

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 538.911; 548.4; 669.292.5; 620.186.8

DOI: 10.17223/00213411/65/3/179

МИКРОСТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВА V–Cr–Ta–Zr ПОСЛЕ КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ*

И.А. Дитенберг^{1,2}, И.В. Смирнов^{1,2}, К.В. Гриняев^{1,2},
А.Н. Тюменцев^{1,2}, В.М. Чернов³, М.М. Потапенко³¹ Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск, Россия² Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия³ АО «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов им. акад. А.А. Бочвара», г. Москва, Россия**Ключевые слова:** сплавы ванадия, комбинированная обработка, микроструктура, механические свойства.

Повышение эффективности дисперсного упрочнения является одним из путей увеличения высокотемпературной прочности малоактивируемых ванадиевых сплавов, разрабатываемых в качестве перспективных конструкционных материалов для энергетических установок новых поколений [1–6]. В этой связи по-прежнему актуальны вопросы оптимизации методов термомеханической (ТМО) и химико-термической (ХТО) обработок, обеспечивающих модификацию гетерофазной и зеренной структуры.

В работе проведено исследование влияния комбинированной обработки на особенности микроструктуры и значения кратковременной прочности и пластичности сплава V–Cr–Ta–Zr при разных температурах.

Использован сплав системы V–6.99Cr–1.8Ta–0.46Zr–0.17O–0.03N–0.14C (ат.%) (далее V–Cr–Ta–Zr) производства АО «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов им. акад. А.А. Бочвара». Комбинированная обработка сплава заключается в чередовании циклов из ТМО-II [7] и ХТО методом диффузионного легирования кислородом [8]. Концентрация вводимого кислорода (C_O) зависит от продолжительности термообработки на воздухе и определялась путем взвешивания образцов после различных этапов ХТО на электронных лабораторных весах GH-200 фирмы «A&DCOLTD» с точностью 10^{-4} г. Перед растяжением проведен часовой стабилизирующий отжиг образцов в вакууме при температуре 1000 °С.

Исследования методами сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) проведены с использованием сканирующего электронно-ионного микроскопа FEI Quanta 200 3D при ускоряющем напряжении 30 кВ. Образцы готовили путем механической шлифовки и последующей электролитической полировки в 20%-м растворе серной кислоты в метаноле при напряжении 15 В. Картины дифракции обратно рассеянных электронов (EBSD), отражающие характер угловой ориентации зеренной структуры, получены в режиме с гексагональной постановкой точек. Кикучи-картины, формируемые обратно рассеянными электронами, автоматически индентифицировались программой «TSL OIM data collection». Дальнейшая обработка полученного массива данных проведена с использованием программного обеспечения «TSL OIM analysis».

Механические испытания образцов в форме двойных лопаток с размерами рабочей части 13×2×1 мм осуществляли методом активного растяжения в вакууме ($\sim 3 \cdot 10^{-3}$ Па) при температурах (T_p) 20 и 800 °С со скоростью $2 \cdot 10^{-3}$ с⁻¹.

После первого этапа комбинированной обработки, включающего один цикл ТМО-II и последующую ХТО, концентрация кислорода (C_O) достигает 0.43 ат.%. Как видно (рис. 1, а), зерна имеют анизотропную форму: вытянуты в направлении прокатки (НП), а их размеры плавно увеличиваются по мере удаления от поверхности окисления. Зерна вблизи поверхности (0 мкм) характеризуются шириной от 5 до 20 мкм, достигая в длину от 40 до 100 мкм. На расстоянии 300 мкм от поверхности, при почти неизменной длине, ширина зерен увеличивается до 15–40 мкм. Таким образом, меняется коэффициент неравноосности зерен (в среднем от 1:10 до 1:5). Плавное изменение зеренной структуры наблюдается до ~ 400 мкм. На больших расстояниях микроструктура представлена значительно более крупными зернами с меньшим коэффициентом неравноосности (не более 1:3) и фактически соответствует состоянию после ТМО-II [7].

Концентрация кислорода после финального этапа комбинированной обработки достигает ≈ 0.99 ат.%. Зеренная структура в области на расстоянии до 200 мкм от поверхности представлена микрополосовым состоянием (рис. 1, б). При длине более 100 мкм полосы характеризуются шириной менее 10 мкм. По мере удаления от поверхности наблюдается плавное увеличение ширины зерен с сохранением микрополосового состояния. Внутри всех зерен после отжига при 1000 °С наблюдается градиентная окраска, что свидетельствует

* Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема 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>