

УДК 538.911; 548.4; 669.292.5; 620.186.8

DOI: 10.17223/00213411/64/7/36

*И.В. СМЕРНОВ, К.В. ГРИНЯЕВ, А.Н. ТЮМЕНЦЕВ, А.Д. КОРОТАЕВ, Ю.П. ПИНЖИН,
И.А. ДИТЕНБЕРГ, В.М. ЧЕРНОВ, М.М. ПОТАПЕНКО*

ВЛИЯНИЕ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ТЕРМИЧЕСКУЮ СТАБИЛЬНОСТЬ МИКРОСТРУКТУРЫ, МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ОСОБЕННОСТИ РАЗРУШЕНИЯ СПЛАВА V–Cr–Ta–Zr *

Проведено исследование особенностей структурно-фазового состояния, термической стабильности, характеристик механических свойств и особенностей разрушения сплава V–Cr–Ta–Zr после химико-термической обработки по методу неравновесного внутреннего окисления. Установлено, что, в отличие от химико-термической обработки в дефектном состоянии, эффективное влияние кислорода при введении в материал со стабилизированной структурой наблюдается только при его высоких концентрациях. При таких концентрациях кислорода, обеспечивающих максимальное связывание Zr в частицы на основе ZrO₂, изучаемый сплав демонстрирует высокий уровень термической стабильности и прочностных свойств. Указанные эффекты связаны с реализацией дисперсного упрочнения по механизму Орована на наноразмерных частицах ZrO₂, характеризующихся высокой термической стабильностью. Концентрация и характер распределения кислорода в совокупности определяют пространственное распределение формируемых при химико-термической обработке наноразмерных частиц ZrO₂, что проявляется в особенностях разрушения материала при разных температурах.

Ключевые слова: сплавы ванадия, химико-термическая обработка, микроструктура, механические свойства, термическая стабильность, особенности разрушения.

Введение

Малоактивируемые ванадиевые сплавы являются перспективными конструкционными материалами для использования в энергетических установках нового поколения [1–3]. В этой связи повышение эффективности дисперсного упрочнения рассматривается в качестве одного из основных направлений улучшения эксплуатационных свойств таких сплавов при повышенных температурах [4–9].

Как известно [10, 11], напряжение Орована в сплавах с дисперсным упрочнением зависит от объемной доли и дисперсности частиц вторых фаз. При этом если повышение дисперсности вторых фаз в сплавах после выплавки может быть реализовано путем дробления, растворения и перераспределения исходных грубодисперсных выделений в процессе термомеханических обработок (ТМО) [12, 13], то увеличение ее объемной доли возможно только методами химико-термической обработки (ХТО) [6, 9, 14, 15]. После ХТО ванадиевых сплавов разных систем (V–Zr–C и V–Mo–Zr–C [6], V–Cr–Ti [14], V–Cr–W–Zr [9, 15]) было установлено, что при высоких (более 1 ат. %) концентрациях кислорода образование фронта окисления происходит путем реализации механизма неравновесного внутреннего окисления на расстояниях, сравнимых с полутолщиной образца. Формируемые в области фронта окисления путем выделения из твердого раствора, а также путем окисления исходных карбидных частиц наноразмерные (3–20 нм) оксиды на основе ZrO₂ обеспечивают повышение высокотемпературной прочности и термической стабильности таких сплавов.

В настоящей работе проведено изучение влияния ХТО на термическую стабильность микроструктуры, механические свойства и особенности разрушения сплава V–Cr–Ta–Zr.

Материалы и методика исследования

В работе использован сплав V – 6.99 Cr – 1.8 Ta – 0.45 Zr – 0.174 O – 0.138 C – 0.034 N (ат. %) (далее V–Cr–Ta–Zr) производства АО «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов им. А.А. Бочвара» (Москва). Образцы из указанного сплава подвергали термомеханической обработке по стандартному режиму [12], который предполагает чередование деформации прокаткой (до $\varepsilon \approx 50\%$) при комнатной температуре с часовыми промежу-

* Работа выполнена в рамках госзадания ИФПМ СО РАН, тема номер FWRW-2021-0008.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>