

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

осадки при температуре 600°C, 1 осадка при температуре 550°C (осадка на ≈50%). После каждой осадки заготовки закаливали в воду комнатной температуры.

В исходном состоянии (после закалки) сталь имела структуру аустенита с размером зерна 15 мкм и небольшой долей феррита (<5%). Аустенитные зерна имели квазиравноосную форму и содержали небольшую долю двойниковых границ (закалочные двойники). Микротвердость стали в исходном состоянии составляла 1,8МПа.

После горячего прессования в стали была сформирована однородная зеренно-субзеренная структура субмикронного масштаба. На поверхности образцов после травления в растворе «царской водки» наблюдали однородные равноосные ячейки с границами разной морфологии. Расстояние между границами ячеек после прессования составило 1–5 мкм, но внутри таких элементов присутствовали субграницы с меньшим контрастом. Следы исходной зеренной структуры не были обнаружены, то есть горячее прессование обеспечило деформацию и измельчение исходных аустенитных зерен. На светлопольных электронно-микроскопических изображениях наблюдали однородный контраст с хорошо различимыми границами, который свидетельствовал о формировании развитой зеренно-субзеренной структуры. Средний размер элементов структуры с преимущественно большеугловыми границами, определенный по темнопольным электронно-микроскопическим изображениям, составил  $470 \pm 20$  нм. Внутри таких элементов структуры присутствовали малоугловые границы и высокая плотность дислокаций  $\rho \sim 10^{15} \text{ м}^{-2}$ , которые были распределены однородно. Редко наблюдали большие зерна диаметром 1–2 мкм, которые также содержали дислокации и малоугловые субграницы, и свободные от дислокаций зерна размером 0,5 мкм, указывающие на действие динамической рекристаллизации при прессовании стали. Микродифракционные картины, полученные с площади 1 мкм<sup>2</sup>, имели квазикольцевой характер. Межплоскостные расстояния для таких колец соответствовали, в основном, аустенитной фазе, но также наблюдали точечные рефлексы, межплоскостные расстояния для которых соответствовали ферриту.

Прессование привело к повышению микротвердости стали до  $3,4 \pm 0,2$  МПа. Таким образом, создание однородной субмикрокристаллической структуры методом горячего прессования со сменой оси деформации способствовало формированию высокопрочного состояния и увеличению микротвердости стали в 2 раза.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 16-08-00926-а). Исследования проведены с использованием оборудования ЦКП «Нанотех» (ИФПМ СО РАН, Томск).

### **МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ПЕНОСТЕКОЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ С РАДИОПОГЛОЩАЮЩИМИ СВОЙСТВАМИ**

Казьмина О.В.<sup>1</sup>, Семухин Б.С.<sup>2</sup>, Суслиев В.И.<sup>3</sup>, Коровин Е.Ю.<sup>3</sup>, Дорожкин К.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>НИ Томский политехнический университет, Томск, Россия,

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

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

kazmina@tpu.ru,

Все известные пеностекольные материалы обладают различным сочетанием физических, технических и химико-механических свойств. Имеются разработанные схемы и технологии, позволяющие изменять те или иные свойства пеностекла. Для этих целей используют, например, модификацию шихты путем внесения каких-либо добавок. О том, каким составом должен обладать материал с необходимой функциональной

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

характеристикой и каким критериям должна отвечать пористая структура обычно неизвестно. В настоящей работе предлагается научно – обоснованный подход к управлению составом и структурой пеностекляного материала, позволяющий получать материал с заранее заданными свойствами. Уникальные физико-технические свойства нового материала обусловлены наличием строгой иерархии структурных уровней. Особо отметим уникальность материала, связанного со способностью поглощать электромагнитное излучение в широком диапазоне частот.

Цель работы - разработка многофункционального пеностекляного материала на принципах многомасштабного построения. Для решения этой задачи в качестве управляющего структурного параметра пеностекляного материала выбраны форма и размеры основных структурных элементов на разных масштабных уровнях. Сформулировано технологическое требование к материалу - увеличение коэффициента поглощения электромагнитных волн в диапазоне 26-260 ГГц. Положительное решение задачи вытекает из возможности контролирования структуры материала на нано-, мезо- и микроструктурных уровнях. В качестве контролирующих структуру методик выбраны традиционные методы исследования – оптическая микроскопия, рентгеноструктурный анализ и микроскопия высокого разрешения. Для контроля свойств выбраны механические методы определения прочностных характеристик и определения коэффициентов прохождения, поглощения, отражения электромагнитного излучения.

Упорядочение структуры пеностекляных материалов вытекает из необходимости построения иерархически соподчиненной системы, как на микро, так и макроуровнях. В качестве структурных элементов системы рассматривается распределение в матрице межпоровой перегородки материала кластеров, а также размер и форма пор в объеме материала. Необходимым условием является наличие кластеров, а необходимым и достаточным наличие правильной с точки зрения симметрии упаковки пор. Основным показателем правильного выбора добавок предлагаем считать симметричный – формирование упорядоченной пористой структуры пятой и шестой симметрии.

Установлено, что модифицированное пеностекло характеризуется сложной атомной структурой на микроуровне, включающей в себя кластеры в рентгеноаморфной матрице межпоровой перегородки. По результатам исследований выявлено, что материал активно взаимодействует с электромагнитным излучением и может быть использован для создания: защитных экранов, снижающих вредное влияние излучения на биологические объекты; безэховых камер и помещений с низким уровнем электромагнитного фона. Наиболее активно материал взаимодействует с электромагнитным излучением в диапазоне частот выше 60 ГГц.

### **ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА ВЫДЕЛЕНИЙ АЛЮМИНИДОВ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ НА СТРУКТУРУ ВСЕСТОРОННЕ ИЗОТЕРМИЧЕСКИ КОВАНОГО АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА 1570С**

Мухаметдинова О.Э., Ильясов Р.Р., Нугманов Д.Р.,  
Автократова Е.В., Ситдииков О.Ш., Маркушев М.В.

Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, Уфа, Россия  
oksana@imsp.ru, ilyasov@imsp.ru, nugmanov@imsp.ru, avtokratova@imsp.ru,  
sitdikov.oleg@anrb.ru, mvmark@imsp.ru

Методами просвечивающей и растровой электронной микроскопии исследовали эффект размера вторичных выделений алюминидов переходных металлов (ПМ) - дисперсоидов  $Al_3(Sc,Zr)$ , на формирование ультрамелкозернистой структуры в сплаве 1570С ( $Al-5,0Mg-0,2Mn-0,2Sc-0,08Zr$ ) при большой пластической деформации. Для этого слиток сплава гомогенизировали по различным режимам, а затем подвергали