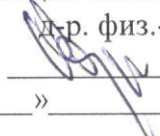


Министерство образования и науки Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)
Физико-технический факультет
Кафедра механики деформируемого твердого тела

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ В ГЭК

Руководитель ООП

д-р. физ.-мат. наук, профессор

 В.А. Скрипняк

« _____ » _____ 2017 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

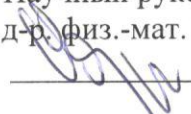
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

по основной образовательной программе подготовки магистров
направление подготовки 15.03.04 – Прикладная механика

Федотова Галина Дмитриевна

Научный руководитель ВКР

д-р. физ.-мат. наук, профессор

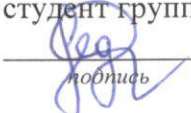
 В.А. Скрипняк

подпись

« _____ » _____ 2017 г.

Автор работы

студент группы № 10509

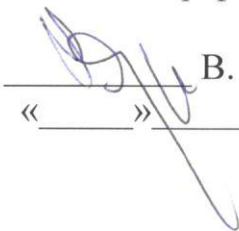
 Г.Д. Федотова

подпись

Томск-2017

Министерство образования и науки Российской Федерации
(МИНОБРНАУКИ РОССИИ)
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (ТГУ)
Физико-технический факультет
Кафедра механики деформируемого твердого тела

УТВЕРЖДАЮ
Руководитель ООП
д-р физ.-мат. наук,
профессор


В. А. Скрипняк
« ____ » _____ 2017 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы магистра
Федотовой Галине Дмитриевне

Тема: Моделирование пластической деформации титановых сплавов при динамическом нагружении.

Научный руководитель: д-р физ.-мат. наук, профессор Скрипняк В. А.

Срок представления законченной работы на кафедру: 7 июня 2017г.

Содержание работы и сроки исполнения:

№	Содержание этапа практики	Сроки исполнения
1	Проведение аналитического обзора литературы по проблеме прогнозирования механического поведения ультрамелкозернистых конструкционных сплавов в условиях динамических воздействий	11.02.2017
2	Разработка математической модели для описания механического поведения титановых сплавов	05.03.2017
3	Определение численных значений модели описывающей закономерности деформации крупнокристаллических титановых сплавов	22.03.2017
4	Разработка методики численного исследования закономерностей механического поведения сплавов при высокоскоростной деформации	11.04.2017
5	Проведение расчетов численного моделирования деформирования титанового	21.04.2017

	стержня теста Тейлора для крупнокристаллических α (BT1-0) и $(\alpha+\beta)$ (BT6) титановых сплавов методом конечных разностей и методом сглаженных частиц	
6	Достоверность работы протестирована поведением расчетов на сеточную сходимость, сравнение с результатами экспериментальных данных полученных в литературе и сравнение результатов расчетов методом сглаженных частиц и конечных разностей	29.04.2017
7	Определение численных значений модели описывающей закономерности деформации ультрамелкозернистых титановых сплавов	05.05.2017
8	Проведение расчетов численного моделирования деформирования титанового стержня теста Тейлора для ультрамелкозернистых α (BT1-0) и $(\alpha+\beta)$ (BT6) титановых сплавов	12.05.2017
9	Исследование закономерностей пластической деформации титановых сплавов при динамическом нагружении	19.05.2017
10	Обобщение и выводы по проделанной работе	31.05.2017

Рекомендуемая для изучения литература:

1. Валиев Р.З. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией / Р.З. Валиев, И.В. Александров // – М.: Логос. – 2000. – С.272.
2. Taylor G.I. The testing of materials at high rates of loading / G.I. Taylor // J. Inst. Civil Engrs. — 1946. — V.26. — P.486-519.
3. Taylor G.I. The use of flat ended projectiles for determining yield stress. 1: Theoretical considerations / G.I. Taylor // Proc. Of the R. Soc. Lond. A. — 1948. — V.194. — P.289-322.
4. Holt W.H. Experimental and computational study of the impact deformation of titanium Taylor cylinder specimens / W.H. Holt, W. Mock, F.J. Zerilli, J.B. Clark // Mechanics of Materials. — 1994.

5. Slais M. Determination of Johnson-Cook equation parameters / M. Slais, I. Dohnal, M. Forejt // Acta Metallurgica Slovaca. — 2012. — V.18. — P.125-132.
6. Sajadifar S.V. High temperature flow response modeling of ultra-fine grained titanium / S.V. Sajadifar, G. G. Yapici // Metals. — 2015. — V.5. — P.1315-1327.
7. Schulzea V. Numerical analysis of the influence of Johnson-Cook-material parameters on the surface integrity of Ti-6Al-4V / V. Schulzea, F. Zanger // Procedia Engineering. — 2011. — P.306 – 311.
8. Long F. Compressive deformation behaviors of coarse- and ultrafine-grained pure titanium at different temperatures: a comparative study// F. Long, Q. Jiang, L. Xiao, X. Li // Materials Transactions. — 2011. — V.52. — P.1617-1622.
9. Nakahigashi J. Ultra-fine grain refinement and tensile properties of titanium alloys obtained through protium treatment / J. Nakahigashi, H. Yoshimura // Journal of Alloys and Compounds. — 2002. — V.330-332. — P.384–388.

Руководитель работы:  д-р физ.-мат. наук, профессор Скрипняк В. А.
Исполнитель:  студент группы 10509 Федотова Г.Д.

АННОТАЦИЯ

Содержание диссертационной работы изложено в 3 главах на 99 страницах и содержит 52 рисунков, 19 таблиц и список из 68 цитированных источников.

Ключевые слова: тест Тейлора, ультрамелкозернистый титановый сплав, крупнокристаллический титановый сплав, высокоскоростная деформация.

Целью данной работы является создание модели упругопластического течения для описания механического поведения α (BT1-0) и $(\alpha+\beta)$ (BT6) титановых сплавов с размерами зерен от 0,5 мкм до 20 мкм для диапазона скоростей деформации сжатия и растяжения от 10^{-2} до 10^5с^{-1} .

Калибровка модели проведена при численном моделировании соударения цилиндрических ударников из крупнокристаллических и ультрамелкозернистых сплавов BT1-0 и BT-6, диаметром 5 мм и длиной 24,5 мм по нормали с жесткой преградой диапазоне скоростей удара от 150 м / с до 600 м.

Расчеты проведены с использованием решателей ANSYS Autodyn, реализующих метод Уилкинса с применением схемы крест второго порядка точности, а также метода сглаженных частиц (SPH).

В результате проведенных исследований создана вычислительная модель описывающая механическое поведение α и $(\alpha+\beta)$ сплавов титана в широком диапазоне скоростей деформации. Выполнен сравнительный анализ механического поведения титановых сплавов с УМЗ и КК структурами в условиях динамического нагружения.

Для валидации вычислительной модели механического поведения титановых сплавов в широком диапазоне скорости деформации и значений пластической деформации до ~30 % использованы результаты испытаний сплавов по схеме теста Тейлора.

ABSTRACT

The master's thesis consist of an introduction, 3 section, conclusion and list of literature. The amount of work is 99 pages, including 52 figures and 19 tables. The list of literature constrains 68 items.

Key words: Taylor test, ultrafine-grained titanium alloy, coarse-grained titanium alloy, high-speed deformation.

The purpose of this work is creating a model of flow stress for the description of mechanical behavior of α titanium alloys (Ti64) with grain sizes from $0.5 \mu\text{ m}$ to $20 \mu\text{ m}$ for the range of strain rates of compression and tension from 10^{-3} to 10^5 s^{-1} .

The model was calibrated in the numerical simulation of the impact of cylindrical impact from coarse-grained and ultrafine-grained VT1-0 and VT6 alloys. In the test a cylindrical specimen is accelerated against a hard surface. The cylindrical specimens 5 mm in diameter and 24.5 mm in length were used in this work. The tests were performed over a broad range of impact velocities, from 150 m/s to 400 m/s.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	3
1 Аналитический обзор литературы по проблеме прогнозирования механического поведения ультрамелкозернистых конструкционных сплавов в условиях динамических воздействий	8
1.1 Схема испытаний материалов с помощью удара цилиндра по жесткой преграде.....	
1.2 Вычислительная модель	20
2 Методика численного исследования закономерностей механического поведения сплавов при высокоскоростной деформации.....	26
2.1 Модель Джонсона Кука.....	26
2.2 Соотношение Холла-Петча.....	28
2.3 Традиционный подход Холла-Петча	29
2.4 Обратный эффект Холла-Петча.....	30
2.5 Влияние границ раздела на механические свойства нанокристаллических наноматериалов	31
3 Численное моделирование деформирования титанового стержня теста Тейлора для крупнокристаллических α (BT1-0) и $(\alpha+\beta)$ (BT6) титановых сплавов	32
3.1 Расчеты, выполненные методом сглаженных частиц.....	33
3.2 Анализ результатов моделирования	46
3.3 Расчеты, выполненные методом конечных разностей.....	48
3.4 Сравнение результатов расчетов деформации цилиндра методом сглаженных частиц и конечных разностей.....	51
3.5 Исследование на сходимость численных результатов	54
3.6 Результаты анализа механического поведения титановых сплавов при высокоскоростной деформации.....	57

3.7	Определение численных значений модели описывающей закономерности деформации.....	62
3.8	Численное моделирование деформирования титанового стержня теста Тейлора для ультрамелкозернистых ($\alpha+\beta$) титановых сплавов.....	83
ЗАКЛЮЧЕНИЕ		92

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Сплавы титана является важным классом конструкционных металлических материалов, широко применяемым в машиностроении, медицине, аэрокосмической, энергетической и химической промышленности. Сплавы титана обладают высокой коррозионной стойкостью, удельной прочностью и усталостной долговечностью. В настоящее время проводятся интенсивные научные исследования с целью улучшения физико-механических свойств титана и его сплавов.

Для упрочнения титановых сплавов применяются методы термомеханической обработки и химического легирования, в результате чего формируются фазовые структуры, обеспечивающие сочетание высоких прочностных характеристик с достаточной пластичностью. Для повышения физико-механических свойств конструкционных металлов и сплавов, включая титановые сплавы, разработан ряд технологий в рамках метода интенсивной пластической деформации (ИПД). Улучшение механических свойств достигается за счет формирования в объеме сплавов ультрамелкозернистых (УМЗ) и нанокристаллических (НК) структур. Уменьшение размеров зерна приводит к изменению таких свойств как: предел текучести, скорость чувствительности деформации, коэффициент деформационного упрочнения и др. по сравнению с крупнокристаллической структурой.

В последние два десятилетия большое внимание исследователей уделяется получению ультрамелкозернистых (с размером зерна 0,1-1 мкм) и нанокристаллических (размер зерна 100 нм) структур в титане и его сплавах в связи с возможностями резкого до 2-5 раз повышения в них прочности.

Уменьшение размеров зерна α и $(\alpha+\beta)$ титановых сплавов существенно увеличивает их твердость и прочность при комнатной температуре, но сопровождается значительным снижением вязкости и пластичности. Таким образом, актуальным является создание модели упругопластического течения для описания механического поведения α и $(\alpha+\beta)$ титановых сплавов с различными размерами зерен для диапазона скоростей деформации сжатия и растяжения от 10^{-2} до 10^5 с^{-1} .

Степень разработанности темы

Исследование поведения механического поведения УМЗ и КК титановых сплавов было в работах российских ученых (Р.З. Валиев [1-2], Ю.Р. Колобов [3-4], А.А. Попов [5], В.Г. Пушин [6], Г.А. Салищев [7-8], В.В. Столяров [9] и др.), а также ряда зарубежных исследователей [10-11].

Механическое поведение титановых сплавов с субмикронными размерами зерна при высокоскоростной деформации изучено недостаточно полно, что затрудняет прогнозирование прочности элементов конструкций из титановых сплавов в условиях динамического нагружения.

Цель и задачи исследования:

Целью данной работы является создание модели упругопластического течения для описания механического поведения α и $(\alpha+\beta)$ титановых сплавов с размерами зерен от 0,5 мкм до 20 мкм для диапазона скоростей деформации сжатия и растяжения от 10^{-2} до 10^5 с^{-1} .

Закономерности деформационного упрочнения и скоростной чувствительности напряжения течения в модели учитывает влияние распределения зерен по размерам в материале.

Для достижения указанных целей были поставлены следующие задачи:

1. Проведение аналитического обзора имеющихся в открытой литературе экспериментальных данных, моделей и методик моделирования деформирования стержней в тесте Тейлора, на основании которых можно провести оценку достоверности численного решения задачи;
2. Разработка вычислительной модели и численное определение параметров модели описывающих механическое поведение титана и его сплавов;
3. Проведение тестирования модели путем численного моделирования процессов высокоскоростного деформирования образцов по схеме испытаний Тейлора.
4. Выполнение сравнительного анализа механического поведения титановых сплавов с УМЗ и КК структурами в условиях динамического нагружения.

Объект исследования:

Объектом исследований является закономерности механического поведения сплавов титана с ГПУ структурой (α титановый сплав ВТ1-0) и структурой ГПУ+ОЦК ($\alpha+\beta$ титановый сплав ВТ6).

Методы исследования:

Механические испытания для исследования закономерностей деформационного поведения выполнялись на испытательной машине Instron. В процессе испытания регистрировалось время деформации, величина перемещения нижнего захвата испытательной машины, скорость растяжения и деформирующее усилие.

Для исследования закономерностей деформационного поведения проводилось компьютерное моделирование механического поведения α и $(\alpha+\beta)$ титановых сплавов с использованием определяющего соотношения Джона Кука, которое описывает пластическое поведение материала в широком диапазоне деформаций, скоростей деформаций и температур.

Практическая значимость исследования:

Результаты могут быть использованы при инженеринговом анализе проектируемых технических систем для авиа-космической промышленности.

Апробация результатов работы.

Основные положения, результаты и выводы, содержащиеся в магистерской диссертации, докладывались и обсуждались на следующих конференциях: научная конференция «проблемы прочности, динамики и ресурса» посвященная 95-летию со дня рождения А.Г. Угодчикова и 40-летию Научно-исследовательского института механики Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, 16–18, 19 ноября 2015 г.; XLII Международная молодёжная научная конференция «Гагаринские чтения – 2016», Москва, 12-15 апреля 2016 г.; VI Международная молодежная научная конференция «Актуальные проблемы современной механики сплошных сред и небесной механики - 2016», Томск, 16 – 18 ноября 2016 г.; IX всероссийская конференция «Фундаментальные и прикладные проблемы современной механики», Томск, 21 – 25 сентября 2016 г.

Структура работы.

Содержание диссертационной работы изложено в 3 главах на 99 страницах и содержит 52 рисунков, 19 таблиц и список из 68 цитированных источников.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований создана вычислительная модель описывающая механическое поведение α и $(\alpha+\beta)$ сплавов титана в широком диапазоне скоростей деформации. Выполнен сравнительный анализ механического поведения титановых сплавов с УМЗ и КК структурами в условиях динамического нагружения.

Для валидации вычислительной модели механического поведения титановых сплавов в широком диапазоне скорости деформации и значений пластической деформации до $\sim 30\%$ использованы результаты испытаний сплавов по схеме теста Тейлора.

Проведены расчеты деформации цилиндров из титановых сплавов BT1-0, BT6 при высокоскоростном ударе о жесткую стенку со скоростями от 150 м/с до 600 м/с, с применением метода конечных разностей (МКР) и метода сглаженных частиц (SPH).

Показана сходимость численных результатов, полученных методами МКР и SPH при соответствующих размерах сетки и сглаженных частиц.

Показано, что максимальный диаметр и остаточная длина цилиндров определяется упругопластическими свойствами титановых сплавов и не зависит от выбранного метода численного решения задачи о соударении цилиндра о жесткую стенку. Сопоставление результатов моделирования удара цилиндров из титановых сплавов о жесткую стенку могут быть использованы для калибровки моделей упругопластического поведения титановых сплавов при высокоскоростном деформировании.

Найдены численные значения коэффициентов модели Джонсона-Кука для титановых сплавов BT1-0 и BT-6.

Проведены расчеты деформации цилиндров из титановых сплавов BT1-0, BT-6 с крупнокристаллической и ультрамелкозернистой структурой при высокоскоростном ударе о жесткую стенку со скоростями от 150 м/с до 600 м/с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Валиев Р.З. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией / Р.З. Валиев, И.В. Александров // – М.: Логос. – 2000. – С.272.
2. Valiev R.Z. Paradox of strength and ductility in metals processed by severe plastic deformation / R.Z. Valiev, I.V. Alexandrov, Y.T. Zhu, T.C. Lowe // Joint Materials Research. – 2002. – V.1. - P.58.
3. Колобов Ю.Р. Особенности формирования структуры и развития пластической деформации при динамическом нагружении крупнозернистого и наноструктурированного титана / Ю.Р.Колобов, В.Н. Перевезенцев, С.С. Манохин и др. // Композиты и наноструктуры. — 2016. — Т.8, №1. — С.16–28.
4. Колобов Ю.Р. Закономерности рекристаллизации субмикрокристаллического титана / Ю.Р. Колобов, М.Б. Иванов, С.С. Манохин, Е. Ерубает // Неорганические материалы. — 2016. — Т.52, №2. — С.59.
5. Popov A.A Structural and mechanical properties of nanocrystalline titanium processed by severe deformation processing / A.A. Popov, I.Yu. Pyshmintsev, S.L. Demakov, A.G. Illarionov, T.C. Lowe and R.Z. Valiev // Scripta Materialia. — 1997. — V.37. — P.1089-1094.
6. Пушин В.Г. Использование интенсивных деформаций для получения объемных нанокристаллических материалов из аморфных сплавов / В.Г. Пушин, Р.З. Валиев, Д.В. Гундеров, А.Г. Попов // Доклады Академии наук. — 2004.— Т.398, №1. — С.1.
7. Салищев Г.А. Динамическая рекристаллизация титана / Г.А. Салищев, Р.М. Галеев, О.Р. Валиахметов // Известия АН СССР. Металлы. — 1994. — С.125-129.
8. Салищев Г.А. Формирование субмикрокристаллической структуры в титане при пластической деформации и ее влияние на

- механические свойства / Г.А. Салищев, О.Р. Валиахметов, Р.М. Галеев, С.П. Малышева // *Металлы*. — 1996. — С.86.
9. Stolyarov V.V. Influence of ECAP routes on the microstructure and properties of pure Ti / V.V. Stolyarov, Y.T. Zhu, I.V. Alexandrov, T.C. Lowe, R.Z. Valiev // *Mater. Sci. Eng.* — 2001. — V. A 299. — P.59.
10. Ko Y.G. Effects of temperature and initial microstructure on the equal channel angular pressing of Ti-6Al-4V alloy / Y.G. Ko, W.S. Jung, D.H. Shin, C.S. Lee, // *Scripta Mater.* — 2003. — V.48. — P.197-202.
11. Mughrabi H. Fatigue and microstructure of ultrafine-grained metals produced by severe plastic deformation / H. Mughrabi, H.W. Hopfel, M. Kautz, // *Scripta Materialia*. — 2004. — V. 51(8). — P.807-812.
12. Глазунов С.Г. Конструкционные титановые сплавы. / С.Г. Глазунов, В.Н. Моисеев // — М.: Металлургия, — 1974. — С.368.
13. Ильин А.А. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства / А.А. Ильин, Б.А. Колачев, И.С. Полькин // *Справочник*. — М.: ВИЛС-МАТИ. — 2009. — С.520.
14. Fan X.G. Internal-state-variable based self-consistent constitutive modeling for hot working of two-phase titanium alloys coupling microstructure evolution / X.G. Fan, H. Yang // *International Journal of Plasticity*. — 2011.
15. Хорев А.И. Титановые сплавы для авиакосмической техники и перспектива их развития // *Авиационные материалы и технологии*. — 2002. — С.11–32.
16. Steineman, S. G. Titanium alloys as metallic biomaterials / S. G. Steineman, S.M. Perren // *Proc. of the fifth world conf. on titanium*. — 1984. — № 2 — P.1327.
17. Колачев, Б. А. Титановые сплавы разных стран: Справочник / Б. А. Колачев, И. С. Полькин, В. Д. Талалаев. — М.: ВИЛС. — 2000. — С.316.

18. Колачев, Б.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов / Б.А.Колачев, В.И.Елагин, В.А.Ливанов // — М.: МИСИС. — 2001. — С.416.
19. Valiev, R.Z. Nanomaterial Advantage / R.Z. Valiev // NATURE. — 2002. — 419. — P. 887.
20. Валиев, Р.З. Объемные наноструктурные металлические материалы: получение, структура и свойства / Р.З.Валиев, И.В.Александров. — М.: ИКЦ «Академкнига». — 2007. — С.398.
21. Поляков А.В. Механическое поведение титана GRADE 4, полученного комбинацией РКУП-CONFORM и волочения / А.В. Поляков, И.П. Семенова // Современные проблемы науки и образования. — 2012. — № 6.
22. Чувильдеев В.Н. О возможности одновременного повышения прочности и коррозионной стойкости нано и микрокристаллических титановых сплавах / В.Н. Чувильдеев, Н.В. Мелехин, А.В. Нохрин, Ю.Г. Лопатин, Н.А. Козлова, А.В. Пискунов, С.П. Степанов, М.К. Чегуров, М.С. Болдин // Современные проблемы науки и образования. — 2012. — № 6.
23. Жеребцов С.В. Механические и технологические свойства ультрамелкозернистого двухфазного титанового сплава ВТ6, полученного всесторонней изотермической деформацией / С.В. Жеребцов, С.А. Костюченко, Е.А. Кудрявцев, Г.А. Салищев // Вестник УГАТУ. — 2012. — № 7.
24. Cavaliere P. Strain rate sensitivity of ultra-fine and nanocrystalline metals and alloys / P. Cavaliere // Physica B: Physics of Condensed Matter. — 2007. — P.569–575.
25. Поляков А.В. Механическое поведение титана GRADE 4, полученного комбинацией РКУП-Conform и волочения / А.В.

Поляков, И.П. Семенова // Современные проблемы науки и образования. — 2012. — № 6.

26. Balyanov, A. Corrosion resistance of ultrafine-grained Ti / A. Balyanov, J. Kutnyakova, N. A. Amirkhanova, V. V. Stolyarov, R. Z. Valiev, X. Z. Liao, Y. H. Zhao, Y. B. Jiang, H. F. Xu, T. C. Lowe, Y. T. Zhu // Scripta Materialia. — 2004. — 51. — P. 225.
27. Титан // Совместное издание Progr. ООН по окружающей среде. (Пер. сангл.). — М.: Медицина, 1986. — С.375.
28. Katti K.S. Biomaterials in total joint replacement / K. S. Katti // Colloids and surfaces B: Biointerfaces. — 2004. — 39. — P.133.
29. Sergueeva A.V. Enhanced superplasticity in a Ti-64 alloy processed by severe plastic deformation / A.V. Sergueeva, V.V. Stolyarov, R.Z. Valiev et al // Scripta Mater. — 2000. — 43. — P.819-824.
30. Столяров В.В Особенности механических свойств наноструктурных сплавов // Вестник научно-технического развития. — 2010. — № 3(31), — С.54-60.
31. Taylor G.I. The testing of materials at high rates of loading / G.I. Taylor // J. Inst. Civil Engrs. — 1946. — V.26. — P.486-519.
32. Taylor G.I. The use of flat ended projectiles for determining yield stress. 1: Theoretical considerations / G.I. Taylor // Proc. Of the R. Soc. Lond. A. — 1948. — V.194. — P.289-322.
33. Whiffin, A.C. The use of flat-ended projectiles for determining dynamic yield stress. II. Tests on various metallic materials/ A.C. Whiffin // Proc. Roy. Soc. London. — 1948. P.300–322.
34. Johnson, G.R. A constitutive model and data for metals subjected to large strains, high strain rates and high temperatures/ G.R. Johnson, W.H. Cook // Proceedings of the 7th International Symposium. Ballistics, The Hague, Netherlands. — 1983. — P.541–547.

35. Johnson G.R. Evaluation of cylinder-impact test data for constitutive model constants/ G.R. Johnson, T.J. Holmquist // J.Appl. Phys. — 1988. — 64, — P.3901–3910.
36. Малыгин Г.А. Пластичность и прочность микро- и нанокристаллических материалов / Г.А. Малыгин // Физика твердого тела.— 2007. — Т.49.
37. Armstrong R.W. The plastic deformation of polycrystalline aggregates / R.W., I. Codd, R.N. Douthwaite, N.J. Petch // Phil. Mag. — 1962. — V.7, — P.45-58.
38. Армстронг В. Сверхмелкое зерно в металлах/ В. Армстронг // М: Металлургия. — 1973. — С.7.
39. Нохрин А.В. Процессы возврата и рекристаллизации в микрокристаллических металлах и сплавах, приготовленных методами РКУ-прессованием / А.В. Нохрин, И.М. Макаров, Е.С. Смирнова, В.Н. Чувильдеев // Актуальные проблемы прочности. — 2002.
40. Копылов В.И. Рекристаллизация в нано- и микрокристаллических полученных методом интенсивной пластической деформации/ В.И. Копылов, И.М. Макаров, А.В. Нохрин, В.Н. Чувильдеев // Физика твердого тела.— 2001. — С.136-155.
41. Parshikov A.N. Stanislav A. Medin, Igor I. Loukashenko, Valery A. Milekhin. Improvements in SPH method by means of inter particle contact algorithm and analysis of perforation tests at moderate projectile velocities / A.N. Parshikov, S.A. Medin, I.I. Loukashenko, V.A. Milekhin. // International Journal of Impact Engineering. — 2000. — V. 24. — P.779 – 796.
42. Monaghan J.J. On the Problem of Penetration in Particle Methods / J.J Monaghan // J. Comp. Phys. — 1989. — V. 82. — P.1.

43. Блажевич Ю.В. Численное моделирование процессов высокоскоростного соударения методом гладких частиц/ Ю.В. Блажевич, В.Д.Иванов, И.А.Петриашвили // Математическое моделирование. — 1998 г. — Т.11, №7.
44. Monaghan J.J. An introduction to SPH / J.J Monaghan // Comput. Phys. Comm. — 1988. — V.48. — P.89 – 96.
45. Holt W.H. Experimental and computational study of the impact deformation of titanium Taylor cylinder specimens / W.H. Holt, W. Mock, F.J. Zerilli, J.B. Clark // Mechanics of Materials. — 1994.
46. Slais M. Determination of Johnson-Cook equation parameters / M. Slais, I. Dohnal, M. Forejt // Acta Metallurgica Slovaca. — 2012. — V.18. — P.125 – 132.
47. Batra R.C. Modified Smoothed Particle Hydrodynamics (MSPH) basis functions for meshless methods, and their application to axisymmetric Taylor impact test / R.C. Batra, G.M. Zhang // Journal of Computational Physic. — 2008. — P.1962-1981.
48. Круковский К.В. Закономерности изнашивания титановых сплавов ПТ-3В и ВТ6 с крупнозернистой и ультрамелкозернистой структурой / К.В. Круковский, О.А. Кашин, Н.В. Гирсова // Известия Томского политехнического университета. Математика и механика. Физика. — 2014. — Т.325 №2. — С.81-90.
49. Столяров В.В. Эффект Баушингера в ультрамелкозернистых металлах / В.В. Столяров // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2006, — Т.72 №9. — С.45-49.
50. Курзина И.А. Эволюция структуры и механических свойств ультрамелкозернистого титана / И.А. Курзина., И.А. Божко, М.П. Калашников, А.Ю. Ерошенко, Ю.П. Шаркеев // Материаловедение. — 2010. — С.48-55.
51. Шпейхман В.В. Закономерности низкотемпературной пластичности нанокристаллических титана и меди/ В.В. Шпейсман, В.И.

- Николаев, Н.Н. Песчанская, А.Е. Романов, Б.И. Смирнов, И.А. Александров, Н.А. Еникеев, В.У. Казыханов, А.А. Назаров // Физика твердого тела. — 2007. — Т.49. — С.644-649.
- 52.Sergueeva A.V. Advanced mechanical properties of titanium with ultrafine graind structure / A.V. Sergueeva, V.V. Stalyarov, R.Z. VAliev, A.K. Mukherjee // Scripta Materialia. — 2001. — P.747-752.
- 53.Грабовецкая Г.П. Структура и деформационное поведение субмикроструктурного титана при ползучести/ Г.П. Грабовецкая, Л.В. Чернова, Ю.Р. Колобов, Н.В. Гирсова //Физическая мезомеханика. — 2002. — С.87-94.
- 54.Данилов В.И. Особенности деформации и разрушения ультрамелкозернистых сплавов на основе титана и циркония/ В.И. Данилов, А.Ю. Ерошенко, Ю.П. Шаркеев, Д.В. Орлова, Л.Б. Зуев // Физическая мезомеханика. — 2014. — С.77-85.
- 55.Schulzea V. Numerical analysis of the influence of Johnson-Cook-material parameters on the surface integrity of Ti-6Al-4V / V. Schulzea, F. Zanger // Procedia Engineering. — 2011. — P.306 – 311.
- 56.Sajadifar S.V. High temperature flow response modeling of ultra-fine grained titanium / S.V. Sajadifar, G. G. Yapici // Metals. — 2015. — V.5. — P.1315-1327.
- 57.Slais M. Determination of Johnson-Cook equation parameters / M. Slais, I. Dohnal, M. Forejt // Acta Metallurgica Slovaca. — 2012. — V.18. — P.125-132.
- 58.Long F. Compressive deformation behaviors of coarse- and ultrafine-grained pure titanium at different temperatures: a comparative study// F. Long, Q. Jiang, L. Xiao, X. Li // Materials Transactions. — 2011. — V.52. — P.1617-1622.
- 59.Nakahigashi J. Ultra-fine grain refinement and tensile properties of titanium alloys obtained through protium treatment / J. Nakahigashi, H.

- Yoshimura // Journal of Alloys and Compounds. — 2002. — V.330-332. — P.384–388.
60. Lutjering G. Titanium / G. Lutjering, J.C. Williams//Germany. — 2003. — P.227–229.
61. Gysler A. Metall / A. Gysler, G. Lutjering// Trans. A 13. — 1982. — P.1435–1443.
62. Donachie M.J. Titanium: A Technical Guide ASM International/ M.J. Donachie // USA. — 2000. — P.101.
63. Круковский К.В. Закономерности изнашивания титановых сплавов ПТ-3В и ВТ6 с крупнозернистой и ультрамелкозернистой структурой / К.В. Круковский, О.А. Кашин, Н.В. Гирсова //Известия Томского политехнического университета. Математика и механика. Физика. — 2014. — Т.325№2. — С.81-90.
64. Жеребцов С. В. Механические и технологические свойства ультрамелкозернистого двухфазного титанового сплава ВТ6, полученного всесторонней изотермической деформацией / С. В. Жеребцов, С. А. Костюченко, Е. А. Кудрявцев, Г. А. Салищев // Вестник УГАТУ. — 2012. — Т.16,№7(52). — С.25-29.
65. Павлинич С.П. К вопросу о применении наноструктурных материалов для лопаток компрессора стационарных ГТД, работающих в условиях больших ресурсов / С.П. Павлинич // Нефтегазовое дело. — 2004. — Т.4. — С.197-200.
66. Валиев Р.Р. Усталостная прочность и особенности разрушения ультрамелкозернистого титанового сплава ВТ6/ Р. Р. Валиев, Ю. М. Модина, А. В. Поляков, И. П. Семенова, В. С. Жернак // Вестник УГАТУ. — 2016. — Т.20,№2(72). — С.11-16.
67. Колобов Ю.Р. Особенности субмикроструктурной структуры и ее влияние на механические свойства титановых сплавов/ Ю.Р. Колобов, Е.В. Голосов, И.В. Раточка // Вопросы материаловедения. — 2008. — №2(54). — С.43-50.

68.Круглов А. А. Средний размер зерен в титановом сплаве ВТ6 и выбор рациональной схемы интегрального процесса сверхпластической формовки / А.А. Круглов, Р.Я. Лутфуллин, М.Х. Мухаметрахимов, О.А. Руденко,Р.В. Сафиуллин // Перспективные материалы. — 2005. — №6.— С.79-84.


<http://like.exactus.ru/index.php>
<http://like.exactus.ru/index.php/ru/>
<http://like.exactus.ru/index.php/en/>

Поиск заимствований в научных текстах^β

Введите текст:

...или загрузите файл:

Файл не выбран...

Выбрать файл...

Укажите год публикации:

2017

Выберите коллекции

Все

Рефераты

Авторефераты

Иностранные конференции

PubMed

Википедия

Российские конференции

Иностранные журналы

Российские журналы

Энциклопедии

Англоязычная википедия

Анализировать

 Проверить по расширенному списку коллекций системы Руконтекст (<http://text.rucont.ru/like>)

Обработан файл:

Выпускная работа гд федотова.doc.

Год публикации: 2017.

Оценка оригинальности документа - 93.89%

Процент условно корректных заимствований - 0.0%

Процент некорректных заимствований - 6.11%

Просмотр заимствований в документе

Время выполнения: 36 с.

Документы из базы

Источники заимствования

В списке
литературыИсточники
Заимствования

1. Математическое моделирование ударного воздействия метеороидов и осколков космического мусора на защитные конструкции космических аппаратов (<http://vak2.ed.gov.ru/idcUploadAutoref/renderFile/134688>)

Авторы: Юдин Евгений Юрьевич.

Год публикации: 2013. Тип публикации: автореферат диссертации.

<http://vak2.ed.gov.ru/idcUploadAutoref/renderFile/134688>
<http://vak2.ed.gov.ru/idcUploadAutoref/renderFile/134688>

Показать заимствования (7)



1.56%

2. Математическое моделирование ударного воздействия метеороидов и осколков космического мусора на защитные конструкции космических аппаратов (<http://vak2.ed.gov.ru/idcUploadAutoref/renderFile/137981>)

Авторы: Юдин Евгений Юрьевич.

Год публикации: 2013. Тип публикации: автореферат диссертации.

<http://vak2.ed.gov.ru/idcUploadAutoref/renderFile/137981>

<http://vak2.ed.gov.ru/idcUploadAutoref/renderFile/137981>

Показать заимствования (7)

1.56%

3. О возможности одновременного повышения прочности и коррозионной стойкости в нано – и микрокристаллических титановых сплавах (<http://cyberleninka.ru/article/n/o-vozmozhnosti-odnovremennogo-povysheniya-prochnosti-i-korroziionnoy-stoykosti-v-nano-i-mikrokristallicheskih-titanovyh-splavah>)

Авторы: Чувильдеев В. Н., Мелехин Н. В., Нохрин А. В..

Год публикации: 2012. Тип публикации: статья научного журнала.

<http://cyberleninka.ru/article/n/o-vozmozhnosti-odnovremennogo-povysheniya-prochnosti-i-korroziionnoy-stoykosti-v-nano-i-mikrokristallicheskih-titanovyh-splavah>

<http://cyberleninka.ru/article/n/o-vozmozhnosti-odnovremennogo-povysheniya-prochnosti-i-korroziionnoy-stoykosti-v-nano-i-mikrokristallicheskih-titanovyh-splavah>

<http://cyberleninka.ru/article/n/o-vozmozhnosti-odnovremennogo-povysheniya-prochnosti-i-korroziionnoy-stoykosti-v-nano-i-mikrokristallicheskih-titanovyh-splavah>

Показать заимствования (4)

1.41%

4. О возможности одновременного повышения прочности и коррозионной стойкости в нано – и микрокристаллических титановых сплавах (<http://cyberleninka.ru/article/n/o-vozmozhnosti-odnovremennogo-povysheniya-prochnosti-i-korroziionnoy-stoykosti-v-nano-i-mikrokristallicheskih-titanovyh-splavah-1>)

Авторы: ЧУВИЛЬДЕЕВ В.Н., МЕЛЕХИН Н.В., НОХРИН А.В..

Год публикации: 2012. Тип публикации: статья научного журнала.

<http://cyberleninka.ru/article/n/o-vozmozhnosti-odnovremennogo-povysheniya-prochnosti-i-korroziionnoy-stoykosti-v-nano-i-mikrokristallicheskih-titanovyh-splavah-1>

<http://cyberleninka.ru/article/n/o-vozmozhnosti-odnovremennogo-povysheniya-prochnosti-i-korroziionnoy-stoykosti-v-nano-i-mikrokristallicheskih-titanovyh-splavah-1>

<http://cyberleninka.ru/article/n/o-vozmozhnosti-odnovremennogo-povysheniya-prochnosti-i-korroziionnoy-stoykosti-v-nano-i-mikrokristallicheskih-titanovyh-splavah-1>

Показать заимствования (4)

1.41%

5. Механические и технологические свойства ультрамелкозернистого двухфазного титанового сплава ВТ6, полученного всесторонней изотермической деформацией (<http://cyberleninka.ru/article/n/mechanicheskie-i-tehnologicheskie-svoystva-ultramelkozernistogo-dvuhfaznogo-titanovogo-splava-vt6-poluchennogo-vsestoronney>)

Авторы: Жеребцов Сергей Валерьевич, Костюченко Сергей Александрович, Кудрявцев Егор Алексеевич, Салищев Геннадий Алексеевич.

Год публикации: 2012. Тип публикации: статья научного журнала.

<http://cyberleninka.ru/article/n/mechanicheskie-i-tehnologicheskie-svoystva-ultramelkozernistogo-dvuhfaznogo-titanovogo-splava-vt6-poluchennogo-vsestoronney>

<http://cyberleninka.ru/article/n/mechanicheskie-i-tehnologicheskie-svoystva-ultramelkozernistogo-dvuhfaznogo-titanovogo-splava-vt6-poluchennogo-vsestoronney>

<http://cyberleninka.ru/article/n/mechanicheskie-i-tehnologicheskie-svoystva-ultramelkozernistogo-dvuhfaznogo-titanovogo-splava-vt6-poluchennogo-vsestoronney>

<http://cyberleninka.ru/article/n/mechanicheskie-i-tehnologicheskie-svoystva-ultramelkozernistogo-dvuhfaznogo-titanovogo-splava-vt6-poluchennogo-vsestoronney>

Показать заимствования (5)

1.17%

6. Численное моделирование процессов деформации и разрушения сред с поровыми структурами при динамических нагрузках (<http://dlib.rsl.ru/loader/view/01005042423?get=pdf>)

Авторы: Пасько, Евгений Геннадьевич.

Год публикации: 2012. Тип публикации: автореферат диссертации.

<http://dlib.rsl.ru/loader/view/01005042423?get=pdf> (<http://dlib.rsl.ru/loader/view/01005042423?get=pdf>)

<http://dlib.rsl.ru/loader/view/01005042423?get=pdf>

Показать заимствования (4)

1.12%

7. Механическое поведение титана Grade 4, полученного комбинацией РКУП-Conform и волочения (<http://cyberleninka.ru/article/n/mechanicheskoe-povedenie-titana-grade-4-poluchennogo-kombinatsiey-rkup-conform-i-volocheniya-1>)

Авторы: ПОЛЯКОВ А.В., СЕМЕНОВА И.П..

Год публикации: 2012. Тип публикации: статья научного журнала.

<http://cyberleninka.ru/article/n/mechanicheskoe-povedenie-titana-grade-4-poluchennogo-kombinatsiey-rkup-conform-i-volocheniya-1>

<http://cyberleninka.ru/article/n/mechanicheskoe-povedenie-titana-grade-4-poluchennogo-kombinatsiey-rkup-conform-i-volocheniya-1>

<http://cyberleninka.ru/article/n/mechanicheskoe-povedenie-titana-grade-4-poluchennogo-kombinatsiey-rkup-conform-i-volocheniya-1>

Показать заимствования (3)

0.86%

8. Механическое поведение титана Grade 4, полученного комбинацией РКУП-Conform и волочения (<http://cyberleninka.ru/article/n/mechanicheskoe-povedenie-titana-grade-4-poluchennogo-kombinatsiy-rkup-conform-i-volocheniya>)

Авторы: Поляков А. В., Семенова И. П..

Год публикации: 2012. Тип публикации: статья научного журнала.

<http://cyberleninka.ru/article/n/mechanicheskoe-povedenie-titana-grade-4-poluchennogo-kombinatsiy-rkup-conform-i-volocheniya> (<http://cyberleninka.ru/article/n/mechanicheskoe-povedenie-titana-grade-4-poluchennogo-kombinatsiy-rkup-conform-i-volocheniya>)

Показать заимствования (3)

0.86%

Общеизвестные фрагменты

Дополнительно

Значимые оригинальные фрагменты

Библиографические ссылки

Искать в Интернете

© 2015 2017 Институт системного анализа Российской академии наук (<http://www.isa.ru/index.php?lang=ru>)

Матсарабт гр. 10509
Федотова Т. Д.

Руководитель ООП
д.ф.м.н., профессор

Научный руководитель
д.ф.м.н., профессор



В.А. Сиринин

В.А. Сиринин

Рекомендую возмездно ВКР в
гастинном объеме, в связи с
содержанием действенной или
потенциальной коммерческой
ценности в силу неизвестности их
требов мрам