

# **ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**

**МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«Перспективные материалы с иерархической структурой  
для новых технологий и надежных конструкций»**

**X МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«Химия нефти и газа»**

Томск

Издательский Дом ТГУ

2018

DOI: 10.17223/9785946217408/163

**МНОГОУРОВНЕВАЯ ИЕРАРХИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА, ФОРМИРУЮЩАЯСЯ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ СИСТЕМЫ «ПЛЕНКА (Ti) / (SiC-КЕРАМИКА) ПОДЛОЖКА» ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ИНТЕНСИВНЫМ ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ**

<sup>1</sup>Иванов Ю.Ф., <sup>2</sup>Калашников М.П., <sup>3</sup>Леонов А.А., <sup>1</sup>Шугуров В.В., <sup>1</sup>Тересов А.Д.,

<sup>3</sup>Петюкевич М.С., <sup>3</sup>Полисадова В.В.

<sup>1</sup>Институт сильноточной электроники СО РАН, Томск, Россия

<sup>2</sup>Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия

<sup>3</sup>Томский политехнический университет, Томск, Россия

Представлены результаты исследования, целью которых являлось формирование многоуровневой иерархической структуры в поверхностном слое SiC-керамики в результате плавления системы «пленка (Ti) / (SiC-керамика) подложка» интенсивным импульсным электронным пучком. Использовали образцы SiC керамики, полученные методом SPS-спекания. Пленку титана толщиной 0,5 мкм формировали при вакуумном электродуговом плазменно-ассистированном распылении катода из технически чистого титана марки ВТ1-0. Облучение системы «пленка/подложка» осуществляли интенсивным импульсным электронным пучком субмиллисекундной длительности при следующих параметрах: энергия ускоренных электронов 17 кэВ, плотность энергии пучка электронов 15 Дж/см<sup>2</sup>, длительность импульса 200 мкс, количество импульсов 30, давление остаточного газа (аргон) в рабочей камере установки 3\*10<sup>-2</sup> Па.

Методами сканирующей электронной микроскопии показано, что пленка титана, сформированная при вакуумном электродуговом плазменно-ассистированном распылении катода, содержит микрокапли, размеры которых изменяются в пределах до 10-12 мкм (рис. 1, а). Наличие микрокапельной фракции приводит, при облучении системы «пленка/подложка» электронным пучком, к созданию поверхностного слоя, характеризующегося существенно неоднородным распределением атомов титана (рис. 1, б).

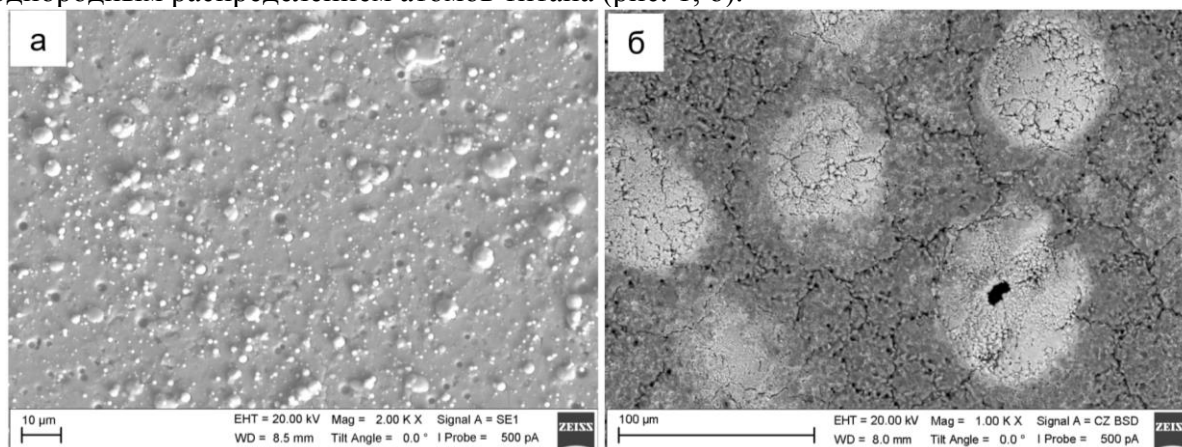


Рис. 1. Электронно-микроскопическое изображение структуры системы «Ti / SiC-керамика» в исходном состоянии (а) и после облучения электронным пучком (б)

Методами рентгенофазового анализа обработанной электронным пучком системы «Ti / SiC-керамика» установлено, что при указанном режиме облучения формируется многофазный (SiC – 81.6 %, TiC – 12.7 %, Si – 0.5 %, C – 5.2 %) поверхностный слой.

Методами сканирующей и просвечивающей электронной дифракционной микроскопии выявлено образование в поверхностном слое системы «Ti / SiC-керамика» многоэлементной субмикро- нанокристаллической структуры (рис. 2).

Элементный состав модифицированного слоя изучали методами микрорентгеноспектрального анализа тонких фольг. Установлено, что облучение интенсивным импульсным электронным пучком системы «Ti / SiC-керамика» сопровождается взаимным легированием пленки и подложки (рис. 3). Толщина слоя SiC-керамики,

#### Секция 4. Научные основы разработки материалов с многоуровневой иерархической структурой, в том числе для экстремальных условий эксплуатации

обогащенной атомами титана, достигает 4 мкм; толщина слоя покрытия (микрокапли), обогащенного атомами кремния и углерода, достигает 10-12 мкм. Атомы титана и углерода формируют карбид титана. Кристаллиты карбида титана разделены прослойками второй фазы, основным элементом которой являются атомы кремния.

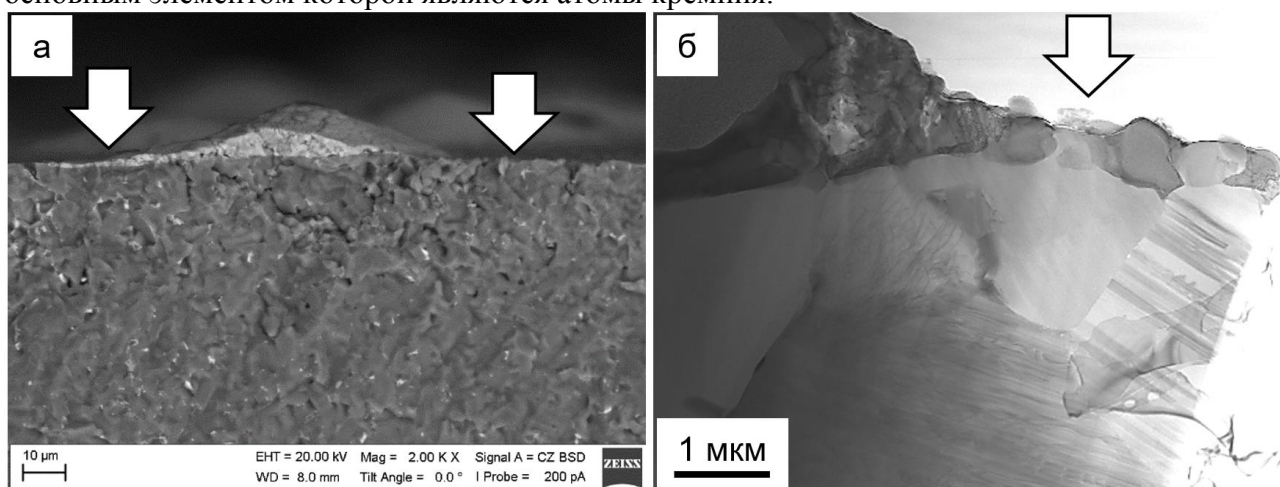


Рис. 2. Структура поперечного сечения системы «Ti / SiC-керамика», облученной электронным пучком; а – сканирующая; б – просвечивающая электронная микроскопия. Стрелками обозначена поверхность модифицирования

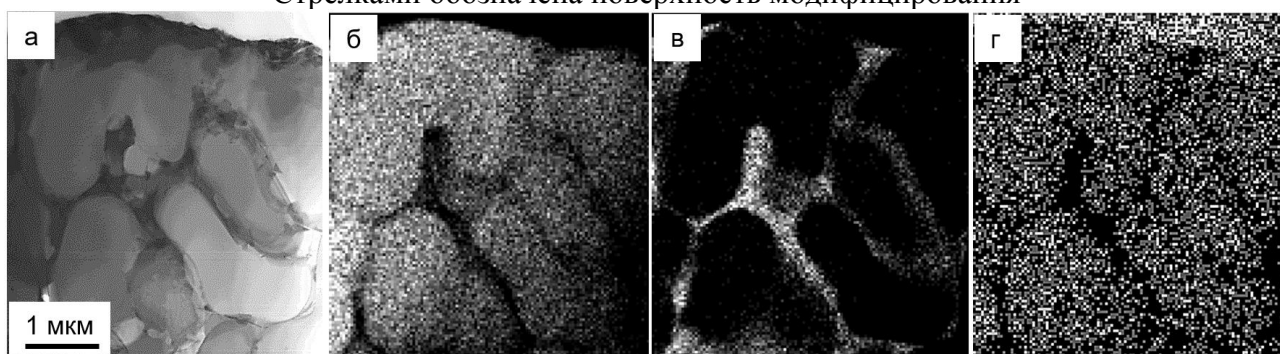


Рис. 3. Электронно-микроскопическое изображение структуры поверхностного слоя системы «Ti / SiC-керамика», облученной электронным пучком (а); (б-г) - изображения структуры поверхностного слоя системы «Ti / SiC-керамика» получены в рентгеновском излучении атомов Ti (б), Si (в) и C (г)

Установлено (прибор ПМТ-3М, нагрузка на индентор 2 Н), что облучение системы «пленка (Ti) / (SiC-керамика) подложка» интенсивным импульсным электронным пучком приводит к формированию модифицированного слоя, величина микротвердости которого изменяется в пределах от 35 ГПа до 96 ГПа (значение микротвердости SiC-керамики изменяется в пределах от 23 ГПа до 36 ГПа).