

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ



**Актуальные проблемы  
прочности**

*Монография*

**В 2-х томах**

**Том 2**

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

**Витебск  
Беларусь  
2018**

УДК 539.2  
ББК 22.25  
А43

Актуальные проблемы прочности / Под редакцией  
В.В.Рубаника. В 2 т. / Витебск: Изд-во УО «ВГТУ», 2018. -Т.2. – 512 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.

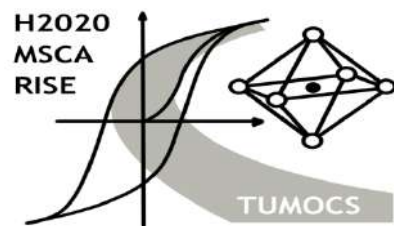
Авторский коллектив:

Бабич В.Е., Багрец Д.А., Белоцерковский М.А., Вегера И.И., Гольцова М.В., Громыко Г.Ф., Дородейко В.Г., Драгошанский Ю.Н., Жарин А.Л., Жиров Г.И., Звягина Е.Ю., Карпенко В.М., Карпенко М.И., Ковальчук А.В., Комаров Ф.Ф., Константинов В.М., Константинов С.В., Краснов М.Л., Кузей А.М., Латушкина С.Д., Леванцевич М.А., Лесота А.В., Марукович Е.И., Мельников А.П., Мерсон Д.Л., Некит В.А., Николайчик Ю.А., Овчинников Е.В., Огарков Н.Н., Пантелеев К.В., Пилипчук Е.В., Платов С.И., Покровский А.И., Посылкина О.И., Пудов В.И., Растегаев И.А., Рубаник В.В., Рубаник В.В. мл., Рудницкий Ф.И., Свистун А.И., Столяров В.В., Урцев Н.В., Федосеев Г.Н., Цыкунов П.Ю., Шпилевский Э.М., Юреть Е.Л., Якубовская С.В., Nofal A., Ahmed M.

Рецензенты:

Глезер А.М.– доктор физ.-мат. наук, профессор (Москва, 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



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

В.И. Бетехтин

В.В. Рубаник

## Содержание

Актуальные проблемы прочности		3
Глава 1.	<b>Огарков Н.Н., Звягина Е.Ю., Некит В.А.</b> АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА ХАРАКТЕР ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ В ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ ИНСТРУМЕНТА И ДЕФОРМИРУЕМОГО МАТЕРИАЛА	5
Глава 2.	<b>Столяров В.В.</b> ЭЛЕКТРОПЛАСТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В МЕТАЛЛАХ И СПЛАВАХ	25
Глава 3.	<b>Багрец Д.А., Рубаник В.В., Рубаник В.В. мл., Дородейко В.Г.</b> ОПТИМИЗАЦИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ОРТОДОНТИЧЕСКИХ СВЕРХЭЛАСТИЧНЫХ ДУГ ИЗ TiNi СПЛАВА С ЗАЩИТНО-ДЕКОРАТИВНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ	46
Глава 4.	<b>Латушкина С.Д., Посылкина О.И.</b> ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ И ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ПОКРЫТИЙ, ОСАЖДАЕМЫХ ИЗ ПЛАЗМЫ ВАКУУМНО-ДУГОВОГО РАЗРЯДА	63
Глава 5.	<b>Овчинников Е.В.</b> ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТВЕРДЫХ СУБСТРАТОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ФТОРСОДЕРЖАЩИМИ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ	85
Глава 6.	<b>Дородейко В.Г., Федосеев Г.Н., Лесота А.В., Рубаник В.В.</b> РАЗРАБОТКА ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ ВНУТРИМАТОЧНОЙ СПИРАЛИ	106
Глава 7.	<b>Бабич В.Е., Якубовская С.В.</b> ТЕХНОЛОГИИ СИНТЕЗА АЛМАЗОАБРАЗИВНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ГИБРИДНЫМИ СВЯЗУЮЩИМИ	126
Глава 8.	<b>Вегера И.И., Кузей А.М., Цыкунов П.Ю.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ИНДУКЦИОННОЙ ПАЙКИ ДЕТАЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПРИПОЕВ	151
Глава 9.	<b>Краснов М.Л., Платов С.И., Урцев Н.В.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ, ДЕФОРМАЦИОННЫХ И ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТРУБНОЙ СТАЛИ	165
Глава 10.	<b>Пудов В.И., Драгошанский Ю.Н.</b> ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ ДОМЕННОЙ, КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУР И СВОЙСТВ В Fe-Si, Fe-Si-B СПЛАВАХ И МАГНИТОПРОВОДАХ ПРИ ТЕРМОМАГНИТНЫХ И ЛАЗЕРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ	182
Глава 11.	<b>Марукович Е.И., Рудницкий Ф.И.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННУЮ СТОЙКОСТЬ ЛИТОГО ИНСТРУМЕНТА И ОСНАСТКИ ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩИХ СТАЛЕЙ	206
Глава 12.	<b>Марукович Е.И., Николайчик Ю.А.</b> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОКРЫТИЙ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ ПУТЕМ МОДИФИЦИРОВАНИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ	231

Глава 13.	<b>Марукович Е.И., Мельников А.П., Карпенко М.И., Карпенко В.М.</b> ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ АНТИФРИКЦИОННЫХ И ФРИКЦИОННЫХ ЧУГУНОВ	254
Глава 14.	<b>Покровский А.И.</b> ВЫСОКОПРОЧНЫЙ ЧУГУН ДО И ПОСЛЕ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ: НАПРЯЖЕНИЯ НА МЕЖФАЗНЫХ ГРАНИЦАХ «ГРАФИТ - МЕТАЛЛИЧЕСКАЯ МАТРИЦА» И МОРФОЛОГИЯ ВКЛЮЧЕНИЙ	276
Глава 15.	<b>Леванцевич М.А., Громыко Г.Ф., Пилипчук Е.В. Юреть Е.Л.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ДЕФОРМАЦИОННОМ ПЛАКИРОВАНИИ ГИБКИМ ИНСТРУМЕНТОМ С ПОДАЧЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ	302
Глава 16.	<b>Гольцова М.В., Жиров Г.И.</b> ОСНОВЫ ВОДОРОДНОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ ( <i>обзор</i> )	329
Глава 17.	<b>Белоцерковский М.А.</b> ПРОЧНОСТЬ СЦЕПЛЕНИЯ С ОСНОВОЙ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АСПЕКТ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ	353
Глава 18.	<b>Константинов В.М., Комаров Ф.Ф., Ковальчук А.В., Константинов С.В.</b> РАЗРАБОТКА АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ УПРОЧНЕНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ НА ОСНОВЕ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И НАНЕСЕНИЯ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ	378
Глава 19.	<b>Растегаев И.А., Мерсон Д.Л.</b> НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ МЕХАНИЗМОВ ИЗНАШИВАНИЯ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ ПО ДАННЫМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ	402
Глава 20.	<b>Шпилевский Э.М.</b> КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛОВ И ФУЛЛЕРЕНОВ	428
Глава 21.	<b>Жарин А.Л., Пантелеев К.В., Свистун А.И.</b> ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ПЕРИОДИЧЕСКОГО УСТАЛОСТНОГО РАЗРУШЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ТРЕНИИ МЕТОДОМ КЕЛЬВИНА	455
Глава 22.	<b>Nofal A., Ahmed M.</b> ENHANCEMENT OF STRENGTH AND ABRASION RESISTANCE OF ADI WITH NOVEL APPLICATIONS AT CMRDI	474
Авторский указатель		509
Содержание		510