

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**

**19 - 23 сентября 2016 г.**

**Томск, Россия**

**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**

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

$\tau_3 = 1,5 \pm 0,1$  мин; охлаждение композиции до комнатной температуры  $\tau_0 = 60 \pm 5$  мин; введение отвердителя ПЕПА и перемешивание композиции  $\tau = 5 \pm 0,1$  мин. После этого проходила операция отверждения ЭКМ при следующих режимах: формирование образцов и их выдержка в течение  $\tau = 12,0 \pm 0,1$  часов при температуре  $T = 293 \pm 2$  К, нагрев со скоростью  $v = 3$  К / мин до температуры  $T = 393 \pm 2$  К, выдержка ЭКМ на протяжении  $\tau = 2,0 \pm 0,05$  часов, медленное охлаждение до температуры  $T = 293 \pm 2$  К. С целью стабилизации структурных процессов в матрице образцы выдерживали  $\tau = 24$  часа на воздухе при температуре  $T = 293 \pm 2$  К и в дальнейшем использовали их для проведения экспериментов.

По результатам комплексных исследований эпоксикомпозитных материалов установлено, что оптимальная дисперсность наполнителя печной сажи ПМ-75 составляет 5 ... 10 мкм.

Показано, что для формирования покрытий с улучшенными адгезионными свойствами (адгезионный слой) необходимо использовать композицию следующего состава: эпоксидный олигомер марки ЭД-20 ( $q = 100$  масс.ч.), отвердитель полиэтиленполиамин ПЕПА ( $q = 10$  масс.ч.), дисперсный наполнитель печная сажа ПМ-75 ( $q = 25$  масс.ч.). такой материал имеет хорошие механические свойства: адгезионная прочность при отрыве –  $\sigma_a = 54,1$  МПа, остаточные напряжения –  $\sigma_{ост} = 0,87$  МПа.

Экспериментально подтверждено, что для формирования покрытий с улучшенными когезионными свойствами (поверхностный слой) необходимо использовать композицию следующего состава: эпоксидный олигомер марки ЭД-20 ( $q = 100$  масс.ч.), отвердитель полиэтиленполиамин ПЕПА ( $q = 10$  масс.ч.), дисперсный наполнитель - печная сажа ПМ-75 ( $q = 20$  масс.ч.). Такой материал характеризуется следующими механическими свойствами: напряжения разрушения при изгибе -  $\sigma_{изг} = 60,0$  МПа, модуль упругости при изгибе -  $E = 3,0$  ГПа, ударная вязкость -  $W = 9,8$  кДж/м<sup>2</sup>.

### ПОЛУЧЕНИЕ И СТРУКТУРА СПЕЧЕННОГО $ZrW_2O_8$

Дедова Е.С.<sup>1,2,3</sup>, Губанов А.И.<sup>4,5</sup>, Филатов Е.Ю.<sup>4,5</sup>, Кардаш Т.Ю.<sup>4,6</sup>, Кульков С.Н.<sup>1,2,3</sup>

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

<sup>2</sup>НИ Томский государственный университет, Томск, Россия,

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

<sup>4</sup>Новосибирский НИ государственный университет, Новосибирск, Россия ,

<sup>5</sup>Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия,

<sup>6</sup>Институт катализа им. Г.В. Борескова СО РАН, Новосибирск, Россия

lsdedova@yandex.ru

Вольфрамат циркония относится к классу материалов, обладающих отрицательным коэффициентом термического расширения. Среди представителей данного класса вольфрамат циркония отличают изотропное сжатие в широком интервале температур от -273 до 770 °С. В настоящее время известны как физические, так и химические способы получения дисперсных систем вольфрамата циркония. Однако ни все они позволяют получать порошки  $ZrW_2O_8$  в высокодисперсном состоянии. Гидротермальный синтез обеспечивает получение монофазного порошка вольфрамата циркония в стабильном нанокристаллическом состоянии. В работе изучались особенности получения вольфрамата циркония гидротермальным синтезом и свойства полученного порошка.

Показано, что на процесс кристаллизации гидратированного вольфрамата циркония  $ZrW_2O_7(OH,Cl)_2 \cdot 2H_2O$  существенное влияние оказывают следующие факторы: концентрация используемой соляной кислоты (0,4, 0,7, 1,4, 2,3 М) и продолжительность гидротермальной реакции (12 и 36 часов). Кристаллизация вещества протекает быстрее

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

---

при более высокой концентрации HCl и времени реакции. В области малых концентраций соляной кислоты (0.4 – 1.4 М) синтезировать однофазный целевой продукт крайне затруднительно. Эффективными условиями для получения наноразмерного монофазного  $ZrW_2O_7(OH,Cl)_2 \cdot 2H_2O$  являются: концентрация соляной кислоты не менее 2.3 М, время реакции 36 часов. В этом случае выход продукта составляет ~ 100 %. Гидратированный вольфрамат циркония состоит из двух видов частиц: рыхлые агломераты нерегулярной формы и вытянутые частицы. Средний размер вытянутых частиц в поперечном направлении не превышает 0.2 мкм. Порошок  $ZrW_2O_8$ , полученный термическим разложением  $ZrW_2O_7(OH)_2 \cdot 2H_2O$  при 570 °С, состоит из вытянутых частиц, имеющих блочную структуру, средний размер блоков не превышает 100 нм.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке проекта РФФИ 16-33-00698.

### **МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭЛЕМЕНТОВ КОМПОЗИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ТРЕХКОМПОНЕНТНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Чумаевский А.В.<sup>1</sup>, Тарасов С.Ю.<sup>1,2</sup>, Колубаев Е.А.<sup>1,2</sup>, Рубцов В.Е.<sup>1,2</sup>, Елисеев А.А.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> НИ Томский политехнический университет, Томск, Россия

tch7av@gmail.com, tsy@ispms.ru, eak@ispms.ru, rvy@ispms.ru, alan@ispms.ru

Производство композитных конструкций в настоящее время является актуальной научно-технической задачей в связи с быстрым развитием авиационной и ракетно-космической сферы. Такие конструкции обладают рядом положительных факторов по сравнению с металлическими, например – высокая удельная прочность, низкая масса и др. Данные конструкции могут изготавливаться из различных композиционных материалов с широким спектром армирующих элементов и полимерных матриц. Наибольший интерес с точки зрения авиационной и ракетно-космической промышленности имеют композиционные материалы с наименьшей массой и наибольшими удельными механическими свойствами. При этом, в настоящее время в литературе имеется недостаточное количество сведений о механических свойствах таких конструкций, которые в свою очередь претерпевают существенные изменения по сравнению со стандартными образцами соответствующих материалов. Таким образом, целью настоящей работы является исследование механических свойств образцов элементов композитной конструкции.

В качестве объекта для исследований выбраны образцы композитных конструкций, изготовленные аддитивным методом из трехкомпонентного композиционного материала с двумя типами связующего – термопластическое и терморезистивное разработки «Сколковского института науки и технологий». Образцы для испытаний на растяжение вырезали из сетчатой конструкции размером 250×12×1.5 мм. Испытания проводили на растяжение вдоль армирующих волокон на разрывной машине INSTRON-558 со скоростью 1 мм/мин. После испытаний на растяжение проводили исследования оптической и растровой-электронной микроскопии.

Проведенные испытания образцов элементов композитных конструкций на растяжение показывают, что, по сравнению с образцами трехкомпонентного материала, происходит ожидаемое снижение механических свойств. При этом, снижение предела прочности не превышает 15%, а снижение модуля упругости происходит практически в 2 раза. Пластическая деформация разделяет образцы на два типа по характерным особенностям протекания процесса деформации. К первому типу с плавным изменением