образцов свойств материалов, относящихся к классам твердых кристаллов и металлов (стр. 102 и далее). Однако, в диссертации, не приведено достаточного обоснования по выбору данных двух типов образцов, а также неясно будет ли расширяться "линейка" образцов свойств для материалов других классов и является ли представленная выборка репрезентативной.

4. При рассмотрении методических составляющих неопределенности результатов измерений (стр. 48) значение коэффициента k берется равным 24,5. В свою очередь, при описании алгоритма косвенной оценки функции формы индентора (стр. 58) значение коэффициента k принимается равным 23,96 без дополнительных обоснований. Непонятно, чем обусловлена разница значений данного коэффициента.

5. В тексте диссертации присутствует некоторая разобщенность используемых в диссертации метрологических терминов: "точность" (стр. 6, 7, 36, 53 и т.д.), "достоверность" (стр. 23, 36, 46, 49 и т.д.), "погрешность" (стр. 42, 47, 49, 72 и т.д.), "неопределенность" (стр. 5, 6, 7, 8 и т.д.).

6. Для лучшего понимания терминологии на стр. 53 и необходимо уточнение отличий неопределенностей результатов измерений по типу А и по типу В для рассматриваемой задачи измерений.

Из замечаний редакционного и оформительского характера следует отметить следующие:

1) количество публикаций по теме диссертации, представленное на стр. 9 текста диссертации, отличается от количества, представленного на стр. 7 автореферата;

2) неточности по представлению структуры и объема диссертации (стр. 9 текста диссертации "Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения. Общий объем диссертации: 127 страниц печатного текста и список используемых источников из 67 наименований", стр. 7 автореферата "Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения. Общий объем диссертации: 130 страниц печатного текста и список используемых источников из 66 наименований");

3) отсутствие библиографических ссылок для рисунков 17, 18, 33;

4) неудачными представляются фразы, приведенные на стр. 4, 6, 103 - "измерение свойств", на стр. 65, 66, 104, 106 - "построены функции", "построены зависимости";

5) некорректными представляются названия следующих рисунков: "Рисунок 5 – Типовая конструкция твердомера на примере Nanovea CB500",

"Рисунок 7 – Общий вид емкостного датчика фирмы Hysitron",
"Рисунок 12 – Конструкция, реализованная компанией Agilent Technology",
"Рисунок 20 – Ошибки определения площади контакта индентора с материалом, вызванные образованием навалов («pile-up»)", "Рисунок 26 – Зависимость твердости от глубины индентирования до коррекции функции формы индентора",
"Рисунок 29 – Зависимость результатов измерения твердости от глубины индентирования", "Рисунок 35 – Сигнал весового модуля", "Рисунок 40 – Общий вид программы управления", "Рисунок 56 – Сравнение зависимостей результатов измерения твердости от глубины индентирования покрытия AlMgV14 после калибровки на плавленом кварце и АМАГ200";

б) отсутствие размерностей величин на графиках (рисунки 18 и 24);

7) оформление списка литературы имеет незначительные отступления от требований ГОСТа.

Приведенные выше недостатки и замечания не оказывают существенного влияния на общую положительную оценку диссертационной работы.

Тема диссертации, направленность проведенных исследований и полученных результатов соответствует специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий (отрасль наук – технические науки).

Диссертационная работа Кондратьева А.В. представляет собой законченный научный труд, в котором сформулированы цель и научная задача, частные задачи исследования, обеспечивающие ее решение, получены новые научные результаты и выработаны рекомендации по их применению. Диссертация является единолично написанной научно-квалификационной работой, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты и свидетельствует о личном вкладе автора в науку.

Результаты исследований достаточно полно опубликованы в 5 научных статьях, включая 2 статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендуемых ВАК, докладывались на 3 конференциях.

Содержание автореферата достаточно полно отражает содержание диссертации и позволяет составить целостное представление о проделанной работе. Материалы диссертации изложены достаточно грамотно, логически последовательно и представлены в лаконичной форме.

В целом диссертация характеризуется завершенностью решения поставленной научной задачи. Соискатель владеет методами научных исследований, обоснованно и корректно применяет соответствующий математический аппарат, обладает широким научным кругозором.

Заключение

Диссертация Кондратьева Артема Витальевича является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи повышения точности измерений твердости и модуля упругости покрытий и пленок в микро- и нанометровом диапазонах, имеющей значение для повышения качества продукции, что соответствует критериям, установленным "Положением о порядке присуждения ученых степеней" (утверждено Правительством Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 824; изменения, утвержденные Правительством Российской Федерации от 21 апреля 2016 года № 335), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий (отрасль наук – технические науки).

Официальный оппонент,
доктор технических наук,
директор Учреждения науки
"Инженерно-конструкторский центр
сопровождения эксплуатации космической техники"

" 5 " сентября 2017 года

А.В. Федоров

почтовый адрес: 197343, Санкт-Петербург, ул. Матроса Железняка, д. 57, литера А,
телефон: (812) 640-66-92,
адрес электронной почты: ikcsektspb@yandex.ru