ИСТИТУТ ФИЗИКИ ПРОЧНОСТИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК

СЛОИСТЫЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ Zr(B,O)/SiC-HfC

Буякова Светлана Петровна
профессор, доктор технических наук

Цели исследований

- *Разработка научных принципов организации многоуровневой тепловой защиты из градиентных керамических композитов, сохраняющих эксплуатационные характеристики до 2500 К.*

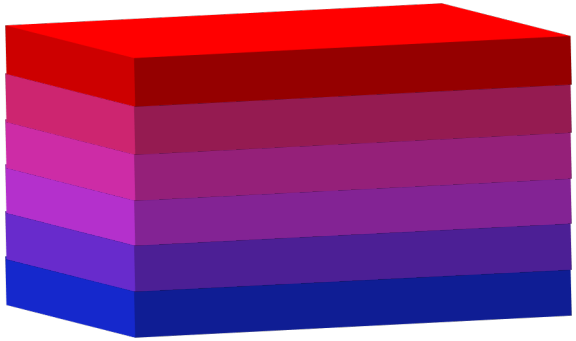
Задачи исследований

- *организация структурно-фазовой иерархии в градиентных керамических материалах и покрытиях системы $Zr_m(O\text{-}B\text{-}C)_n$-HfC, обеспечивающей термостабильность и эффективную теплозащиту;*
- *организация механизмов релаксации термоупругих напряжений в градиентных керамических композитах на основе системы $Zr_m(O\text{-}B\text{-}C)_n$ на нано- и микромасштабных уровнях;*
- *организация механизмов самозалечивания случайных эксплуатационных и технологических дефектов в керамических композитах системы $Zr_m(O\text{-}B\text{-}C)_n$ и покрытии HfC с восстановлением исходных характеристик.*

Научные подходы к решению задач

- *формирование квазиаморфного состояния в дисперсных системах $Zr_m(O\text{-}B\text{-}C)_n$ посредством высокоэнергетической механохимической обработки;*
- *организация в керамических композитах системы $Zr_m(O\text{-}B\text{-}C)_n$ когерентных (полукогерентных) межфазных границ, обеспечивающих проявление микропластичности и, как следствие, эффективной релаксации термоупругих напряжений в условиях многократных термических воздействий;*
- *формирование структурно-фазового состояния, обеспечивающего миграцию межзёренных границ, как механизм самозалечивания случайных эксплуатационных и технологических дефектов в керамических композитах системы $Zr_m(O\text{-}B\text{-}C)_n$ и покрытии HfC.*

Идеология исследований состоит в создании теплоизоляционных керамических композитов на основе циркониевых соединений посредством формирования межфазового градиента, основываясь на принципе уменьшения теплопроводности от внешнего к внутреннему слою и малой разнице в величинах термического расширения прилегающих слоёв композита.



λ>60 Вт/(м*К)

λ<3 Вт/(м * К)

Структурно-фазовая иерархия в градиентных керамических композитах $Zr_m(O\text{-}B\text{-}C)_n$-HfC обеспечивает:

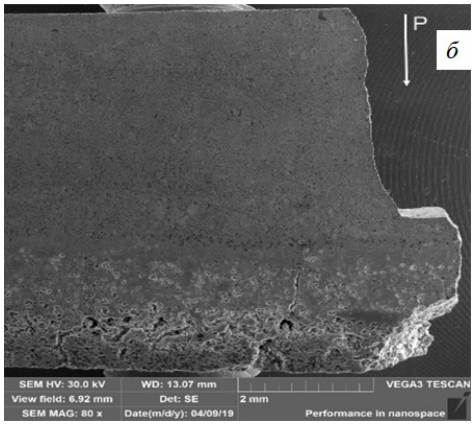
- эффективную релаксацию концентраторов термоупругих напряжений;
- эффективную тепловую защиту аэрокосмических летательных аппаратов и их энергетических систем от термических воздействий.

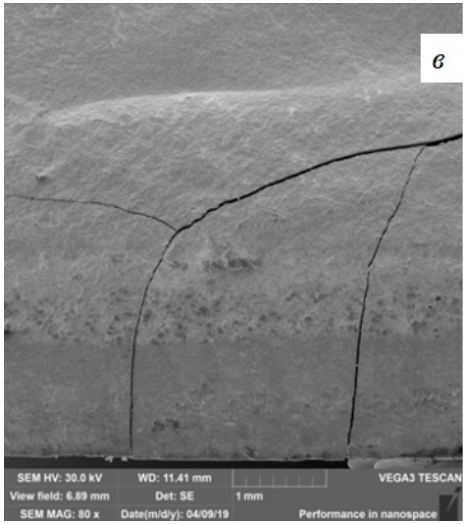
Величина $E_{уз}$ ГПа, $\alpha*10^{-6}$ С и величины остаточных напряжений на границах слоёв в керамическом композиционном материале ZrB_2-SiC-ZrO_2

** остаточные напряжения в слоях в области межслоевых границ рассчитаны из разницы величин α.*

Состав слоя	$E_{уз}$, ГПа	$\alpha*10^{-6}$, К	Остаточные напряжения на межслоевых границах*, МПа	Н, ГПа
(I) ZrB_2-SiC	440±7	5,61	σ_{1-2}=–40,9	H_{1-2}=26±2
(II) (ZrB_2-SiC)-ZrO_2	432±5	5,89	σ_{2-1}=+40,2 σ_{2-3}=–76,2	H_{2-1}=21±2 H_{2-3}=26±1
(III) (ZrB_2-SiC)-ZrO_2	380±5	6,49	$\sigma_{3-2=}$+67,2 σ_{3-4}=–228	H_{2-1}=18±1 H_{2-3}=23±2
(IV) (ZrB_2-SiC)-ZrO_2	250±3	8,29	σ_{4-3}=+150 σ_{4-5}=–75	H_{2-1}=15±3 H_{2-3}=20±2
(V) ZrO_2	150±8	9,2	σ_{5-4}=+45	H_{2-1}=14±2

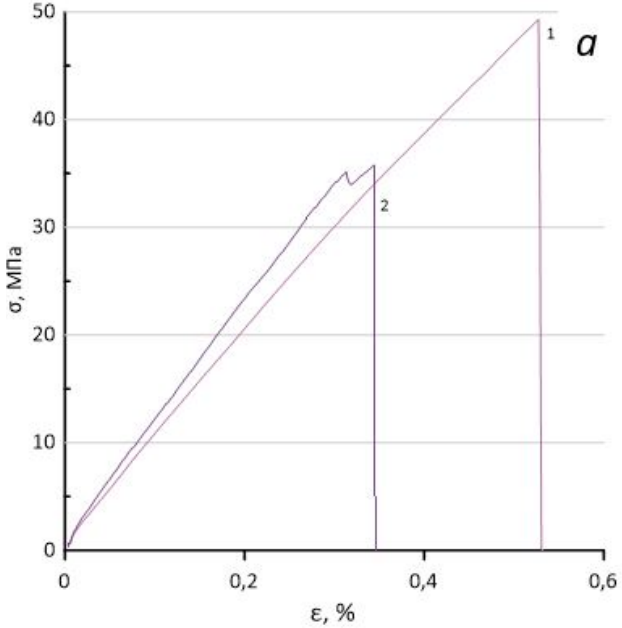
Разрушение слоистой керамики

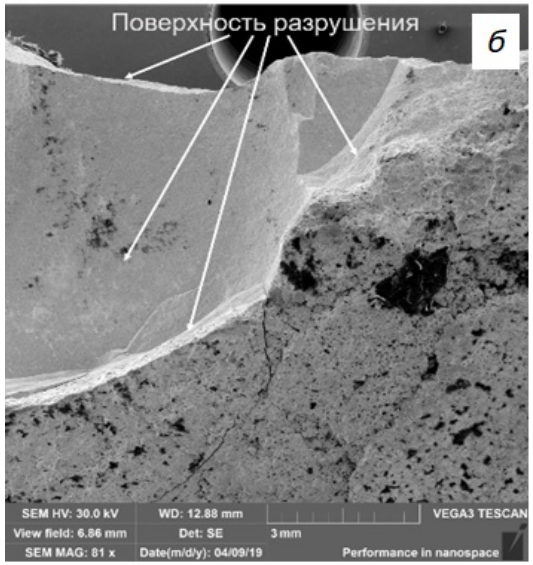


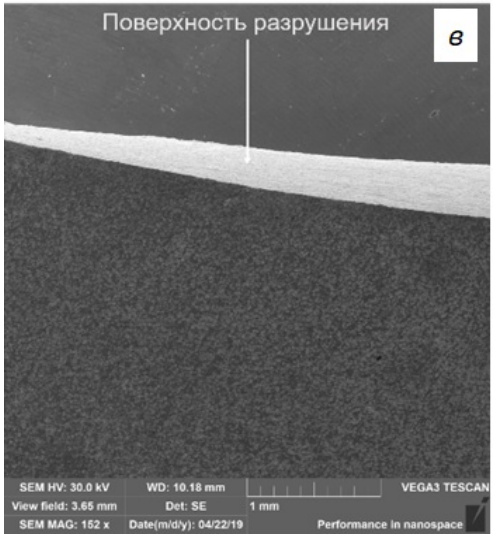


Рельеф откола при испытаниях на изгиб слоистого композита при формировании (а) сжимающих напряжений на тыльной поверхности (100 % ZrO_2), (б) растягивающих напряжений на тыльной поверхности и поверхность разрушения слоистого композита (в)

Разрушение слоистой керамики

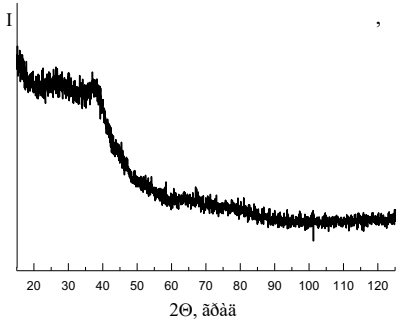




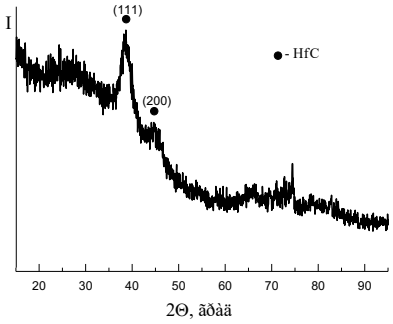


Деформационные диаграммы (а) при испытаниях на диаметральное сжатие: 1) слоистого композита ZrB_2-SiC-ZrO_2 и 2) композита ZrB_2-20 % SiC; поверхности разрушения слоистого композита ZrB_2-SiC-ZrO_2 (б) и композита ZrB_2-20 % SiC (в).

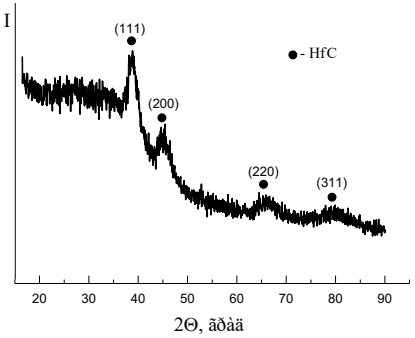
Изучено влияние состава газовой смеси и температуры осаждения на фазовый состав высокотемпературного покрытия



20 °C

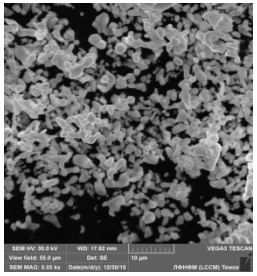


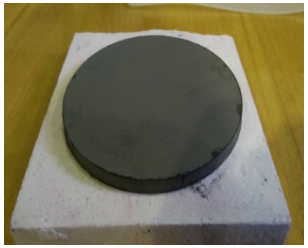
200 °C



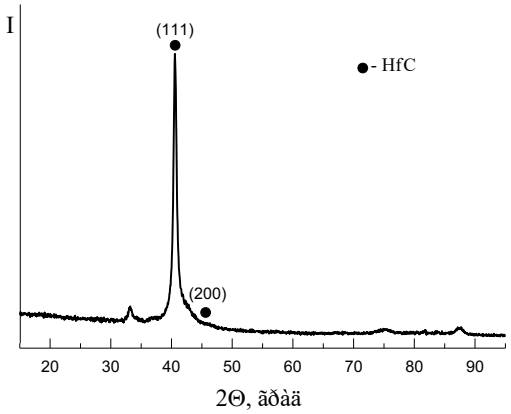
500 °C

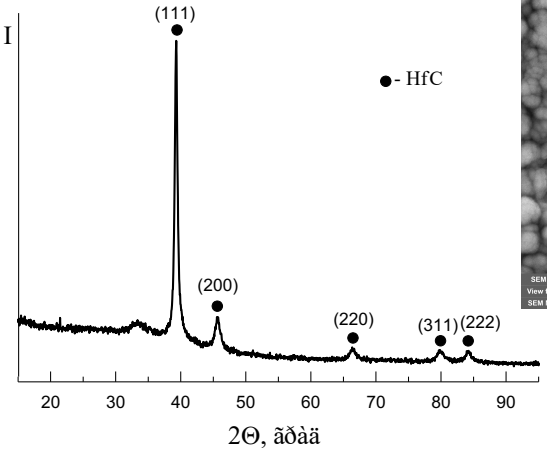
Рентгенограммы покрытия HfC, полученных при разных температурах осаждения

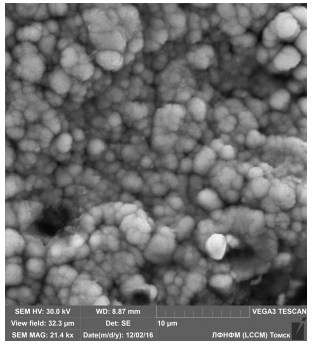


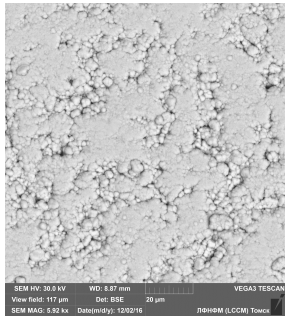


Порошок Hf и мишень





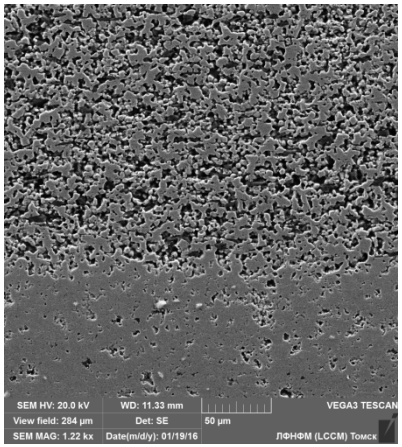


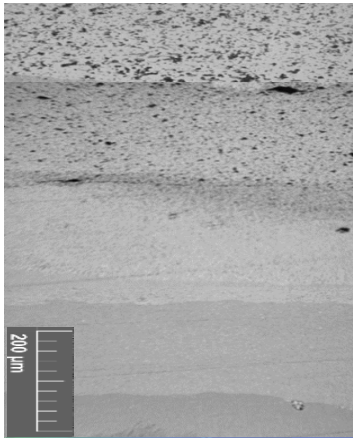


Структура покрытия HfC на высокотемпературных градиентных керамических композитах $ZrB_2(SiC) – ZrO_2$

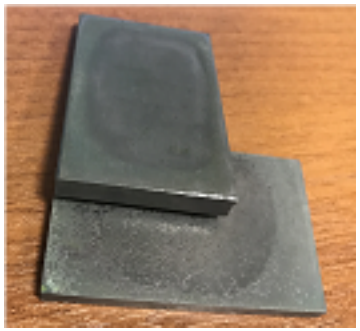
Рентгенограммы покрытия HfC, полученных при постоянной температуре осаждения и разном соотношении газов Ar/CH_4

Результаты исследований

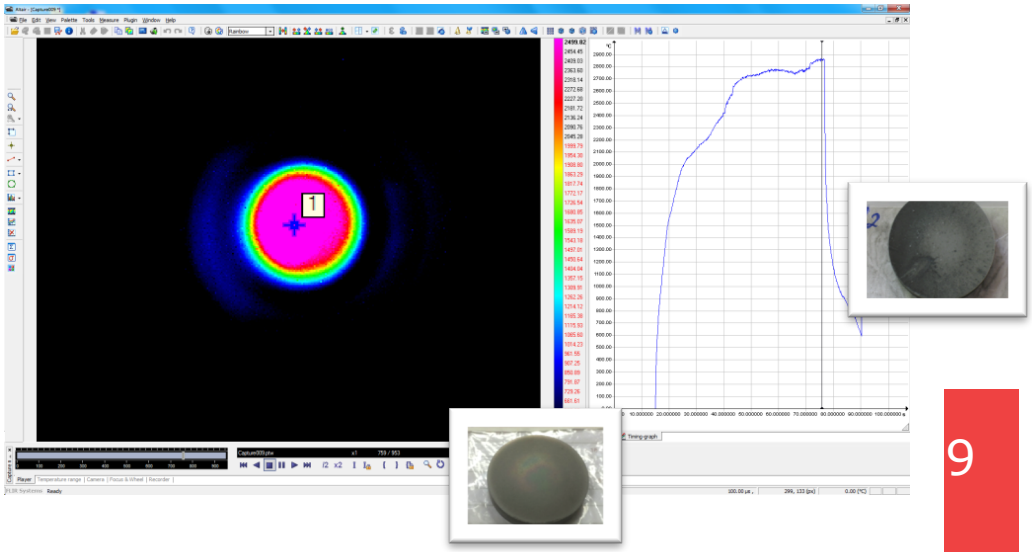




Структура градиентных керамических материалов $Zr_m(O\text{-}B\text{-}C)_n\text{-}HfC$



Элемент конструкции тепловой защиты (тыльная сторона)



Температура испытаний: 2100 - 2900 °C, давление потока 100 Мбар.
Установка (У-13ВЧП)

Спасибо за внимание!

Буякова Светлана Петровна,
заместитель директора ИФПМ СО РАН по НР
Sbuyakova@ispms.ru
+7-913-881-2883