АКТИВАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЯЗКОУПРУГИХ СВОЙСТВ ЖАРОПРОЧНОГО СПЛАВА НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ Ni–Co–Cr, УПРОЧНЕННОГО ОБЪЕМНЫМ АЗОТИРОВАНИЕМ*

Д.М. Левин¹, Д.О. Фролов¹, С.С. Манохин²

¹ Тульский государственный университет, г. Тула, Россия

² Институт проблем химической физики РАН, г. Черноголовка, Россия

Приведены результаты измерений высокотемпературного фона внутреннего трения жаропрочного сплава ВЖ171 в исходном состоянии и после объемного азотирования. Полученные данные использованы для установления закономерностей перехода сплава из упругого в вязкоупругое состояние при повышенных температурах. Азотирование сплава приводит к росту температуры перехода в вязкоупругое состояние с 571 К (исходное состояние) до 763 К (после азотирования). Получены значения энергии активации высокотемпературного фона внутреннего трения: $U_f = (0.63 \pm 0.01)$ эВ для сплава ВЖ171 в исходном состоянии и $U_f = (0.59 \pm 0.01)$ эВ после объемного азотирования. Сделаны оценки энергии активации U_0 процессов, ответственных за формирование вязкоупругих свойств вещества: $U_0 \approx 2.52$ эВ для сплава в исходном состоянии, $U_0 \approx 2.36$ эВ для азотированного сплава. Полученные значения U_0 соответствуют энергии активации самодиффузии в никеле – основном компоненте матрицы сплава. Появление в матрице азотированного сплава дисперсных нитридных фаз приводит к уменьшению энергии активации процессов вязкоупругости на 6%. Рассмотрены возможные причины изменения температуры перехода в вязкоупругое состояние и энергии активации процессов вязкоупругости при умеренно высоких температурах в результате азотирования.

Ключевые слова: жаропрочные сплавы, вязкоупругие свойства, фон внутреннего трения, азотирование, энергия активации, микротекучесть.

Введение

Для изготовления деталей горячего тракта современных газотурбинных авиационных двигателей (жаровые трубы камеры сгорания, элементы сопла и форсажной камеры) широко применяют жаропрочные материалы, способные работать при температурах ~ 1050 °С и выше [1, 2]. В основном, это конструкционные никелевые сплавы. Высокие рабочие температуры обеспечивают большую удельную мощность и реактивную тягу двигателя.

Современные исследования литых и порошковых жаропрочных сплавов направлены не только на разработку новых материалов с повышенной жаропрочностью и заданными физическими свойствами, но и на улучшение характеристик имеющихся перспективных сплавов за счет использования, в частности, методов химико-термической обработки (ХТО). Известно, что одним из эффективных способов повышения служебных характеристик жаропрочных материалов является высокотемпературное объемное азотирование, обеспечивающее появление в структуре мелкодисперсных частиц нитридов [3–5]. Получаемый таким образом материал в ходе дисперсного упрочнения становится наноструктурированным.

Создание и освоение в инженерной практике группы дисперсно-упрочненных сплавов, дополнительно упрочняемых методами ХТО, представляет сегодня большой интерес. Данная технология обеспечивает значительное улучшение основных механических свойств (микротвердости, длительной прочности) и других показателей.

В настоящее время активно осваивается промышленностью сплав нового поколения ВЖ171, разработанный на основе системы Ni–Co–Cr и имеющий рабочую температуру около 1250 °С, что в среднем на 175 °С выше, чем у серийных жаропрочных сплавов [6, 7]. Повышение рабочих температур было достигнуто за счет упрочнения матрицы сплава стабильными частицами нитридов титана, образующихся в процессе азотирования.

* Данная работа в основной части, связанной с исследованием процесса азотирования изучаемого сплава, выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 18-02-00760 (А)), в дополнительной части, связанной с исследованием активационных характеристик вязкоупругих свойств, выполнена при финансовой поддержке Правительства Тульской области в рамках научного проекта, № государственной регистрации 121112200058-9 (грант в сфере науки и техники ДС/260), и в части, связанной с изучением структуры и фазового состава изучаемого сплава, выполнена при финансовой поддержке Государственного задания, № государственной регистрации АААА-А19-119111390022-2 и АААА-А19-119022690098-3 соответственно.

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>