



ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК

Сборник научных трудов
XVII Международной конференции студентов, аспирантов
и молодых ученых

РОССИЯ, ТОМСК, 21 – 24 апреля 2020 г.

Том 1. Физика

PROSPECTS OF FUNDAMENTAL SCIENCES DEVELOPMENT

Abstracts
XVII International Conference of Students
and Young Scientists

RUSSIA, TOMSK, April 21 – 24, 2020

Volume 1. Physics

**УСТАЛОСТНОЕ ПОВЕДЕНИЕ ТИТАНА VT1-0 В РАЗЛИЧНЫХ СТРУКТУРНЫХ
СОСТОЯНИЯХ (ИНФРАКРАСНАЯ ТЕРМОГРАФИЯ)**

А.М. Майрамбекова^{1,2}, М.В. Банников³, А.И. Терехина³

Научный руководитель: профессор, д.ф.м.н. Ю.П. Шаркеев²

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,

Россия, г. Томск, пр. Академический, 2/4, 634055

³Институт механики сплошных сред УрО РАН,

Россия, г. Пермь, ул. Академика Королева, 1, 614013

E-mail: aikol@ispms.tsc.ru

**FATIGUE BEHAVIOR OF TITANIUM VT1-0 IN DIFFERENT STRUCTURAL STATES (INFRARED
THERMOGRAPHY)**

A.M. Mairambekova^{1,2}, M.V. Bannikov³, A.I. Terekhina³

Scientific Supervisor: Prof., Dr. Yu.P. Sharkeev²

¹Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050

²Institute of Strength Physics and Materials Science, Russia, Tomsk, Akademicheskii pr., 2/4, 634055

³Institute of Continuous Media Mechanics, Russia, Perm, Academician Korolev str., 1, 614013

E-mail: aikol@ispms.tsc.ru

Abstract. *Cyclic tests were carried out for the samples of titanium VT1-0 in different structural states a resonance fatigue machine Shimadzu USF-2000 (20 kHz) while using an infrared camera. The produced ultrafine grained structure in titanium VT1-0 has a significant impact on the fatigue strength during cyclic loading. The maximum temperature increment on the surface of ultrafine-grained samples of titanium VT1-0 and is significantly lower than that for coarse grained state. This fact indicates a qualitative change in the energy of the mechanism absorption dissipation which is associated with the ultrafine grained state feature.*

Введение. Титан и его сплавы, благодаря малой плотности, высокому сопротивлению коррозии, значительному уровню прочности и усталостной выносливости находят широкое применение в качестве конструкционных материалов в различных отраслях промышленности, техники и медицины. Наиболее широко применяемыми в медицине являются технически чистый титан отечественных марок VT1-0 и VT1-00 и зарубежные коммерчески чистый титан Grade-1-4 в качестве основы для имплантатов медицинского назначения. Сдерживающим фактором для широкого практического применения «чистого» титана является невысокий уровень механических свойств, в том числе, усталостная прочность и циклическая долговечность. Известно, что материалы в наноструктурном (НС) или в ультрамелкозернистом (УМЗ) состоянии обладают более высоким уровнем механических свойств, в частности, при циклическом нагружении.

В настоящее время актуальными являются исследования по влиянию НС и / или УМЗ состояния на процессы разрушения при циклических нагружениях при много- и сверхмногоцикловой

(гигацикловой) усталости [1]. В процессе циклического нагружения происходит выделение тепла на поверхности материала, изменение микроструктуры и накопление структурных дефектов внутри материала. Измерение тепловых сигналов позволяет визуально обнаруживать появление усталостных повреждений и прогнозировать усталостные свойства материалов. Одним из наиболее перспективным методом является инфракрасная термография. Благодаря своей высокой чувствительности позволяет бесконтактно оперативно измерять температуру объектов нагружения, что важно для исследования процессов накопления дефектов структуры и развития повреждаемости при усталостных испытаниях в гигацикловом режиме [2]. Целью настоящей работы является анализ усталостного поведения титана BT1-0 в различных структурных состояниях с помощью метода инфракрасной термографии.

Экспериментальная часть. В качестве исследуемого материала был выбран титан BT1-0. УМЗ состояние было сформировано комбинированным двухэтапным методом интенсивной пластической деформации (ИПД) с последующим дорекристаллизационным отжигом [3]. Для формирования крупнокристаллического (КК) состояния в титане был применен рекристаллизационный отжиг при температуре 800°C в течение одного часа образцов в УМЗ состоянии. Микроструктуру и фазовый состав исследовали с помощью оптической, просвечивающей электронной и растровой микроскопии. Результаты были получены на приборах Carl Zeiss Axio Observer, JEOL JEM 2100 и LEO EVO 50 в ЦКП «НАНОТЕХ» ИФПМ СО РАН (ЦКП ТНЦ СО РАН). Геометрические размеры образцов титана BT1-0 для усталостных испытаний были определены по аналитическим формулам, в зависимости от плотности исследуемого материала и его динамического модуля Юнга [4]. Поверхность образцов для испытаний имела шероховатость по Ra не более 0,6 мкм, что позволяло предотвратить образования трещин с поверхности. С целью улучшения качества визуализации температурных полей предварительно поверхность образцов покрывалась тонким слоем сажи. Образцы нагружали на ультразвуковой резонансной усталостной машине Shimadzu USF-2000 [2] в режиме много –и гигацикловой усталости при частоте 20 кГц с коэффициентом асимметрии цикла $R = -1$ при одновременном использовании инфракрасной камеры (ИК) FLIR SC 5000. Эксперимент проводили без принудительного охлаждения при комнатной температуре. Эволюция температурного поля в процессе циклического деформирования записывалась в виде цифровых термограмм, полученных с помощью измерительной тепловизионной системы в режиме реального времени. Запись поля температуры поверхности образца проводилась с частотой 2234,6 Гц и минимальным пространственным разрешением $2 \cdot 10^{-4}$ м. Изменение температуры фиксировалось в средней рабочей части образцов.

Результаты. Комбинированным двухэтапным методом ИПД в титане BT1-0 сформирована УМЗ структура с размером структурных элементов $0,2 \pm 0,1$ мкм. В результате усталостных испытаний с использованием ИК образцы титана в КК были разрушены по сравнению с УМЗ состоянием. На рисунке 1 представлена зависимость максимальной температуры на поверхности образцов титана от времени при циклическом нагружении в КК и УМЗ состоянии. Разрушение образцов титана в КК состоянии происходило при температуре выше 300°C за 9,9 с. Видно, что прирост температуры образцов для УМЗ титана в процессе циклического деформирования значительно меньше, чем для КК титана. Для образцов титана в УМЗ состоянии максимальная температура равная 120°C достигается за 141 с, что в 14 раз больше, чем для КК состояния (9,9 с.). Можно предположить, что механическая энергия в случае нагружения образцов с исходной КК структурой в большей степени трансформируется в упругую

энергию решетки в областях локализации деформации. Образцы в УМЗ состоянии обнаруживают меньшую способность к локализации деформации и задействуют большее количество «мод деформации», что приводит к уменьшению диссипативного вклада.

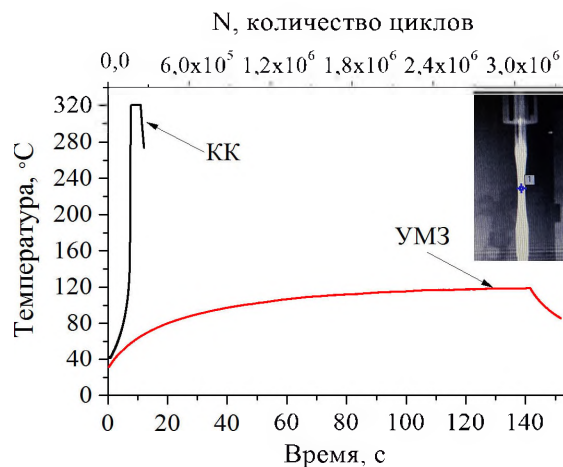


Рис. 1. Изменение температуры в процессе циклического нагружения титана VT1-0 в КК и УМЗ состояниях

Заключение. Сформированная УМЗ структура с помощью комбинированного метода ИПД в титане VT1-0 оказывает существенное влияние на величину усталостной прочности в процессе циклического нагружения. При циклическом нагружении приращение температуры на поверхности образцов титана VT1-0 в УМЗ состоянии существенно ниже, чем для КК состояния. Циклическое нагружение для VT1-0 в УМЗ состоянии, сопровождается качественным изменением процесса диссипации поглощенной энергии.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №17-32-50163 «мол_нр» и частичной поддержке Программы фундаментальных научных исследований СО РАН на 2017-2020 годы III.23.2., проект III.23.2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bathias C., Paris P.C. Gigacycle Fatigue in Mechanical Practice. – Dekker Publisher Co. 2005. – 328 p.
2. Plekhov O., Naimark O., Valiev R., Semenova I., Saintier N., Palin-Luc T. Experimental investigations of anomalous energy absorption in nanocrystalline titanium under cyclic loading conditions // Tech. Phys. Lett. – 2008. Vol. 34. Iss. 7. – P. 557–560.
3. Sharkeev Yu.P., Eroshenko A.Yu., Danilov V.I. et.al. Microstructure and Mechanical Properties of Nanostructured and Ultrafine-Grained Titanium and the Zirconium Formed by the Method of Severe Plastic Deformation // Russian Physics Journal – 2014. – Vol.56. – P. 1156–1162.
4. Bannikov M.V., Naimark O.B., Oborin V.A. Experimental investigation of crack initiation and propagation in high- and gigacycle fatigue in titanium alloys by study of morphology of fracture // Fratturaed Integrità Strutturale. – 2016. Vol. 35. – P. 50–56.