

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ



**Актуальные проблемы
прочности**

Монография

В 2-х томах

Том 1

*Под редакцией
члена –корреспондента НАН Беларуси
В.В.Рубаника*

**Витебск
Беларусь
2018**

УДК 539.4
ББК 22.25
А 43

Актуальные проблемы прочности / Под редакцией
В.В.Рубаника. В 2 т. / Витебск: Изд-во УО «ВГТУ», 2018. -Т.1. – 409 с.

В монографии опубликованы результаты исследований конструкционных и функциональных материалов. Представлены инновационные разработки по проблемам материаловедения, обработки материалов, создания композиционных материалов. Обсуждены механизмы формирования структуры, результаты исследования структурно-фазовых состояний и дефектной субструктуры материалов, а также воздействия ультразвука, электромагнитного излучения, интенсивной пластической деформации на свойства различных материалов.

Книга предназначена для широкого круга специалистов – научных работников, инженеров, работающих в области материаловедения и физики конденсированного состояния, а также преподавателей, аспирантов и студентов, специализирующихся в области материаловедения.

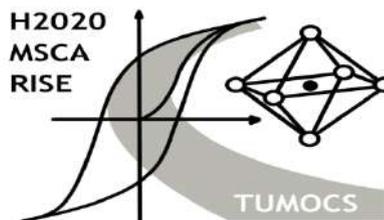
Авторский коллектив:

Алифанов А.В., Андреев В.А., Антанович А.А., Асланян Н.С., Белоцерковский М.А.
Белявин К.Е., Бердник О.Б., Бурнаев А.В., Веремейчик А.И., Викарчук А.А.,
Викторов С.Д., Волоконский М.В., Гончарова И.В., Грызунова Н.Н., Гусев Д.Е.,
Жорник В.И., Кийко В.М., Колесников С.А., Коллеров М.Ю., Коржов В.П., Кочанов А.Н.,
Кривина Л.А., Кузнецов А.В., Кукареко В.А., Куранова Н.Н., Лесота А.В.,
Малеронок В.В., Мильман Ю.В., Мишин В.М., Николаев В.И., Николаенко А.А.,
Папилов И.И., Перкас М.М., Прядко А.И., Пульнев С.А., Пушин А.В., Пушин В.Г.,
Рубаник В.В., Рубаник В.В. мл., Савенков Г.Г., Саркисян С.О., Сосновский И.А.,
Страумал А.Б., Сурсаева В.Г., Хачатрян М.В., Хвисевич В.М., Худолей А.Л.,
Царева И.Н., Ционенко Д.А., Чугунова С.И., Шокуров В.С., Щитов Д.В., Юсупов В.С.

Рецензенты:

Бетехтин В.И. – доктор физ.-мат. наук, профессор (С. – Петербург, Россия)

Клубович В.В. – академик НАН Беларуси, доктор технических наук, профессор



ISBN

© Издательство УО «ВГТУ», 2018

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОЧНОСТИ

По рекомендации Межгосударственного координационного Совета (МКС) по физике прочности и пластичности материалов 14-18 мая 2018 г. в Витебске (Республика Беларусь) прошла юбилейная 60-ая Международная научная конференция «Актуальные проблемы прочности» (АПП).

Это предложение учитывало большой вклад ГНУ «Институт технической акустики Национальной академии наук Беларуси» (ИТА НАН Беларуси) и УО «Витебский государственный технологический университет» (ВГТУ) в проведенные (начиная с 2000 года) конференции АПП.

Исторически Актуальные Проблемы Прочности были организованы по инициативе двух ведомств Советского союза (Академии наук СССР и Министерства Высшей школы СССР) первоначально в форме Всесоюзного семинара. На организационном собрании, которое состоялось 26 марта 1980 года в Ленинграде, присутствовали представители как Высшей школы (Ленинградского Университета – ЛГУ и Ленинградского Политехнического института – ЛПИ), так и Академии наук СССР (Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе – ФТИ). Одним из основных инициаторов и в дальнейшем организатором проведения АПП был Владимир Александрович Лихачев, деятельность которого тесно связана с ЛГУ, ФТИ, ЛПИ.

Всесоюзный семинар АПП задумывался как средство общения не вообще ученых – «прочнистов», а ученых, которые объединяют в себе знания в области физики прочности и в области механики прочности, поэтому главная задача такого семинара заключалась в объединении усилий и знаний физиков и механиков.

Одной из важных особенностей заседаний АПП стала их очень широкая география. Семинары проводились не только в таких ведущих центрах, как в Москве, Ленинграде, но и в разных городах страны, где в ВУЗах и институтах Академии наук работали коллективы сотрудников, связанных с прочнистской тематикой. Для выступления с пленарными (или приглашенными) докладами привлекались ведущие специалисты в области физики и механики прочности. Это обстоятельство и широкая география проведения АПП способствовала сохранению и развитию богатейшего научного потенциала, который создавался на протяжении многих десятилетий на обширной территории бывшего СССР.

Большую роль в «долгожительстве» АПП после прекращения существования СССР и АН СССР сыграло образование в 1992 году Межгосударственного координационного Совета по физике прочности и пластичности материалов на базе секции «Физика прочности и пластичности», входившей в АН СССР. Председателем МКС (как и секции) был избран профессор В.А. Лихачев, а его заместителями (по регионам) профессора О.М.Ивасишин (Киев), В.И.Бетехтин (С.-Петербург), Э.В.Козлов (Томск). МКС (со штабом-квартирой в С.-Петербурге) был создан как общественная, самостоятельная организация, которая не альтернативна и не подотчетна государственным, министерским и академическим институтам власти и управления стран, входивших ранее в состав СССР.

В 1996 г. после ухода из жизни В.А. Лихачева, председателем МКС избран Владимир Иванович Бетехтин, который со стороны МКС принимал основное участие в организации и проведении АПП. За последние 20 лет (1996 – 2017 гг.) удалось сохранить традиционно высокий научный уровень и ежегодную периодичность этого форума. В 1999 году между председателем МКС В.И. Бетехтиным и заместителем председателя по региону (Беларусь) В.В. Рубаником, директором ИТА НАН Беларуси, была достигнута договоренность о проведении очередной конференции АПП в Витебске на базе ИТА НАН Беларуси и ВГТУ; такая конференция (XXXVI) и состоялась в 2000 году. Значимость этой, проведенной впервые после распада СССР конференции АПП вне России, в том, что на ней присутствовали ведущие специалисты в области прочности материалов из Национальной Академии наук Украины (акад. НАНУ С.А. Фирстов, чл.-корр. НАНУ Ю.В. Мильман).

Впоследствии, там же в Витебске, прошли XLVI (2007), L (2010, также юбилейная!) и LIII (2012) конференции АПП. На всех этих конференциях присутствовало большое количество участников из разных городов и стран, включая дальнее зарубежье; конференции прошли на высоком научном и организационном уровне.

Для успешного проведения АПП очень много сделали ведущие специалисты в области прочности материалов из России: чл.-корр. РАН В.В.Сагарадзе (Екатеринбург, 2013); профессор М.А. Хусаинов (В. Новгород, 1994, 1997); профессор В.А. Федоров (Тамбов, 1998, 2003), профессор А.М. Глезер (Калуга, 2004; Москва, 2015; инициатор проведения АПП в Севастополе, 2016); профессор Р.Р. Мулюков (Уфа, 2012); профессор М.М. Криштал (Тольятти, 2009, 2016); профессор В.Н. Перевезенцев (Н. Новгород, 2008); профессор В.В. Осташев (Псков, 1993, 1999); профессор О.Б. Наймарк, А.Г. Кадомцев (Пермь, 2017), а также представители научных коллективов в тех городах, в которых состоялись АПП. Много сделал для организации конференции по тематике АПП в Санкт-Петербурге чл.-корр. РАН В.В.Рыбин. Большую работу по подготовке тезисов и трудов конференций АПП проводила секретарь МКС – к.т.н. Е.В. Черняева.

Актуальные проблемы прочности стали традиционной международной конференцией, на которой обсуждаются теоретические и практические пути развития науки о прочности материалов. Всего за 38 лет конференция «Актуальные проблемы прочности» прошла в 31 городе трех стран (Россия, Украина, Беларусь), а до распада СССР - в республиках Эстония, Латвия, Таджикистан.

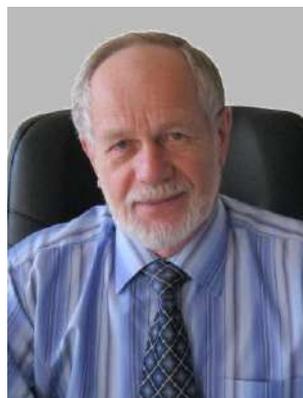
На 60-й Международной научной конференции «Актуальные проблемы прочности» были представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований в области проблем прочности, интерес к которым в последние годы значительно вырос.

Наиболее актуальные доклады оформлены в виде коллективной монографии, в которой. представлены современные достижения в области инновационных технологий по проблемам прочности.



Председатель МКС,
профессор, доктор физ.-мат. наук,
С.-Петербург, Россия
Vladimir.Betekhtin@mail.ioffe.ru

В.И. Бетехтин



Заместитель председателя МКС
по региону (Беларусь),
член-корреспондент НАН Беларуси,
доктор технических наук
г. Витебск, Беларусь
ita@vitebsk.by

В.В. Рубаник

Содержание

| | | |
|-----------|--|-----|
| | Актуальные проблемы прочности..... | 3 |
| Глава 1. | Мишин В.М., Щитов Д.В., Волоконский М. В. МИКРОМЕХАНИКА И ФИЗИКА ЗАМЕДЛЕННОГО РАЗРУШЕНИЯ СТАЛЕЙ | 5 |
| Глава 2. | Сурсаева В.Г., Страумал А.Б. ЭВОЛЮЦИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ И РАЗРУШЕНИЕ ПЛЁНОК СЕРЕБРА ПРИ ОТЖИГЕ | 28 |
| Глава 3. | Папилов И.И., Николаенко А.А., Шокуров В.С. ПОЛУЧЕНИЕ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕРИЛЛИЯ ВЫСОКОЙ ЧИСТОТЫ И ИЗУЧЕНИЕ ЕГО МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ | 45 |
| Глава 4. | Мильман Ю.В., Чугунова С.И., Гончарова И.В. ПРЕДЕЛ ТЕКУЧЕСТИ И ПЛАСТИЧНОСТЬ МАТЕРИАЛОВ, ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ МЕТОДОМ ИНДЕНТИРОВАНИЯ | 68 |
| Глава 5. | Жорник В.И., Белоцерковский М.А., Кукареко В.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УПРОЧНЕНИЯ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ПРИ ТРЕНИИ В СРЕДЕ НАНОКОМПОЗИЦИОННОЙ СМАЗКИ | 88 |
| Глава 6. | Алифанов А. В., Малеронок В. В., Ционенко Д.А. ИССЛЕДОВАНИЕ УПРОЧНЕННЫХ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКОЙ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ С ПОМОЩЬЮ ТОКОВ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ | 111 |
| Глава 7. | Савенков Г.Г., Кузнецов А.В. СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В МЕТАЛЛАХ, ВЫЗВАННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЕМ СИЛЬНОТОЧНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА НАНОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ | 125 |
| Глава 8 | Коллеров М.Ю., Гусев Д.Е., Бурнаев А.В. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ НИКЕЛИДА ТИТАНА ПРИ МЕХАНИЧЕСКОМ И ТЕПЛОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ | 141 |
| Глава 9. | Викторов С.Д., Кочанов А.Н. ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ И ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОРНЫХ ПОРОД В УСЛОВИЯХ ДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ | 161 |
| Глава 10. | Антанович А.А., Колесников С.А. РАЗВИТИЕ СТРУКТУРЫ И ФОРМИРОВАНИЕ УРОВНЯ СВОЙСТВ УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ИЗОСТАТИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ УГЛЕРОДНЫХ МАТРИЦ | 182 |
| Глава 11. | Андреев В.А., Юсупов В.С., Перкас М.М. ВАКУУМНО-ИНДУКЦИОННАЯ ВЫПЛАВКА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК ДИАМЕТРОМ 90-120 ММ ИЗ СПЛАВОВ С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ НА ОСНОВЕ НИКЕЛИДА ТИТАНА ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ПОПЕРЕЧНОВИНТОВОЙ ПРОКАТКИ | 192 |

| | | |
|---------------------|--|-----|
| Глава 12. | Асланян Н. С., Саркисян С. О. ТЕРМОУПРУГОСТЬ МИКРОПОЛЯРНЫХ БАЛОК И ПЛАСТИН СО СТЕСНЕННЫМ ВРАЩЕНИЕМ | 210 |
| Глава 13. | Пушин В.Г., Куранова Н.Н., Пушин А.В. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ВЫСОКОПРОЧНЫХ И ПЛАСТИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ | 235 |
| Глава 14. | Саркисян С.О., Хачатрян М.В. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТАТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ МИКРОПОЛЯРНОГО УПРУГОГО СТЕРЖНЯ С КРУГОВОЙ ОСЬЮ И МЕТОД КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ | 258 |
| Глава 15. | Белявин К.Е., Сосновский И.А., Худолей А.Л. ИНДУКЦИОННОЕ УПРОЧНЕНИЕ БЫСТРОИЗНАШИВАЮЩИХСЯ ДЕТАЛЕЙ УЗЛОВ ТРЕНИЯ ПОРОШКОВЫМИ ПОКРЫТИЯМИ | 272 |
| Глава 16. | Бердник О.Б., Царева И.Н., Кривина Л.А. АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПРОЧНОСТИ МАТЕРИАЛА ТЕРМОНАГРУЖЕННЫХ ЗОН ТУРБИНЫХ ЛОПАТОК ГАЗОТУРБИНЫХ УСТАНОВОК | 291 |
| Глава 17. | Пульнев С.А., Прядко А.И., Николаев В.И. ДВИГАТЕЛИ И ПРИВОДЫ НА ОСНОВЕ ЭФФЕКТА ПАМЯТИ ФОРМЫ В МОНОКРИСТАЛЛАХ Cu-Al-Ni | 308 |
| Глава 18. | Викарчук А.А., Грызунова Н.Н. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ ИЗ НИХ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫЕ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ЭФФЕКТИВНЫХ НАНОТЕХНОЛОГИЙ ГЛУБОКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ТОКСИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ | 327 |
| Глава 19. | Коржов В.П., Кийков М.М. ЖАРОПРОЧНЫЕ КОМПОЗИТЫ ИЗ ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ ТВЕРДОФАЗНЫМ МЕТОДОМ: СТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА | 344 |
| Глава 20 | Лесота А.В., Рубаник В.В. мл., Рубаник В.В. РАСЧЕТ ТЕРМОКИНЕТИЧЕСКОЙ ЭДС В СПЛАВАХ НИКЕЛИДА ТИТАНА | 373 |
| Глава 21 | Хвисевич В.М., Веремейчик А.И. РЕШЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ТЕРМОУПРУГИХ ЗАДАЧ ДЛЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ТЕЛ С УЧЕТОМ РАДИАЦИОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ | 385 |
| Авторский указатель | | 406 |
| Содержание..... | | 407 |