ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

INTERNATIONAL WORKSHOP

**«Multiscale Biomechanics and Tribology
of Inorganic and Organic Systems»**

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**«Перспективные материалы с иерархической структурой
для новых технологий и надежных конструкций»**

**VIII ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ,
ПОСВЯЩЕННАЯ 50-ЛЕТИЮ ОСНОВАНИЯ
ИНСТИТУТА ХИМИИ НЕФТИ**

«Добыча, подготовка, транспорт нефти и газа»

DOI: 10.17223/9785946218412/70

**ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ СПЛАВА ВТ6 НА ЕГО МЕХАНИЧЕСКИЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПЛАСТИЧЕСКУЮ ДЕФОРМАЦИЮ В ПРОЦЕССЕ СКРЕТЧ-
ТЕСТИРОВАНИЯ**

Шугуров А.Р., Казаченок М.С., Мартынов С.А., Кастеров А.М.
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск

Высокое отношение механических характеристик к плотности, низкая теплопроводность, жаропрочность, высокая коррозионная стойкость и биосовместимость титана и сплавов на его основе способствуют все более широкому их применению в авиации, ракетной технике, химическом машиностроении, судостроении, медицинской промышленности и т.д. Одним из наиболее перспективных титановых сплавов является сплав ВТ6, содержащий 6 вес.% Al и 4 вес. % V. Структура данного сплава представляет собой смесь низкотемпературной ГПУ α -фазы и высокотемпературной ОЦК β -фазы, что обеспечивает его повышенные прочность и пластичность. Для дополнительного повышения механических характеристик сплава ВТ6 разработано огромное количество различных методов механической и термической обработки, что в условиях наличия двух фаз обуславливает большой интервал изменения их количественного соотношения, возможность образования метастабильных фаз, а также широкий диапазон размеров и формы элементов микроструктуры.

Как и в случае других титановых сплавов, основными недостатками сплава ВТ6 являются его низкая износостойкость и плохая обрабатываемость резанием. Учитывая большое разнообразие структуры сплава ВТ6, формирующейся в результате его термомеханической обработки, для повышения его трибологических характеристик необходимо детальное исследование влияния структуры на его механические свойства и закономерности изнашивания. При этом особый интерес представляет изучение зарождения дефектов и пластического оттеснения материала при нагружении отдельных структурных элементов поликристалла, то есть процессов, развивающихся в области трибологического контакта на микро- и наномасштабном уровнях, поскольку они в значительной степени определяют механическое поведение материала в целом. Эффективными методами изучения подобных процессов являются наноиндентирование и скретч-тестирование, которые позволяют исследовать локальные механические и трибологические свойства твердых тел. Целью настоящей работы является изучение влияния структуры сплава ВТ6 на его механические характеристики и закономерности пластической деформации при скретч-тестировании.

Образцы для исследований представляли собой пластины из сплава ВТ6, подвергнутые механической шлифовке и последующей электролитической полировке. Были изучены образцы, полученные горячей прокаткой в состоянии поставки, после отжига в вакууме при температуре 980 °С в течение 2 часов, а также подвергнутые горячему изотермическому прессованию при температуре 950 °С и последующему отжигу при 900 °С в течение 1 часа. Кристаллографическую ориентацию зерен на поверхности образцов определяли методом дифракции обратно рассеянных электронов. Измерение твердости и модуля упругости зерен Ti методом наноиндентирования, а также их скретч-тестирование проводили с помощью установки Nanotest. Топографию поверхности образцов в области царапин, сформированных с помощью скретч-тестирования, исследовали методом атомно-силовой микроскопии.

Показано, что образцы в состоянии поставки имеет глобулярную структуру с размером зерен 0,8-1,5 мкм. Сплав ВТ6 после отжига при 980 °С характеризуется структурой с крупными первичными β -зернами, внутри которых находятся пакки α -ламелей, разделенных прослойками β -фазы, имеющими общую кристаллографическую ориентацию в пределах первичного β -зерна. Средняя толщина α -ламелей составляет 1,7 мкм. Наконец, образцы, подвергнутые горячему прессованию и рекристаллизационному отжигу обладают

Секция 2. Неустойчивость и локализация деформации и разрушения в материалах с иерархической структурой

бимодальной структурой с α -зернами размером 5-15 мкм и дисперсной смесью α - и β -фаз с размерами частиц около 1 мкм.

Измерение механических характеристик методом наноиндентирования показало, что самой низкой твердостью (3,85 ГПа) характеризуются образцы с ламельной структурой. В то же время наиболее высокая твердость была выявлена у образцов с бимодальной структурой (4,51 ГПа). При этом сплав ВТ6 с бимодальной структурой обладает более низким модулем упругости (146 ГПа), чем у образцов с глобулярной и ламельной структурой (155 и 154 ГПа соответственно). Это обуславливает более высокое значение у сплава с бимодальной структурой отношения твердости к модулю упругости, которое традиционно используется для оценки предельной упругой деформации, вязкости разрушения, критической нагрузки для начала пластической деформации и износостойкости материалов.

Изучены закономерности формирования деформационного рельефа на поверхности образцов из сплава ВТ6 в процессе их скретч-тестирования. Установлено, что во всех исследованных образцах сочетание нормальной и тангенциальной нагрузок обуславливает деформацию материала по механизму пропахивания и формирование царапин на поверхности. В процессе нагружения имело место пластическое оттеснение материала из царапин перед индентором и в двух боковых направлениях, перпендикулярных направлению царапания, которое приводило к образованию навалов по краям царапин. Исследования, проведенные методом дифракции обратно рассеянных электронов, выявили, что пластическая деформация материала в процессе нагружения способствовала его фрагментации, то есть образованию в царапинах большого количества локальных областей с разориентировкой кристаллической структуры. Показано, что образцы с бимодальной структурой характеризуются существенно меньшей остаточной глубиной царапин, формирующихся в результате воздействия индентором, чем образцы с глобулярной и ламельной структурой. Это хорошо согласуется с результатами наноиндентирования и свидетельствует о высокой демпфирующей способности сплава ВТ6 в данном структурном состоянии.

Полученные результаты свидетельствуют о необходимости учета влияния структуры материалов на механизмы пластического оттеснения при прогнозировании их стойкости к царапанию, которое является аналогом абразивного изнашивания. Выявленные закономерности особенно важны для понимания процессов, развивающихся в микро- и нанотрибологии, где контактное взаимодействие, как правило, происходит в пределах одного или нескольких элементов структуры.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Томской области в рамках научного проекта № 18-48-700009.