

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения  
Российской академии наук

**МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**  
**Перспективные материалы**  
**с иерархической структурой**  
**для новых технологий**  
**и надежных конструкций**  
**9 - 13 октября 2017 года**  
**Томск, Россия**

**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**

Томск – 2017

**ОПТИЧЕСКИ ПРОЗРАЧНЫЕ ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ,  
ФОРМИРУЕМЫЕ НА СТЕКЛАХ МЕТОДАМИ ИОННОГО И  
МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ  
ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ**

<sup>1</sup>Сергеев В.П., <sup>1</sup>Калашников М.П., <sup>1</sup>Божко И.А.,

<sup>1</sup>Рыбалко Е.В., <sup>1</sup>Сергеев О.В.,

<sup>1</sup>Воронов А.В., <sup>1</sup>Федорищева М.В., <sup>2</sup>Христенко Ю.Ф.

<sup>1</sup>*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия*

<sup>2</sup>*Научно-исследовательский институт прикладной математики и механики  
Национального исследовательского Томского государственного университета*

Бомбардировка стекол иллюминаторов космических аппаратов, фотоэлектрических преобразователей солнечных батарей, терморегулирующих панелей радиаторов в процессе эксплуатации в открытом космосе потоком высокоскоростных метеороидов и осколками космического мусора приводит к деградации оптических и механических характеристик этих конструкций и выходу их из строя. В докладе представляются и обсуждаются результаты исследования процессов формирования оптически прозрачных нанокompозитных покрытий на стеклах, применяемых для изготовления иллюминаторов космических аппаратов и солнечных батарей, и способов защиты этими покрытиями стекол от ударного воздействия высокоскоростных метеороидов и частиц космического мусора.

Защитное покрытие представляет собой сложную иерархическую структуру, формируемую на стеклянной подложке методами высокоэнергетической ионной имплантации и импульсного магнетронного осаждения из разнородных металлических и керамических нитридных и оксидных слоев по определенному принципу. Этот принцип формирования структурно-фазовых состояний и свойств нанокompозитного материала должен обеспечивать не только достаточную величину адгезии покрытия к подложке, но и высокую когезионную прочность покрытия в целом, что предполагает согласование механических, термических и оптических характеристик всех его функциональных слоев.

Прилегающий к подложке слой покрытия находится в аморфном состоянии. Выше аморфного слоя располагается переходный слой, в котором нанозерна основной фазы в виде глобул распределены в аморфной матрице дополнительной фазы. Самый верхний слой покрытия имеет столбчатую структуру. Столбцы, состоящие также из основной фазы, растут в направлении нормальном к поверхности подложки, начиная от переходного слоя вплоть до поверхности покрытия. Столбцы разделяются тонкими прослойками дополнительной фазы, находящейся в аморфном состоянии. Средний размер поперечного сечения столбцов равен ~10-15 нм. Сформированная градиентная структура покрытия играет положительную

роль в усилении адгезии покрытия к подложке и согласовании термомеханических характеристик твердого нанокристаллического слоя покрытия с относительно мягкой подложкой, в том числе промежуточных функциональных слоев друг с другом.

В работе изучена взаимосвязь режимов магнетронного распыления композиционных мишеней и высокоэнергетического ионного легирования подложки и функциональных слоев покрытия и интерфейсов на защитную способность нанокompозитного покрытия от ударного воздействия микрочастиц отклассифицированного порошка железа, движущихся со скоростями близкими к первой космической. Показано, что процесс образования кратеров на стекле с покрытием при ударах твердых микрочастиц в значительной степени отличается от аналогичного процесса на стекле без покрытия. С ростом толщины покрытия процесс кратерообразования затрудняется, при этом интенсивность этого процесса в значительной степени зависит от структурно-фазового состояния как отдельных функциональных слоев покрытия, так и от количества слоев, их химического состава и типа структуры покрытия в целом. Структурные исследования проводились методами просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения, рентгеноструктурного анализа, сканирующей электронной микроскопии с рентгеновским микроанализом элементного состава локальных микрообластей по толщине покрытия, масс-спектрометрии вторичных ионов, экстрагируемых из поверхностных слоев материала и т.д.

#### **MECHANICAL BEHAVIOR OF METAL ALLOYS WITH GRAIN SIZE DISTRIBUTION IN A WIDE RANGE OF STRAIN RATES**

Skripnyak V. A., Skripnyak V. V., Skripnyak E. G.

*National Research Tomsk State University, Russia*

*skrp2006@yandex.ru, skrp2012@yandex.ru*

The aim of this work is the development of multiscale simulation approach for the construction of grain structure of metals and alloys, providing the combination of elevated strength properties with ductility.

Inelastic deformation and damage of ultrafine grained (UFG) alloys with a distribution of grain size were investigated in wide loading conditions by multiscale computer simulation method.

Structured representative volume elements with grain size distributions were developed. Experimental data on unimodal and bimodal grain size distributions in aluminum and magnesium alloys were used for calibration of the model.

The grain size distributions in coarse grained and UFG metal alloys were determined by the method of electron backscatter diffraction (EBSD).