

Государственный контракт

от 13 ноября 2009 г. № П2287.

«Исследования размерных эффектов в механических и служебных свойствах наноструктурированных материалов и нанокompозитов, армированных углеродными нанотрубками».

Работа посвящена анализу размерных эффектов в наномасштабных объектах и наноструктурных материалах, в частности, нанокompозитах, содержащих многостенные углеродные нанотрубки. В аналитической части подробно рассмотрены возможные причины размерных эффектов (РЭ) в наноструктурах. Спектр затронутых материалов простирается от объемных нанокристаллических и аморфных материалов до одиночных молекул. В первых проанализированы причины отклонения от соотношения Холла-Петча в области характерных размеров структуры $R^* \leq 20...50$ нм, в последних – наномеханические и нанохимические процессы в деформируемых с помощью оптических и магнитных пинцетов макромолекулах.

Подробно рассмотрены также РЭ в механических свойствах материалов, а также их природа в условиях локального деформирования с размерами нагруженной области в нанометровом диапазоне. Такие условия чрезвычайно распространены в природе и технике. В частности, сухое трение микрошероховатых поверхностей определяется взаимодействием наномасштабных контактных площадок, возникающих и исчезающих в вершине микровыступов на двух смещающихся друг относительно друга поверхностях. Трение и износ в этих областях контролируется молекулярным взаимодействием контактирующих площадок, адгезией, пластической деформацией и разрушением в быстро нагружаемых и разгружаемых нанобъемах. Показано, что механизмы деформации и трения в этих областях очень специфичны, как в силу малых размеров, так и высоких скоростей относительной деформации. В результате, материал способен продемонстрировать прочность близкую к теоретической. Уделено также внимание свойствам материалов в квазиодномерных нанобразцах, формируемых на поверхности материала сфокусированным ионным пучком. Показано, что предел текучести в этих наностолбиках даже в мягких ГЦК-металлах (Au, Cu, Al, Ni) может приближаться к теоретической прочности быстрее, чем по соотношению Холла-Петча, т.е. с показателем степени в

функции от диаметра $> 0,5$. Рассмотрены данные по механическим свойствам углеродных нанотрубок (УНТ) и нанокомпозитов с их участием.

В экспериментальной части описаны результаты синтеза нанокомпозитных гальванических покрытий с углеродными нанотрубками. Показано, что при малых концентрациях УНТ их аддитивный вклад пренебрежимо мал и не может объяснить наблюдаемое упрочнение никелевого покрытия на 30...50 %. Установлено, что добавление УНТ в электролит приводит к переносу и внедрению в наращиваемый слой металла, что приводит к существенному уменьшению размеров зерна последнего, изменению в его текстуре и снижению пористости. Все это вместе взятое и приводит к упрочнению покрытия.

Установлены закономерности размерного упрочнения приповерхностных слоев металлов (монокристаллического Al, Cu, Ni) по мере уменьшения области локального нагружения в наноразмерный масштаб. Выявлены сильные отклонения закономерностей упрочнения ГЦК-металлов от соотношения Холла-Петча в этих условиях. Обнаружены интервалы характерных размеров, в которых наблюдается ати-холл-петчевское поведение.

В другой части работы описан синтез нанокомпозитного материала, представляющего собой ажурную матрицу из неупорядоченных УНТ, на которой методом электрохимического осаждения сформированы наночастицы Ni. Выявлены зависимости размеров наночастиц, их формы и расстояния между ними от режимов и плотности тока. Обсуждаются механизмы формирования нанобусинок Ni, нанизанных на УНТ. Такие материалы имеют хорошую перспективу в качестве сорберов, фильтров, катализаторов для различных технологических процессов.

Наконец, в заключительной части представлен новый метод аттестации насыпных массивов наночастиц (порошков, нанотрубок, нановолокон) в образцах миллиграммовой массы. Он заключается в многоцикловом наномеханическом испытании навески материала и последующем анализе петель механического гистерезиса в ансамбле. Показано, что при соответствующей обработке результатов таких испытаний можно различить образцы из партий, которые трудно дифференцировать даже с помощью электронного микроскопа и рамановской спектроскопии. Это дает возможность и физические основания для разработки коммерческого прибора для характеристики и

классификации по сортам насыпных массивов порошков, лекарственных форм, нанотрубок, нановолокон в промышленных условиях.

Список публикаций.

1. Головин Ю.И., Шуклинов А.В., Васюков В.М., Столяров Р.А., Ткачев А.Г. Электроосаждение наночастиц никеля на поверхность многостенных углеродных нанотрубок// Письма в ЖТФ, 2011, т. 37, вып. 6, с. 21-26.

2. Головин Ю.И., Шуклинов А.В., Васюков В.М., Размерные эффекты в твердости ГЦК-металлов в микро- и наноразмерной области// Журнал технической физики. 2011, Т. 81, № 5. С. 55-58.

3. Головин Ю.И., Шуклинов А.В., Столяров Р.А., Ткачев А.Г. Структурно-чувствительные эффекты прерывистой деформации промышленных сплавов Al-Mg// Тамбов: Издательский дом ТГУ им. Г.Р. Державина, 2011, 173 с.