

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Кравчука Константина Сергеевича «Измерение трибологических свойств покрытий и композиционных материалов на субмикронном и нанометровом масштабах», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Актуальность диссертационной работы

Диссертационная работа посвящена разработке физических основ создания единого измерительного комплекса – сканирующего зондового микроскопа, способного корректно определить значения твердости, модуля упругости, параметров трещиностойкости и износостойкости при использовании методов индентирования, склерометрии и циклического истирания на субмикронном и нанометровом структурных уровнях. Учитывая бурное развитие в последние годы нанотехнологий и создание на их основе перспективных материалов, содержащих наноструктурированные покрытия или наномасштабные структурные элементы (нанокомпозиты), актуальность предпринятого исследования не вызывает никаких сомнений.

Структура и основное содержание диссертации

Диссертационная работа К.С. Кравчука состоит из введения, пяти глав, заключения (выводов) и списка литературы из 111 наименования. Работа изложена на 138 страницах, содержит 73 рисунка и 8 таблиц.

Во введении обоснована актуальность темы исследований, сформулированы цель и задачи исследований, приведены положения, выносимые на защиту, описаны структура и объем диссертации.

В первой главе приведен литературный обзор методов исследования трибологических и механических свойств поверхности материалов. Подчеркивается, что для получения надежных результатов необходимо создание атомно-силовых приборов, способных комплексно анализировать значительный комплекс свойств с использованием единого датчика,

анализирующего поверхность твердого тела. Содержание первой главы глубоко и всесторонне охватывает ключевые проблемы, затронутые в диссертационной работе, и свидетельствует о высокой квалификации диссертанта в области научных проблем изучения поверхности на субмикронном и наномасштабном уровнях.

Во второй главе дано подробное описание основных измерительных методов, реализованных в работе. Использование в качестве основного измерительного модуля при осуществлении наноиндентирования и склерометрии биморфного пьезокерамического зондового датчика с алмазным наконечником позволило по существу создать универсальный прибор, на котором можно реализовать более десяти измерительных методик.

В третьей главе подробно проанализированы способы анализа рельефа поверхности с помощью модернизированного СЗМ. Описан оригинальный алгоритм определения параметров царапины, сформированной пирамидальным индентером и результаты его экспериментальной проверки. Показано, что предложенный алгоритм адекватно описывает поведение хрупких материалов (кварц, стекло, сапфир) и несколько хуже отражает поведение металлических материалов (наноструктурированный титан). Важным аспектом этой главы представляются эксперименты по практическому использованию разработанного алгоритма для изучения нанокпозиционных материалов $Al+C_{60}$ и $Cu+C_{60}$. Показана возможность автоматического распознавания отдельных нанозерен и статистического построения гистограмм распределения нанозерен по их размерам.

В четвертой главе представлены экспериментальные данные, описывающие влияние механических свойств структурных составляющих на трибологические свойства углерод-углерод композиционных материалов. Показано, что износостойкость исследованного композита, состоящего из углеродных волокон в углеродной матрице, максимальна в том случае, когда значения твердости структурных составляющих близки между собой. Кроме того, положительное

влияние на износостойкость оказывает образующаяся в процессе испытаний тонкая фрикционная пленка, состоящая из компонентов, формирующихся при истирании.

В пятой главе представлены результаты изучения материалов, имеющих наноструктурированные покрытия. Теоретически и экспериментально исследованы пороговые напряжения образования сколов на покрытиях толщиной 70-200 нм на основе оксидов, полученных карбоксилатным методом. Проведено изучение свойств поверхности образцов поликарбоната и полиметилметакрилата, а также износостойкого полимерного покрытия на основе силиконовой композиции, нанесенной на поверхность первых двух материалов. Показано, что высокая износостойкость при нанесении дополнительного покрытия обусловлена снижением шероховатости поверхности, увеличения отношения твердости к модулю упругости материала и высокой способностью к упругому восстановлению. Кроме того, в этой главе исследованы поверхностные механические свойства углеродных покрытий на полимерной подложке. Установлено, что покрытия на основе линейно-цепочного углерода толщиной менее 100 нм, нанесенные на поверхность полиуретана, повышают его прочность и износостойкость. Проведенные в этой главе эксперименты по наноиндентированию и склерометрии с применением пирамидальных алмазных инденторов на примере алмазоподобного покрытия толщиной 180 нм на кремниевой подложке показало возможность корректного определения параметра трещиностойкости материала покрытия при соблюдении ряда условий проведения эксперимента.

Наиболее важные научные результаты, полученные в диссертации

1. На основе использования универсального пьезокерамического датчика с высокочистым или полупроводниковым алмазным наконечником разработан комплексный метод, включающий более десяти методик индентирования, склерометрии и сканирующей зондовой микроскопии, который позволяет надежно определить основные параметры механических и трибологических

свойств покрытий и нанокомпозитов различной природы на субмикронном и наномасштабном структурных уровнях.

2. Для целого ряда перспективных нанокомпозиционных материалов и наноструктурированных покрытий, имеющих существенный инновационный потенциал (нанокомпозиты $Al+C_{60}$ и $Cu+C_{60}$, углеродные волокна в углеродной матрице, оксидные покрытия, поликарбонат и полиметилметакрилат с полимерным покрытием на основе силиконовой композиции, покрытия на основе линейно - цепочного углерода на поверхности полиуретана, алмазоподобные покрытия на кремниевой подложке) показана эффективность и достоверность предложенного комплексного подхода к измерению основных механических и трибологических характеристик.

Обоснованность и достоверность полученных результатов.

Достоверность и обоснованность результатов диссертационной работы подтверждаются большим объемом накопленных экспериментальных данных, их корректной статистической обработкой, применением широкого спектра современного экспериментального оборудования, использованием оригинальных теоретических моделей и глубоким многоуровневым анализом полученных результатов в полном соответствии с современными концепциями физики конденсированного состояния.

Научная ценность и практическая значимость работы

Научная ценность работы заключается в создании нового метода эффективного анализа основополагающих свойств наноструктурированных покрытий и нанокомпозиционных материалов различной природы с помощью единого измерительного комплекса, включающего наноиндентирование, склерометрию и сканирующую зондовую микроскопию, а также в экспериментальной проверке адекватности и надежности предложенного подхода на многочисленных примерах изучения механических и трибологических свойств перспективных наноматериалов.

Практическая значимость работы заключается в том, что ее результаты позволяют повысить надежность и эффективность анализа эксплуатационных характеристик практически важных нанокompозитов и материалов с наноструктурированными покрытиями различной природы, полученными с помощью прогрессивных нанотехнологий. Практическая значимость полученных результатов состоит также и в том, что они были уже реализованы при выполнении ряда актуальных исследований в рамках ФЦП.

Замечания по диссертации

1. Одной из целей диссертации автор формулирует как «сравнение получаемых с их помощью результатов с традиционными трибологическими испытаниями...» (стр.5). Однако подобные сравнения в тексте диссертации практически отсутствуют.
2. В диссертации разработан ряд оригинальных методик анализа структуры и свойств материалов, однако в тексте диссертации отсутствуют упоминания о защите интеллектуальной собственности и наличии соответствующего метрологического обеспечения.
3. Глава 2 диссертации написана так, что в ней трудно отделить многочисленные литературные данные от оригинальных результатов, полученных диссертантом. Некоторые фрагменты этой главы носят, на мой взгляд, рекламный характер.
4. В диссертации, к сожалению, часто отсутствует информация об ошибках измерений ряда характеристик. На некоторых графиках (например, на рис. 3.6) отсутствует доверительный интервал значений измеренных величин.
5. В тексте диссертации имеется ряд неудачных выражений и терминов, включая название самой диссертации:
 - «...на субмикронном и нанометровом масштабах» (стр.1),
 - «...абразивостойкость...» (стр.7),
 - «Защищаемые положения» (стр.7),

- «...взаимосвязь трибологических свойств с результатами измерений методами индентирования...» (стр.123).
- «...покрытие на кремнии» (стр.6).

Сделанные замечания не носят принципиального характера и не снижают общей высокой оценки диссертационной работы.

Общее заключение

К.С.Кравчуком выполнено серьезное научное исследование по разработке методического обеспечения надежного и эффективного анализа трибологических, механических и структурных характеристик композиционных наноматериалов и покрытий, а также получен ряд важных характеристик физико-механических свойств перспективных наноматериалов с помощью разработанного комплексного подхода. Полученные результаты являются абсолютно новыми, имеют фундаментальное и практическое значение. Они могут быть использованы при выполнении теоретических и прикладных исследований в ряде научных и образовательных организаций России.

Автореферат и многочисленные публикации правильно и достаточно полно отражают содержание диссертационной работы. Основные результаты диссертации полностью опубликованы в 24 работах, из которых 9 - в научных журналах, входящих в перечень ВАК РФ. Результаты, представленные в диссертации, неоднократно докладывались и обсуждались на авторитетных отечественных и международных научных конференциях.

Диссертация Кравчука Константина Сергеевича является законченным фундаментальным исследованием. По актуальности, достоверности, научно - методическому уровню исследования, научной новизне и значимости полученных результатов диссертация, безусловно, соответствует п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ и п.6. паспорта специальности 01.04.07 - Физика конденсированного состояния: «Разработка экспериментальных методов изучения физических свойств и создание

физических основ промышленной технологии получения материалов с определенными свойствами». Ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 - Физика конденсированного состояния.

Ведущий научный сотрудник
кафедры «Физическое материаловедение»
Национального Исследовательского
Технологического Университета «МИСиС»,
доктор физ.-мат. наук, профессор,
тел.: 7(916) 122-19-74
e-mail: a.glezer@mail.ru
адрес: Москва 119049, Ленинский пр., 4

Глезер
Александр Маркович

17.11.2015г.



ЗАВЕРЯЮ

И.М. ИСАЕВ