

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**

**21 - 25 сентября 2015 г.**

**Томск, Россия**

**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**

## МАЛОАКТИВИРУЕМЫЕ ВАНАДИЕВЫЕ СПЛАВЫ С ДИСПЕРСНЫМ УПРОЧНЕНИЕМ. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Тюменцев А.Н.<sup>1,2</sup>, Дитенберг И.А.<sup>1,2</sup>, Чернов В.М.<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия,

<sup>3</sup>«Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А.А. Бочвара», Москва, Россия

tyuments@phys.tsu.ru, ditenberg\_i@mail.ru, VMChernov@bochvar.ru

Обобщены результаты исследования микроструктуры и механических свойств малоактивируемых ванадиевых сплавов V-4Ti-4Cr(C,N,O), V-Me(Cr,W)-Zr и V-Me(Cr,W)-ZrC в зависимости от их элементного состава и режимов технологической обработки. Представлено два возможных направления повышения жаропрочности этих сплавов.

1. Повышение характеристик высокотемпературной прочности за счет повышения эффективности дисперсного упрочнения частицами карбидных (оксикарбонитридных) фаз методами термомеханической обработки (ТМО).

2. Создание композиций с предельно высокой дисперсностью наночастиц оксида циркония (ZrO<sub>2</sub>), стабильных до температур, близких к температуре плавления ванадия, с использованием химико-термической обработки (ХТО) типа внутреннего окисления (ВО).

В рамках 1-го направления в карбидноупрочненных ванадиевых сплавах V-4Ti-4Cr(C,N,O) и V-Me(Cr,W)-ZrC найдены режимы ТМО, обеспечивающие формирование:

- однородного распределения наноразмерных частиц карбидных (оксикарбонитридных) фаз путем контроля в процессе ТМО кинетических условий их образования;
- мелкокристаллической структуры в условиях получения на промежуточных этапах ТМО дефектных субструктур с высокой запасённой энергией деформации;
- структурных состояний с совместным дисперсным и субструктурным (элементами дислокационной и полигональной микроструктуры) упрочнением.

Разработаны режимы ТМО, позволившие получить структурные состояния с предельно высокой (размер частиц не более 5 нм) дисперсностью второй фазы и субструктурой с высокой плотностью дефектов. В опытных образцах сплавов V-4Ti-4Cr(C,N,O) и V-Me(Cr,W)-ZrC результатом формирования этого состояния является (1.5-2) – кратное, по сравнению с традиционными режимами ТМО, увеличение предела текучести при T = (20-800) °C при сохранении относительно высокого запаса пластичности.

В рамках 2-го направления для сплавов V-Me(Cr,W)-Zr выявлены термодинамические и кинетические условия и разработаны методы

неравновесного ВО с формированием наноразмерных частиц  $ZrO_2$  контролируемой дисперсности и высокой термической стабильности. Предложены режимы ХТО, обеспечивающие сохранение наноразмерной (размер частиц менее 30 нм) гетерофазной структуры до температур не ниже (1300-1400) °С, повышение температуры возврата дефектной субструктуры и собирательной рекристаллизации до  $T \approx 1300$  °С и 1600 °С, соответственно. Эти режимы обеспечивают высокие эффекты дисперсного и субструктурного упрочнения материала и более чем двукратное, по сравнению с известными режимами технологической обработки, увеличение предела текучести как при комнатной, так и при повышенных (до 1000 °С) температурах.

Предполагается, что в рамках 1-го направления (упрочнение частицами карбидных фаз) могут быть получены материалы для работы в активной зоне реактора в температурном интервале до (700-800) °С. Методы химико-термической обработки могут быть использованы для создания материалов, работающих при температурах на 100-200 градусов выше.

## **НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЕ ОХРУПЧИВАНИЕ И РАЗРУШЕНИЕ ОЦК И ГЦК МЕТАЛЛОВ - ДИСЛОКАЦИОННЫЕ МЕХАНИЗМЫ**

Чернов В.М.<sup>1</sup>, Кардашев Б.К.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*«Высокотехнологический НИИ неорганических материалов*

*имени академика А.А. Бочвара» (АО «ВНИИНМ»), Москва, Россия,*

<sup>2</sup>*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия.*

*VMChernov@bochvar.ru*

Рассмотрены дислокационные механизмы зарождения микротрещины и её распространения в объёмно-центрированных кубических (ОЦК, преимущественная система скольжения дислокаций  $\{110\}\langle 111\rangle$ ) и гранецентрированных кубических (ГЦК, преимущественная система скольжения дислокаций  $\{111\}\langle 110\rangle$ ) металлах (изделиях) в состояниях их низкотемпературного охрупчивания (НТО, хладноломкости), как сложного многоступенчатого процесса на разных масштабных уровнях, приводящего к разрушению. Зарождение и подвижность дислокаций в термоактивируемой области их движения контролирует обычные механические свойства металлов (пределы текучести и прочности, удлинение до разрушения), а в динамической (вязкой) области их движения (более высокие внешние напряжения) контролирует трещиностойкость (ударную вязкость) металла (изделия). Стадии зарождения и распространения трещины (концентратора напряжения) контролируются свойствами металла (упругие модули, поверхностная энергия), его кристаллической структурой (преимущественная система скольжения дислокаций, барьеры Пайерлса) и её дефектами, как неоднородностями (зарождение, межкристаллитное распространение) и как источниками внутренних напряжений (внутрикристаллитное