

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

**ВЛИЯНИЕ ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО ТРИБОЛОГИЧЕСКОГО  
ПОКРЫТИЯ Ti-C-Mo-S НА СОПРОТИВЛЕНИЕ МИКРОДЕФОРМАЦИИ  
КРУПНОЗЕРНИСТОГО И СУБМИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО  
ТИТАНОВОГО СПЛАВА VT6**

<sup>1,2</sup>Малеткина Т.Ю., <sup>1</sup>Савостиков В.М., <sup>1</sup>Дударев Е.Ф.,  
<sup>1</sup>Галсанов С.В., <sup>1</sup>Табаченко А.Н.

<sup>1</sup> *Национальный исследовательский Томский государственный университет*

<sup>2</sup> *Томский государственный архитектурно-строительный университет*  
*t.maletkina@yandex.ru*

Для повышения антифрикционных свойств и износостойкости титана и титановых сплавов обычно применяют поверхностное упрочнение с использованием различных способов химико-термической обработки и нанесение упрочняющих покрытий. Необходимость снижения материалоемкости изделий в технике привели к развитию методов получения структуры сплавов в ультрамелкозернистом (субмикрокристаллическом и нано-) состоянии с повышенными показателями механических свойств, важных для эксплуатации изделий из титановых сплавов. Однако, триботехнические покрытия на сплавы с ультрамелкозернистой структурой должны наноситься при сравнительно невысокой температуре, для того чтобы сохранить стабильность структуры и свойств сплавов. В настоящее время наиболее перспективными способами нанесения покрытий, обладающими широкими технологическими возможностями, позволяющими снизить температуру обработки поверхности, являются способы ионно-плазменного напыления. С учетом этого была поставлена задача изучить влияние ионно-плазменного антифрикционного покрытия Ti-C-Mo-S на сопротивление микродеформации сплава VT6 в крупнозернистом и субмикрокристаллическом состояниях.

Субмикрокристаллическая структура сплава была получена методом авс-прессования в специальной пресс-форме. Прессование начинали при температуре 1073 К и проводили со ступенчатым понижением температуры до 973 К. При нанесении покрытия были использованы два способа – вакуумно-дуговое осаждение и магнетронное напыление. При формировании покрытия в обоих случаях был использован прием предварительного ионно-плазменного легирования поверхности подложки для повышения адгезии покрытия. Режимы легирования и нанесения покрытия обеспечивали температуру подложки не выше 673 К. Толщина покрытий составляла 1÷1,3 мкм при магнетронном напылении и 1,5÷2,0 мкм при вакуумно-дуговом. Исследование микродеформации проводили при равномерном изгибе по методу ступенчатой «нагрузки–разгрузки» с постепенным увеличением приложенного напряжения и накоплением остаточной деформации.

Было установлено, что вид диаграмм нагружения сплава как в крупнозернистом, так и СМК состояниях имеет двухстадийный характер с разным коэффициентом упрочнения. При этом субмикрокристаллическая

## 2. Неустойчивость и локализация деформации и разрушения в материалах с иерархической структурой

---

структура сплава ВТ6 обладает в целом более высоким сопротивлением микродеформации. Антифрикционные покрытия, нанесенные методами вакуумно-дугового и магнетронного напыления, не оказывают влияния на сопротивление микродеформации в крупнозернистом состоянии сплава ВТ6, но повышают его, если сплав находится в субмикроструктурном состоянии.

Исследования с помощью растрового электронного микроскопа показали, что покрытие состоит из мелких зерен, вероятно, аморфной или нанокристаллической структуры, учитывая невысокую температуру нанесения покрытия и многофазность его состава. Отличительной чертой морфологии обоих покрытий является различная величина дисперсии распределения зерен по размерам. При этом поверхность покрытия, нанесенного методом магнетронного напыления, имеет более однородную и плотную структуру без видимых дефектов, по сравнению с микродуговым покрытием.

Исследование покрытий после механического испытания на микродеформацию показало, что на поверхности образцов с магнетронным покрытием, подвергавшейся растяжению при деформации на оправке, появились разрывы в направлении, перпендикулярном оси образца. На поверхности образцов с вакуумно-дуговым покрытием разрывов покрытия не наблюдается, что связано, вероятно, с большей толщиной покрытия.

### **ЧИСЛЕННОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕСУРСА КОМПОЗИТНОГО ОБРАЗЦА ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ**

Аношкин А.Н., Писарев П.В., Ермаков Д.А.

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Россия  
e-mail: pisarev85@live.ru*

В настоящее время производство современных авиадвигателей невозможно без применения полимерных композиционных материалов, перспективы развития авиационной ракетной техники напрямую связаны с разработкой и внедрением деталей и узлов из композиционных материалов. Поскольку использование композитов уже является повсеместным, выявлено, что большинство отказов в узлах случалось в связи с усталостью композиционных материалов при циклическом нагружении. Необходимо разрабатывать модели прогнозирования ресурса композитных конструкций при циклическом нагружении.

Целью данной работы является разработка численной модели по прогнозированию ресурса многослойных композитных конструкций при циклическом нагружении. А так же проведение серии вычислительных экспериментов по моделированию циклических испытаний образцов из ПКМ на растяжение.

Численное решение данной задачи осуществлялось методом конечных элементов (МКЭ) в пакете ANSYS Workbench с использованием высокопроизводительного вычислительного комплекса. В реализованной