МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ПРОЧНОСТИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ СО РАН

ФИЗИЧЕСКАЯ МЕЗОМЕХАНИКА МАТЕРИАЛОВ.
ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОУРОВНЕВОЙ СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЗМЫ НЕЛИНЕЙНОГО ПОВЕДЕНИЯ

Международная конференция

5–8 сентября 2022 г.
Томск, Россия

Тезисы докладов

Новосибирск
2022

УДК 539(063)+620.18(063)
ББК В251я431+Ж37я431
Ф503

Ф503 Физическая мезомеханика материалов. Физические принципы формирования многоуровневой структуры и механизмы нелинейного поведения : Тез. докл. Междунар. конф., 5-8 сентября 2022 г., Томск, Россия / Ин-т физики прочности и материаловедения СО РАН. – Новосибирск : ИПЦ НГУ, 2022. – 556 с.

ISBN 978-5-4437-1353-3

Издание содержит тезисы международной конференции «Физическая мезомеханика материалов. Физические принципы формирования многоуровневой структуры и механизмы нелинейного поведения». Физическая мезомеханика является научным направлением, в рамках которого материал представляется как иерархическая система взаимосвязанных структурных (масштабных) уровней. В сборнике отражены последние достижения в области развития принципов и методологии физической мезомеханики и результаты их применения к созданию перспективных материалов в интересах развития новых производственных технологий, освоения космического пространства, в том числе дальнего космоса, электроники, атомной энергетики, нефтегазового комплекса, медицины, транспорта и др.

Предназначено научным сотрудникам, инженерам, аспирантам и специалистам, занимающимся вопросами физической мезомеханики, разработки наноструктурных объемных и наноразмерных материалов, наноструктурированием поверхностных слоев, тонкими пленками и покрытиями, нанотехнологиями, компьютерным конструированием новых материалов и технологий их получения, технологиями локальной нестационарной металлургии и обработки материалов, неразрушающими методами контроля.

УДК 539(063)+620.18(063)
ББК В251я431+Ж37я431

ISBN 978-5-4437-1353-3 © Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, 2022

DOI 10.25205/978-5-4437-1353-3-146

РАЗРУШЕНИЕ ПАРАМАГНЕТИКОВ В УСЛОВИЯХ УСТАЛОСТИ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ 0,3 ТЛ

Шляров В.В., Аксенова К.В., Серебрякова А.А., Загуляев Д.В.
Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк

В современных условиях эксплуатации машин и конструкций проблемы повышения прочности, ресурса, живучести и долговечности материалов выдвигаются в число основных задач. Наиболее ответственные и уникальные изделия, машины и конструкции эксплуатируются в режимах циклических деформаций, определяющих разрушение даже при незначительных нагрузках.

Усталость металла изучается уже более 160 лет, но все же многие проблемы по-прежнему остаются нерешенными [1]. За последние годы накоплен и проанализирован огромный материал, показывающий сложность поведения металлов и сплавов при усталости [2, 3]. Существует достаточно много неясностей как в объяснении природы повреждаемости при усталостном нагружении [4], так и при диагностировании усталости. Работы указывают на сложную природу явления усталости, связанную с самоорганизацией, накоплением и взаимодействием решеточных дефектов в процессе усталостного нагружения.

Согласно ГОСТ 23207–78 многоцикловая усталость – это усталость материала, при которой усталостное повреждение или разрушение происходит в основном при упругом деформировании, а малоцикловая усталость – при упруго-пластическом деформировании. В соответствии со стандартом ГОСТ 25.502–79 граница по долговечности между мало- и многоцикловой усталостью составляет 5 · 104 циклов. Эта граница является условной и характеризует некоторое среднее значение долговечностей, при которых происходит переход от малоциклового упруго-пластического к многоцикловому упругому циклическому деформированию. В зависимости от циклических свойств материала, режима нагружения, температурных условий испытаний, степени асимметрии цикла, частоты и других факторов зона перехода может изменяться в диапазоне от нескольких сотен до сотен тысяч циклов.

Титановые и алюминиевые сплавы, благодаря их высокой удельной прочности, коррозионной, усталостной стойкости, сопротивлению ползучести и вязкости разрушения, являются широко применяемыми материалами в авиационной и автомобильной промышленности. Благодаря своим свойствам и пригодности для самолетостроения, две трети произведенного титана используется в рамах и двигателях, как для гражданских, так и военных самолетов. Компоненты самолета, изготовленные из титановых сплавов, включают противопожарные стенки, шасси, вытяжные каналы (вертолеты) и гидравлические системы. В авиационных двигателях сплавы титан используются для роторов, лопаток компрессора, компонентов гидравлической системы, теплозащитных экранов и гондол. Из-за их устойчивости к коррозии в морской среде они используются в карданных валах опреснительных установок и в теплообменниках. В автомобильной промышленности титановые и алюминиевые сплавы в основном используются в выхлопных трубах и глушителях, а также в впускных и выпускных клапанах двигателей из-за их высокой усталостной прочности и термостойкости. Другое важное применение титановых сплавов в биомедицинских имплантатах. Будучи биосовместимыми, немагнитными и с модулем упругости, почти близким к модулю костной ткани, титановые сплавы очень подходят для зубных и ортопедических имплантатов. Сплавы титана, используемые для биомедицинских применений, включают коммерчески чистый ВТ1-00, Ti-6Al-4V (α-β сплав) и Ti-15V-3Cr-3Al-3Sn. Эти сплавы также используются в аэрокосмической промышленности [5-7].

Таким образом, изучение усталостного поведения титана при различных условиях эксплуатации является весьма актуальной задачей не только с научной, но и с практической точек зрения. В настоящей работе было экспериментально исследовано влияние постоянного магнитного поля с индукцией от 0,3 до 0,5 Тл (in situ) на усталостную долговечность технически чистого титана марки ВТ1-0 при ассиметричных нагрузках.

Образцы с размерами 12х4х130 мм с концентратором напряжений радиусом 20 мм были выполнены по ГОСТ 25.502-79 (рис. 1). Усталостные испытания были проведены при комнатной температуре по схеме консольного изгиба. Частота нагружения составляла 3,3 $с^{-1}$. Усталостные испытания были выполнены по двум схемам: в обычном режиме и при одновременном воздействии магнитного поля 0,3Тл. В ходе проведения усталостных испытаний определяли число циклов до разрушения подготовленных образцов в обычных условиях (без магнитного поля) и при воздействии постоянного магнитного поля.

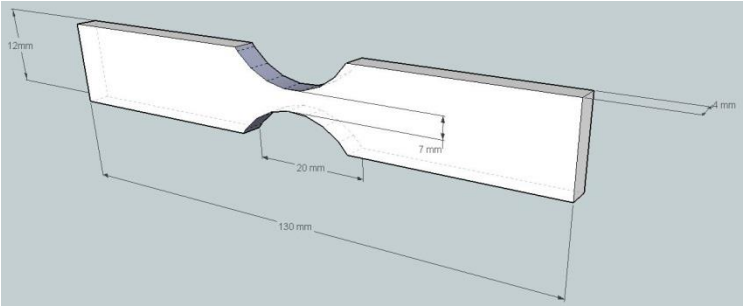

Рис. 1. Схематическое изображение образца для усталостных испытаний

По результатам усталостных испытаний образцов титана ВТ1-0 и алюминия А5М выявлено, что воздействие постоянным магнитным полем 0,3 Тл приводит к значительному увеличению усталостной долговечности (табл. 1).

Таблица 1. Кристаллографические плоскости и направления преимущественного скольжения

Материал	Индукция магнитного поля, В	
	0 Тл	0,3 Тл
ВТ1-0	121478±8086	199105±16143
А5М	18742±654	75478±8626

Установлено, что применение постоянного магнитного поля 0,3 Тл при усталостных испытаниях технически чистого алюминия А5М приводит к увеличению количества циклов до разрушения в 4 раза. С технически чистым титаном ВТ1-0 наблюдается аналогичная картина, происходит увеличение циклов до разрушения в 2,2 раза, относительно испытаний без применения магнитного поля. С учетом проведенных ранее исследований влияния магнитного поля на микротвердость и скорость ползучести исследуемых материалов [8, 9], можно утверждать, что постоянное магнитное поле является действенным способом оптимизации свойств парамагнитных материалов, в частности технически чистого титана и алюминия.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 21-79-00118).

1. Weicheng Cui. A state-of-the-art review on fatigue life prediction methods for metal structures // J. Mat. Sci. Technol. 2002. № 7. P. 43–56.
2. Структурно–масштабные уровни многоцикловой усталости сталей при импульсном токовом воздействии / С. В. Воробьев, М. П. Ивахин, Ю. Ф. Иванов и др. Новокузнецк: СибГИУ. – 2008. – 270 с.
3. Эволюция дислокационных субструктур при усталости / Н. А. Конева, О. В. Соснин, Л. А. Теплякова и др. Новокузнецк: СибГИУ. – 2001. – 105 с.
4. Усталостное разрушение металлов / С. Коцаньда. Москва: Металлургия. – 1976. – 456 с.
5. Advances in Manufacturing Techniques for Materials: Engineering and Engineered / Edited by T. S. Srivatsan, T. S. Sudarshan, K. Manigandan. London: CRC Press and Taylor & Francis Inc. – 2018. – 518 p.
6. Boyer, R. R. Attributes, characteristics and applications of titanium and its alloys // JOM. 2010. Vol. 62 (5). P. 35–43.
7. Rudskoy A.I., Kodzhaspirov G.E., Kliber J., Apostolopoulos Ch. Advanced metallic materials and processes // Materials Physics and Mechanics. 2016. Vol. 25. P. 1–8.
8. Шляров В.В., Загуляев Д.В. // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2019. Т. 16. № 3. С. 394-398.
9. Zagulyaeva D., Konovalov S., Shlyarov V., Chen X. Influence of constant magnetic field on plastic characteristics of paramagnetic metals // Materials Research Express. 2019. Vol. 6. 096523.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СПОСОБА ДЕФОРМАЦИИ НА ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА В МОНОКРИСТАЛЛАХ СПЛАВА $Ti_{49,4}Ni_{50,6}$ С ПОВЕРХНОСТНЫМ ОКСИДНЫМ СЛОЕМ
Фаткуллин И.Д., Ефтифеева А.С., Панченко Е.Ю., Чумляков Ю.И. 227

СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ВЫСОКОХРОМИСТОЙ СТАЛИ В ПРОЦЕССЕ ПОЛЗУЧЕСТИ ПРИ 650°С
Федосеева А.Э. 229

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК ПОЛИКАПРОЛАКТОНА ПОСЛЕ ЛУЧЕВОЙ СТЕРИЛИЗАЦИИ
Филиппова Е.О. 231

НЕАДИАБАТИЧЕСКИЕ ПЕРЕХОДЫ АТОМОВ И ЗАРОЖДЕНИЕ ДОКРИТИЧЕСКОЙ ТРЕЩИНЫ В ХРУПКИХ ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ
Хон Ю.А. 232

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛЗУЧЕСТИ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ФТОРОПЛАСТА-4 И КОМПОЗИТОВ НА ЕГО ОСНОВЕ
Хохлов А.В., Бабайцев А.В., Гулин В.В., Вотинова О.С., Тарасова П.Н., Ушканов А.А. 234

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЭФФЕКТ ПАМЯТИ ФОРМЫ И СВЕРХЭЛАСТИЧНОСТЬ В ВЫСОКОПРОЧНЫХ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ МОНОКРИСТАЛЛАХ TiZrHfNiCuCo
Чумляков Ю.И., Киреева И.В., Победенная З.В., Яковлева Л.П., Выродова А.В., Сараева А.А., Куксгаузен И.В., Куксгаузен Д.А., Кириллов В.А. 236

ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИОННОГО ПОВЕДЕНИЯ СПЛАВА TiNi С МАРТЕНСИТНОЙ СТРУКТУРОЙ В КРУПНОЗЕРНИСТОМ И УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОМ СОСТОЯНИЯХ
Чуракова А.А., Каюмова Э.М., Мызгина М.А. 237

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОЙ СТРУКТУРЫ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВА TiNiNb С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ
Чуракова А.А., Мызгина М.А. 238

ВОЛНОВОЙ ПРОЦЕСС ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЙ МЕХАНИЗМЫ РАЗРУШЕНИЯ ДИСКОВ КОМПРЕССОРОВ НА РАЗНЫХ МАСШТАБНЫХ УРОВНЯХ
Шанявский А.А., Никитин А.Д., Солдатенков А.П. 239

ВЛИЯНИЕ РЕАКЦИОННОЙ СРЕДЫ СИНТЕЗА НА СОСТАВ И СВОЙСТВА ПОРИСТОГО НИКЕЛИДА ТИТАНА
Шишелова А.А., Марченко Е.С., Байгонакова Г.А. 241

РАЗРУШЕНИЕ ПАРАМАГНЕТИКОВ В УСЛОВИЯХ УСТАЛОСТИ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ 0,3 ТЛ
Шляров В.В., Аксенова К.В., Серебрякова А.А., Загуляев Д.В. 243

ИЗМЕНЕНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА СПЛАВА AL-20%SI ПОСЛЕ ДВУХЭТАПНОЙ ОБРАБОТКИ
Шлярова Ю.А., Загуляев Д.В., Громов В.Е., Прудников А.Н. 245

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННОГО РЕЛЬЕФА ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО НИКЕЛЯ МЕТОДОМ КАРТИРОВАНИЯ
Шляхова Г.В., Надежкин М.В., Баранникова С.А., Зуев Л.Б. 247

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕТЕРОГЕННОГО МАТЕРИАЛА ПРИ ТРЕХТОЧЕЧНОМ ИЗГИБЕ
Шупик П.А., Филиппов А.А. 248