ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

INTERNATIONAL WORKSHOP

**«Multiscale Biomechanics and Tribology
of Inorganic and Organic Systems»**

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

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

**VIII ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ,
ПОСВЯЩЕННАЯ 50-ЛЕТИЮ ОСНОВАНИЯ
ИНСТИТУТА ХИМИИ НЕФТИ**

«Добыча, подготовка, транспорт нефти и газа»

DOI: 10.17223/9785946218412/289

САМОЗАЛЕЧИВАНИЕ В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ КЕРАМИКАХ ZrB₂-SiC

¹Бурлаченко А.Г., ^{1,2}Мировой Ю.А., ^{1,2}Дедова Е.С., ^{1,2}Буякова С.П.

¹*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск*

²*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск*

Использование высокотемпературных керамик в качестве материала тепловой защиты фюзеляжа и острых кромок крыла даёт возможность увеличения скорости перемещения гиперзвукового аэрокосмического транспортного средства [1-5]. Наиболее часто в качестве материала тепловой защиты гиперзвуковых аппаратов рассматривают керамические композиционные материалы системы ZrB₂-SiC [6-7]. Эти материалы характеризуются высокой термической стойкостью, малым удельным весом и высокой прочностью. Однако, как и все непластичные материалы, керамики ZrB₂-SiC весьма чувствительны к присутствию в их структуре дефектов и трещин, которые могут существенно уменьшить их надёжность [8]. Однако эти материалы способны проявлять самозалечивание дефектов при воздействии высоких температур. Получение данных о кинетике самозалечивания высокотемпературных керамик позволит увеличить их надёжность посредством создания структурно-фазовых предпосылок к самозалечиванию дефектов.

Цель исследований – изучение кинетики залечивания дефектов в керамических композитах с различным соотношением компонентов ZrB₂-SiC.

Исследования проводились на керамиках ZrB₂-SiC с содержанием SiC 0, 5, 10, 15, 20 и 25 %. Керамические образцы имели форму дисков Ø≈ 15мм, h≈ 4мм, получены спеканием под давлением 35 МПа с изотермической выдержкой в течение 15 минут при температуре 1800 °С. Дефекты в виде пропила формировались с помощью алмазного инструмента. Глубина пропилов во всех исследуемых образцах составляла 100±5 мкм, ширина раскрытия на поверхности 60±20 мкм.

Кинетика самозалечивания сформированных дефектов в образцах ZrB₂-SiC изучалась после их нагрева до температур 1200, 1400 и 1600 °С с изотермической выдержкой 0, 5 и 10 минут в воздушной среде. Скорость нагрева составляла 15 мин., скорость охлаждения 15 мин. Измерялась остаточная глубина дефектов L и рассчитывался процент самозалечивания как:

$$H = \frac{L_0 - L_n}{L_0} \times 100\%,$$

где L_0 – глубина дефекта в исходном состоянии, L_n – глубина дефекта после термообработки.

Обнаружено, что эффективное самозалечивание дефектов произошло при нагреве керамики до температуры 1600°С, рисунок 1. Среднее значение H для составов с содержанием SiC 10 - 20% близко к 100%, для образцов с содержанием карбида кремния 0; 5; 25 %, заполнение дефектов составило 70-80%. Нагрев керамики ZrB₂-SiC до температуры 1400 °С обеспечил самозалечивание дефектов в среднем на 20-40 %. Ещё меньшее

Самозалечивание дефектов керамики ZrB₂ при нагреве до температур 1200 ° и 1400 °С и изотермической выдержке в течение 5 минут превышало самозалечивание образцов ZrB₂-SiC. Однако увеличение продолжительности термообработки привело к частичному или полному разрушению образцов ZrB₂. Заполнение дефектов произошло при нагреве керамики до температуры 1200 °С.

Для керамических композитов всех составов ZrB₂-SiC увеличение длительности термообработки обеспечивало увеличение H . При этом быстрее дефекты устранялись в керамике содержанием карбида кремния 15 и 20 %.

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

Рис. 2 - Снимки дефектов в образце с содержанием карбида кремния 20 % до а) и после б) нагрева до температуры 1600 °С

Таким образом, воздействие температуры 1600 °С на керамику в условиях отсутствия изотермической выдержки привело к практически полному заживлению дефектов вне зависимости от содержания SiC, но наибольшие изменения наблюдались для состава, содержащего 20% SiC. Самозалечивание дефектов керамики ZrB_2 при нагреве до температуры 1400 °С и изотермической выдержке в течение 5 минут превышало самозалечивание образцов ZrB_2 -SiC. Увеличение длительности термообработки при температурах отжига 1200 ° и 1400 °С обеспечивало увеличение H , а наилучшими показателями обладали керамики с содержанием карбида кремния 15 и 20 %.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы фундаментальных исследований, проекта III.23.2.3.

1. Monteverde F. et al. Plasma wind tunnel testing of ultra-high temperature ZrB_2 -SiC composites under hypersonic re-entry conditions //Journal of the European Ceramic Society. – 2010. – Т. 30. – №. 11. – С. 2313-2321.
2. Justin J. F., Jankowiak A. Ultra High Temperature Ceramics: Densification, Properties and Thermal Stability //AerospaceLab. – 2011. – №. 3. – С. p. 1-11.
3. Opeka M. M., Talmy I. G., Zaykoski J. A. Oxidation-based materials selection for 2000 C+ hypersonic aerosurfaces: theoretical considerations and historical experience //Journal of materials science. – 2004. – Т. 39. – №. 19. – С. 5887-5904.
4. Levine S. R. et al. Evaluation of ultra-high temperature ceramics for aero propulsion use //Journal of the European Ceramic Society. – 2002. – Т. 22. – №. 14-15. – С. 2757-2767.
5. Cutler R. A. Engineering properties of borides //Ceramics and glasses, engineered materials handbook. – 1991. – Т. 4. – С. 787-803.
6. Upadhy K., Yang J. M., Hoffman W. P. Advanced materials for ultrahigh temperature structural applications above 2000° C //Am. Ceram. Soc. Bull. – 1997. – Т. 76. – №. 12. – С. 51-56
7. Zhang S. C., Hilmas G. E., Fahrenholtz W. G. Improved oxidation resistance of zirconium diboride by tungsten carbide additions //Journal of the American Ceramic Society. – 2008. – Т. 91. – №. 11. – С. 3530-3535.
8. Guo S. Q. Densification of ZrB_2 -based composites and their mechanical and physical properties: a review //Journal of the European Ceramic Society. – 2009. – Т. 29. – №. 6. – С. 995-1011.