

Влияние концентрации вводимого кислорода на термическую стабильность внутренне-окисленного сплава V–Cr–Zr*

И.В. Смирнов¹, И.А. Дитенберг¹

¹ Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск, Россия

Проведено исследование термической стабильности внутренне-окисленного сплава V–Cr–Zr в зависимости от концентрации кислорода, введенного в процессе химико-термической обработки. Установлено, что увеличение концентрации кислорода от 0.65 до 1.34 ат.% способствует повышению температуры начала первичной рекристаллизации от 0.7 $T_{\text{пл}}$ до 0.85 $T_{\text{пл}}$. Показано, что по мере повышения значения коэффициента стехиометрического соотношения происходит не только смещение температуры активизации первичной и вторичной рекристаллизации в область более высоких температур, но и, в отличие от классических представлений, наблюдается тенденция к почти совместной реализации этих процессов. Таким образом, экспериментально обосновано применение химико-термической обработки для повышения термической стабильности сплава V–Cr–Zr на 300 град и более.

Ключевые слова: сплавы ванадия, химико-термическая обработка, термическая стабильность.

Введение

Как известно [1–16], дисперсное упрочнение является одним из эффективных способов повышения термической стабильности поликристаллических гетерофазных сплавов. Закрепляя границы зерен и элементы полигональной структуры, наноразмерные частицы вторых фаз обеспечивают подавление процессов рекристаллизации. Предназначенные для высокотемпературного применения сплавы ванадия после выплавки часто характеризуются наличием грубодисперсных выделений в виде метастабильных карбидов и оксикарбонитридов, что переводит их в разряд гетерофазных материалов [17]. Модификация гетерофазной структуры таких сплавов возможна методами термомеханической и химико-термической обработки (ХТО) [15, 16]. В первом случае диспергирование осуществляется путем дробления, растворения, перераспределения и выделения стабильных карбидов [15]. При реализации ХТО в готовый сплав дополнительно вводится кислород, который в условиях низкотемпературного диффузационного легирования обеспечивает формирование мелкодисперсных частиц оксидных фаз [16].

Проведенные в работе [18] оценки показали, что скорость коагуляции наноразмерных частиц ZrC в температурном интервале 700–1000 °C снижается, по сравнению с частицами TiC, примерно на порядок, в то время как частиц ZrO₂ – на 2–4 порядка. Это обеспечивает возможность повышения термической стабильности гетерофазной структуры и верхней границы интервала рабочих температур сплавов V–ZrC, по сравнению с V–TiC, на 100–200 град, а в композициях типа V–ZrO₂ эта граница может быть повышена на 200–300 град.

В настоящей работе исследовано влияние концентрации вводимого кислорода на термическую стабильность внутренне-окисленного сплава V–Cr–Zr.

Материалы и методика исследования

В работе использован сплав V–8.62Cr–0.66Zr–0.064O–0.036N–0.042C (ат.%) (далее V–Cr–Zr) производства АО «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А.А. Бочвара» (г. Москва). Химико-термическая обработка (ХТО) по методу внутреннего окисления проведена на образцах толщиной \approx 1 мм после термомеханической обработки по режиму ТМО-II [15]. ХТО включает в себя следующие этапы [16]:

1. Формирование поверхностной окалины в процессе отжига на воздухе при 600–700 °C, продолжительность которого определяется необходимой концентрацией кислорода (C_O).
2. Вакуумный ступенчатый (от 620 до 1000 °C) отжиг в течение 9 ч.
3. Стабилизирующий вакуумный отжиг при 1100 °C в течение 1 ч.

* Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема FWRW-2021-0008.